

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4137938号
(P4137938)

(45) 発行日 平成20年8月20日 (2008. 8. 20)

(24) 登録日 平成20年6月13日 (2008. 6. 13)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 S	3/10	(2006. 01)	HO 1 S	3/10	Z
HO 1 S	3/13	(2006. 01)	HO 1 S	3/13	
HO 4 B	10/16	(2006. 01)	HO 4 B	9/00	J
HO 4 B	10/17	(2006. 01)	HO 4 B	9/00	K
HO 4 B	10/08	(2006. 01)			

請求項の数 9 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2005-372958 (P2005-372958)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社
(22) 出願日	平成17年12月26日 (2005. 12. 26)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(62) 分割の表示	特願平9-63441の分割	(74) 代理人	100075384 弁理士 松本 昂
原出願日	平成9年3月17日 (1997. 3. 17)	(72) 発明者	杉谷 秀昭 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(65) 公開番号	特開2006-148958 (P2006-148958A)	(72) 発明者	田村 裕司 北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地 富士通北海道デジタル・テクノロジー株式会社内
(43) 公開日	平成18年6月8日 (2006. 6. 8)		
審査請求日	平成17年12月26日 (2005. 12. 26)	審査官	工藤 一光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光パワーモニタ及び該光パワーモニタを有する光増幅器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

雑音スペクトルに重畳された信号スペクトルを有し該信号スペクトルは主信号により与えられる光信号のための光増幅器であって、

主光路上に設けられる光増幅媒体と、

該光増幅媒体が上記光信号の波長を含む利得帯域を有するように該光増幅媒体をポンピングするための第1の手段と、

上記主光路に動作的に接続され上記光信号を上記主光路から抽出するための第2の手段と、

該抽出された光信号のための光パワーモニタとを備え、

該光パワーモニタは、

上記第2の手段により抽出された光信号を第1の光信号と第2の光信号に分岐する第1の光カプラと、

上記主信号により与えられる光信号の波長を通過帯域として含む第1の通過帯域を有し、上記第1の光信号に含まれる自然放出光及び上記主信号により与えられる光信号を含む第3の光信号を抽出する第1の光帯域通過フィルタと、

上記主信号により与えられる光信号の波長を通過帯域として含み、上記第1の通過帯域よりも狭い第2の通過帯域を有し、上記第2の光信号に含まれる自然放出光及び上記主信号により与えられる光信号を含む第4の光信号を抽出する第2の光帯域通過フィルタと、

上記第3の光信号の光パワーを示す第1の電気信号を出力する第1のフォトディテクタ

と、

上記第 4 の光信号の光パワーを示す第 2 の電気信号を出力する第 2 のフォトディテクタ

と、

上記第 1 及び第 2 のフォトディテクタに動作的に接続され、上記第 1 及び第 2 の電気信号、並びに上記第 1 及び第 2 の通過帯域の帯域幅に基づき予め定められた演算を行って、上記主信号により与えられ、自然放出光を含まない光信号の光パワーを示す誤差信号を出力する演算増幅器とを備えている光増幅器。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光増幅器であって、

上記主光路は入力ポート及び出力ポートの間に設定され、

上記光増幅媒体は、第 1 端及び第 2 端を有する希土類元素がドープされた第 1 のドープファイバと、第 3 端及び第 4 端を有する希土類元素がドープされた第 2 のドープファイバとからなり、上記第 1 端、上記第 2 端及び上記第 4 端はそれぞれ上記入力ポート、上記第 3 端及び上記出力ポートに動作的に接続され、

上記第 1 の手段は、第 1 のポンプ光を出力する第 1 のポンプ光源と、上記第 1 のポンプ光を上記第 1 端及び上記第 2 端の少なくともいずれか一方から上記第 1 のドープファイバに供給するための第 1 の光回路と、第 2 のポンプ光を出力する第 2 のポンプ光源と、上記第 2 のポンプ光を上記第 3 端及び上記第 4 端の少なくともいずれか一方から上記第 2 のドープファイバに供給するための第 2 の光回路とを備え、

上記第 2 の手段は上記第 2 端及び上記第 3 端の間に動作的に接続される第 2 の光カプラ

からなり、

上記光パワーモニタは上記第 3 端における入力光信号パワーをモニタリングし、

上記入力光信号パワーを予め定められた値と比較する手段と、

上記入力光信号パワーが上記予め定められた値よりも小さいときに上記第 1 及び第 2 の

ポンプ光を遮断する手段とを更に備えた光増幅器。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の光増幅器であって、

上記主光路は入力ポート及び出力ポートの間に設定され、

上記光増幅媒体は、上記入力ポート及び上記出力ポートにそれぞれ動作的に接続される第 1 端及び第 2 端を有する希土類元素がドープされたドープファイバからなり、

上記第 1 の手段は、ポンプ光を出力するポンプ光源と、上記ポンプ光を上記第 1 端及び上記第 2 端の少なくともいずれか一方から上記ドープファイバに供給するための光回路とを備えている光増幅器。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の光増幅器であって、

上記第 2 の手段は上記入力ポート及び上記第 1 端の間に動作的に接続される第 2 の光カプラからなり、

上記光パワーモニタは上記入力ポートにおける入力光信号パワーをモニタリングする光増幅器。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の光増幅器であって、

上記入力光信号パワーを予め定められた値と比較する手段と、

上記入力光信号パワーが上記予め定められた値よりも小さいときに上記ポンプ光を遮断する手段とを更に備えた光増幅器。

【請求項 6】

請求項 3 に記載の光増幅器であって、

上記第 2 の手段は上記第 2 端及び上記出力ポートの間に動作的に接続される第 2 の光カプラからなり、

上記光パワーモニタは上記出力ポートにおける出力光信号パワーをモニタリングする光増幅器。

10

20

30

40

50

【請求項 7】

請求項 6 に記載の光増幅器であって、

上記出力光信号パワーが実質的に一定になるように上記ポンプ光のパワーを制御するためのフィードバックループを更に備えた光増幅器。

【請求項 8】

請求項 3 に記載の光増幅器であって、

上記入力ポート及び上記第 1 端の間に動作的に接続され上記第 1 端から出力する増幅された自然放出光を抽出するための光サーキュレータと、

上記増幅された自然放出光のパワーをモニタリングする手段とを更に備えた光増幅器。

【請求項 9】

請求項 2 に記載の光増幅器であって、

上記第 2 端及び上記第 3 端の間に動作的に接続され上記第 3 端から出力する上記第 2 のドープファイバにおいて増幅された自然放出光を抽出するための光サーキュレータと、

上記増幅された自然放出光のパワーをモニタリングする手段とを更に備えた光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光増幅器及び光増幅器に適用可能な光パワーモニタに関する。

【0002】

近年、光通信システム或いは光ネットワークシステムに適用可能なエルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）その他の光増幅器が実用化されている。光増幅器に供給される或いは光増幅器が出力する光信号は雑音スペクトルに重畳された信号スペクトルを有している。

【0003】

例えば、光ファイバ伝送路の途中にその各々が光増幅器を有する複数の中継器が設けられている場合、各光増幅器で生じる雑音スペクトルが累積されて信号スペクトルに関する光パワーを正確にモニタリングすることができなくなるので、これに対処することが要求されている。

【背景技術】

【0004】

従来、光増幅媒体と、光増幅媒体が利得帯域を有するように光増幅媒体をポンピングする手段とを備えた光増幅器が公知である。

【0005】

例えば、希土類元素がドープされたドープファイバを光増幅媒体として有する光ポンピング型の光増幅器においては、適切に設定された波長を有するポンプ光がドープファイバに供給される。ポンプ光によりポンピングされているドープファイバに光信号が入力すると、誘導放出の原理に従って光信号がドープファイバにおいて増幅される。

【0006】

また、半導体レーザ型の光増幅器においては、半導体チップとして提供される光増幅媒体にバイアス電流が供給され、これにより光増幅媒体がポンピングされる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

実用的な光増幅器においては、種々の目的で光パワーがモニタリングされる。例えば、光増幅器に入力する光信号が途絶えたときに、光増幅媒体のポンピングを停止するために、光増幅媒体に供給される光信号のパワーがモニタリングされる。

【0008】

また、光増幅器の出力パワーが一定に保たれるようにするための制御を行うために、光増幅媒体から出力される光信号のパワーがモニタリングされる。

【0009】

10

20

30

40

50

光信号のパワーをモニタリングするために、例えば、フォトダイオードに光信号が供給される。逆バイアスされているフォトダイオードに光信号が供給されると、光信号のパワーに応じた光電流がフォトダイオードに生じ、これにより光信号のパワーがモニタリングされる。

【0010】

光増幅媒体から出力される光信号のパワーをモニタリングする場合、光信号はその光増幅媒体において生じた雑音スペクトルに重畳された信号スペクトルを有しているため、光信号をフォトダイオードにより光/電気変換するだけでは、信号スペクトルに関する光信号のパワーを正確にモニタリングすることができない。

【0011】

また、複数のカスケード接続された光増幅器の使用により雑音スペクトルが累積している場合にも、同様の問題が生じる。

【0012】

よって、本発明の目的は、雑音スペクトルに影響されずに信号スペクトルに関する光信号のパワーを正確にモニタリングすることができる光パワーモニタを提供することにある。

【0013】

本発明の他の目的は、このような光パワーモニタを有する光増幅器を提供することにある。

【0014】

本発明の更に他の目的は以下の説明から明らかになる。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明の一側面によると、雑音スペクトルに重畳された信号スペクトルを有し該信号スペクトルは主信号により与えられる光信号のための光増幅器であって、主光路上に設けられる光増幅媒体と、該光増幅媒体が上記光信号の波長を含む利得帯域を有するように該光増幅媒体をポンピングするための第1の手段と、上記主光路に動作的に接続され上記光信号を上記主光路から抽出するための第2の手段と、該抽出された光信号のための光パワーモニタとを備え、該光パワーモニタは、上記第2の手段により抽出された光信号を第1の光信号と第2の光信号に分岐する第1の光カプラと、上記主信号により与えられる光信号の波長を通過帯域として含む第1の通過帯域を有し、上記第1の光信号に含まれる自然放出光及び上記主信号により与えられる光信号を含む第3の光信号を抽出する第1の光帯域通過フィルタと、上記主信号により与えられる光信号の波長を通過帯域として含み、上記第1の通過帯域よりも狭い第2の通過帯域を有し、上記第2の光信号に含まれる自然放出光及び上記主信号により与えられる光信号を含む第4の光信号を抽出する第2の光帯域通過フィルタと、上記第3の光信号の光パワーを示す第1の電気信号を出力する第1のフォトディテクタと、上記第4の光信号の光パワーを示す第2の電気信号を出力する第2のフォトディテクタと、上記第1及び第2のフォトディテクタに動作的に接続され、上記第1及び第2の電気信号、並びに上記第1及び第2通過帯域の帯域幅に基づき予め定められた演算を行って、上記主信号により与えられ、自然放出光を含まない光信号の光パワーを示す誤差信号を出力する演算増幅器とを備えている光増幅器が提供される。

【発明の効果】

【0016】

本発明のある側面によると、雑音スペクトルに影響されずに信号スペクトルに関する光信号のパワーを正確にモニタリングすることができるので、そのモニタリングに基づいて光増幅器における種々の制御（例えばポンプ光の制御）を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、添付図面を参照して本発明の望ましい実施の形態を詳細に説明する。尚、全図を通して実質的に同一の部分には同一の符号が付されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 8 】

図 1 を参照すると、本発明による光パワーモニタの第 1 の基本構成が示されている。雑音スペクトル $N S 1$ に重畳された信号スペクトル $S S 1$ を有する光信号 $O S$ が光カプラ 2 に供給される。雑音スペクトル $N S 1$ は例えば光増幅媒体において生じる $A S E$ (増幅された自然放出光) によるものであり、信号スペクトル $S S 1$ は例えば主信号による変調により与えられる。信号スペクトル $S S 1$ の中心波長は λ_0 である。

【 0 0 1 9 】

光カプラ 2 は、供給された光信号 $O S$ を第 1 のビーム $B 1$ と第 2 のビーム $B 2$ とに分岐する。光カプラ 2 における分岐比はここでは 1 : 1 であるが、本発明はこれに限定されない。

10

【 0 0 2 0 】

第 1 のビーム $B 1$ は第 1 の光帯域通過フィルタ 4 を通過してビーム $B 3$ となる。第 2 のビーム $B 2$ は第 2 の光帯域通過フィルタ 6 を通過してビーム $B 4$ となる。

【 0 0 2 1 】

フィルタ 4 及び 6 は、それぞれ、波長 λ_0 を含む通過帯域 $P B 1$ 及び $P B 2$ を有している。通過帯域 $P B 1$ は通過帯域 $P B 2$ よりも広い。

【 0 0 2 2 】

ビーム $B 3$ は雑音スペクトル $N S 2$ に重畳された信号スペクトル $S S 2$ を有している。雑音スペクトル $N S 2$ は、フィルタ 4 の通過帯域 $P B 1$ に従って、雑音スペクトル $N S 1$ と比較して狭くなっている。

20

【 0 0 2 3 】

ビーム $B 4$ は雑音スペクトル $N S 3$ に重畳された信号スペクトル $S S 3$ を有している。雑音スペクトル $N S 3$ は、フィルタ 6 の通過帯域 $P B 2$ がフィルタ 4 の通過帯域 $P B 1$ よりも狭いことにより、雑音スペクトル $N S 2$ と比較して更に狭くなっている。

【 0 0 2 4 】

ビーム $B 3$ は第 1 のフォトディテクタ ($P D$) 8 により第 1 の電気信号 $S 1$ に変換される。信号 $S 1$ はビーム $B 3$ の平均パワーに対応するレベル (例えば電圧レベル又は電流レベル) を有している。

【 0 0 2 5 】

ビーム $B 4$ は第 2 のフォトディテクタ 10 により第 2 の電気信号 $S 2$ に変換される。信号 $S 2$ はビーム $B 4$ の平均パワーに対応するレベル (例えば電圧レベル又は電流レベル) を有している。

30

【 0 0 2 6 】

そして、演算ユニット 12 が信号 $S 1$ 及び $S 2$ に基づき予め定められた演算を行うことにより、信号スペクトル $S S 1$ に関する光信号 $O S$ のパワーが得られる。その演算の具体例については後述する。

【 0 0 2 7 】

図 2 の (A) , (B) 及び (C) を参照して、図 1 の光パワーモニタの動作原理を説明する。

【 0 0 2 8 】

図 2 の (A) は光カプラ 2 に供給される光信号 $O S$ のスペクトルを示している。今、信号スペクトル $S S 1$ のパワーが $2 P_{sig}$ とし、雑音スペクトル $N S 1$ のパワーが $2 P_{ASE}$ とすると、信号スペクトル $S S 1$ が雑音スペクトル $N S 1$ よりも十分に狭いことにより、光信号 $O S$ の入力パワー P_{in} は次式で与えられる。

40

【 0 0 2 9 】

$$P_{in} = 2 P_{sig} + 2 P_{ASE} \quad \dots (1)$$

図 2 の (B) 及び (C) を参照すると、ビーム $B 3$ 及び $B 4$ のスペクトルがそれぞれ示されている。フィルタ 4 及び 6 の波長 λ_0 における透過率が 100% であるとするれば、光カプラ 2 の分岐比が 1 : 1 であることから、信号スペクトル $S S 2$ 及び $S S 3$ のパワーはそれぞれ P_{sig} となる。また、雑音スペクトル $N S 2$ のパワーは、フィルタ 4 の通過帯域

50

P B 1 によって決定される定数 K_1 ($1 < K_1$) を用いて P_{ASE} / K_1 で表され、雑音スペクトル N S 3 のパワーは、フィルタ 6 の通過帯域 P B 2 によって決定される定数 K_2 ($K_1 < K_2$) を用いて P_{ASE} / K_2 で表される。

【 0 0 3 0 】

フォトディテクタ 8 が出力する電気信号 S 1 の電圧レベル V_1 がビーム B 3 のパワーに比例し、フォトディテクタ 10 が出力する電気信号 S 2 の電圧レベル V_2 がビーム B 4 のパワーに比例するとすると、電圧レベル V_1 及び V_2 はそれぞれ次式で与えられる。

【 0 0 3 1 】

$$V_1 = P_{sig} + P_{ASE} / K_1 \quad \dots (2)$$

$$V_2 = P_{sig} + P_{ASE} / K_2 \quad \dots (3)$$

(2) 式を K_1 倍して (3) 式を K_2 倍して、これらの差を求めると、(4) 式が得られる。

【 0 0 3 2 】

$$K_1 V_1 - K_2 V_2 = (K_1 - K_2) P_{sig} \quad \dots (4)$$

このように (2) 式及び (3) 式に基づき線形演算を行うことによって、(4) 式に示されるように、信号スペクトル S S 1 に関する光信号のパワー P_{sig} に比例した値を得ることができる。

【 0 0 3 3 】

そのような線形演算を行うために、図 1 の演算ユニット 1 2 は、フォトディテクタ 8 が出力した電気信号 S 1 に定数 K_1 を乗ずるための増幅器 1 4 と、フォトディテクタ 10 が出力した電気信号 S 2 に定数 K_2 を乗ずるための増幅器 1 6 と、増幅器 1 4 及び 1 6 の出力信号の差を得るための減算器 (比較器) 1 8 とを含んでいる。

【 0 0 3 4 】

これにより、前述した原理に従って、雑音スペクトル N S 1 に影響されずに信号スペクトル S S 1 に関する光信号 O S のパワーを正確にモニタリングすることができる。

【 0 0 3 5 】

信号スペクトル S S 1 に影響されずに雑音スペクトル N S 1 のパワーをモニタリングすることもできる。例えば、(2) 式と (3) 式の差分を求めることにより、次式が得られるので、それに基づいて雑音スペクトルのパワー P_{ASE} に比例した値を得ることができる。

【 0 0 3 6 】

$$V_1 - V_2 = (1 / K_1 - 1 / K_2) P_{ASE} \quad \dots (5)$$

図 3 を参照すると、図 1 の光パワーモニタの実施形態が示されている。光信号 O S はポート 2 0 から光カプラ 2 に供給される。光カプラ 2 はビーム B 1 及び B 2 を出力し、ビーム B 1 及び B 2 はそれぞれ光帯域通過フィルタ 4 及び 6 を通過してビーム B 3 及び B 4 となる。

【 0 0 3 7 】

ビーム B 3 及び B 4 はそれぞれフォトダイオード 2 2 及び 2 4 に入射する。フォトダイオード 2 2 のカソードは + の電源線に接続され、アノードは抵抗 R 1 を介して接地されており、これによりフォトダイオード 2 2 には逆バイアスが与えられている。

【 0 0 3 8 】

フォトダイオード 2 2 にビーム B 3 が入射すると、フォトダイオード 2 2 のアノードの電位がビーム B 3 のパワーに従って変化するので、この変化を電圧信号として取り出すことができる。

【 0 0 3 9 】

フォトダイオード 2 4 のカソードは + の電源線に接続されアノードは抵抗 R 2 を介して接地されており、これによりダイオード 2 4 には逆バイアスが与えられている。フォトダイオード 2 4 にビーム B 4 が入射すると、フォトダイオード 2 4 のアノードの電位はビーム B 4 のパワーに従って変化する。従って、この変化を電圧信号として取り出すことができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

フォトダイオード 2 2 のアノードは抵抗 R 3 を介して演算増幅器 2 6 の + 入力ポートに接続されている。演算増幅器 2 6 はボルテージフォロアとして用いられる。

【 0 0 4 1 】

演算増幅器 2 6 の - 入力ポートは接地され、+ 入力ポートと出力ポートとの間には抵抗 R 4 が接続されている。

【 0 0 4 2 】

演算増幅器 2 6 の出力ポートは抵抗 R 5 を介して演算増幅器 2 8 の + 入力ポートに接続される。演算増幅器 2 8 は演算増幅器 2 6 の出力レベルを定数倍するためのものである。

【 0 0 4 3 】

演算増幅器 2 8 の - 入力ポートは接地され、+ 入力ポートは可変抵抗 V R 1 を介して出力ポートに接続されている。可変抵抗 V R 1 の値を調整することによって、演算増幅器 2 8 の利得が調整可能である。

【 0 0 4 4 】

演算増幅器 2 8 の出力ポートは抵抗 R 6 を介して演算増幅器 3 0 の + 入力ポートに接続されている。演算増幅器 3 0 は誤差信号を得るための減算器（比較器）として用いられている。

【 0 0 4 5 】

フォトダイオード 2 4 のために、演算増幅器 2 6 及び 2 8 にそれぞれ対応する演算増幅器 3 2 及び 3 4 が設けられている。また、抵抗 R 3 , R 4 , R 5 及び R 6 に対応してそれぞれ抵抗 R 7 , R 8 , R 9 及び R 1 0 が設けられており、可変抵抗 V R 1 に対応して可変抵抗 V R 2 が設けられている。

【 0 0 4 6 】

抵抗 R 1 0 は演算増幅器 3 4 の出力ポートと演算増幅器 3 0 の - 入力ポートとを接続するためのものである。演算増幅器 3 0 の + 入力ポート及び出力ポートは抵抗 R 1 1 により接続されている。そして、演算増幅器 3 0 の出力信号はポート 3 6 を通って出力される。

【 0 0 4 7 】

従って、ポート 2 0 及び 3 6 がそれぞれこの光パワーモニタの入力ポート及び出力ポートとなる。

【 0 0 4 8 】

この実施形態によると、簡単なアナログ回路を用いて図 1 の光パワーモニタを得ることができ、従って、入力ポート 2 0 での光信号 O S のパワーを正確にモニタリングしてそのモニタリングデータを出力ポート 3 6 から出力することができる。説明は省略するが、図 1 の演算ユニット 1 2 をデジタル回路によって構成してもよい。

【 0 0 4 9 】

図 4 の (A) 及び (B) を参照すると、光帯域通過フィルタ 4 及び 6 の特性の例がそれぞれ示されている。それぞれにおいて縦軸は減衰 (d B) を示し横軸は波長 (n m) を示している。

【 0 0 5 0 】

減衰が 2 0 d B よりも小さくなる波長範囲を通過帯域として定義すると、図 4 の (A) の例では、フィルタ 4 の通過帯域は約 2 5 n m であり、図 4 の (B) の例では、フィルタ 6 の通過帯域は約 4 n m となる。

【 0 0 5 1 】

図 4 の (A) に示されるようにフィルタ 4 が比較的広い通過帯域を有している場合、図 3 の演算増幅器 2 8 の出力レベルには、雑音スペクトル及び信号スペクトルの双方が反映される。従って、演算増幅器 2 8 の出力ポートをポート 3 6 とは別にポート 3 8 に破線で示されるように接続しておくことによって、雑音スペクトル及び信号スペクトルの双方が反映される光パワーをモニタリングすることができる。

【 0 0 5 2 】

図 5 を参照すると、本発明による光パワーモニタの第 2 の基本構成が示されている。雑

10

20

30

40

50

音スペクトルNSに重畳された信号スペクトルSSを有する光信号OSがフォトディテクタ40に供給される。

【0053】

フォトディテクタ40は、光信号OSの瞬時パワーに対応して変化するレベル(例えば電圧レベル又は電流レベル)を有する電気信号S11を出力する。

【0054】

電気信号S11は低域通過フィルタ42及び演算増幅器44に供給される。フィルタ42は、供給された信号S11のDC成分を出力信号S12として通過させる。

【0055】

演算増幅器44は、供給された信号S11及びS12の差に相当する誤差信号ESを出力する。

10

【0056】

図6の(A)~(D)を参照すると、それぞれ、光信号OSと信号S11及びS12と誤差信号ESとの波形が示されている。

【0057】

光信号OSの信号スペクトルSSは主信号により与えられており、従って、光信号OS及び電気信号S11においては、DCの雑音成分に主信号成分が重畳された波形が得られている。そして、信号S11が低域通過フィルタ42を通過することにより主信号成分は遮断され、図6の(C)に示されるように、信号S12はDC波形を有するようになる。

【0058】

20

そして、信号S11及びS12の差として与えられる誤差信号ESは主信号成分に対応する波形を有するようになる。

【0059】

従って、演算増幅器44の動作速度が主信号による変調速度に追従しない場合には、誤差信号ESのパワー又はレベルが直接的に信号スペクトルSSのパワーを表すことになる。

【0060】

演算増幅器44が高速動作可能な場合には、図6の(D)に示されるように主信号成分が誤差信号ESに表れるので、誤差信号ESに基づき信号スペクトルSSに関する光信号OSのパワーを算出する演算ユニット46を設けるのがよい。

30

【0061】

演算ユニット46は、例えば誤差信号ESに対して作用するピーク検出器48を含むことができる。

【0062】

このように、本発明の光パワーモニタの第2の基本構成によると、低域通過フィルタ42及び演算増幅器44を用いて電氣的に雑音成分をキャンセルするようにしているので、雑音スペクトルに影響されずに信号スペクトルに関する光信号のパワーを正確にモニタリングすることができる。

【0063】

図7を参照すると、図5の光パワーモニタの実施形態が示されている。光信号OSは入力ポート50から光帯域通過フィルタ52を通過してフォトダイオード54に供給される。フィルタ52は雑音スペクトルNSを確定するためのものであり、例えば図4の(A)に示されるように比較的広い通過帯域を有している。

40

【0064】

フォトダイオード54のカソードは+の電源線に接続されアノードは抵抗R12を介して接地されている。フォトダイオード54は主信号による変調速度に十分追従しえる動作特性を有している。

【0065】

フォトダイオード54のアノードは抵抗R13を介して演算増幅器56の+入力ポートに接続されている。演算増幅器56は高速特性を有するボルテージフォロアとして用い

50

られる。

【0066】

演算増幅器56の-入力ポートは接地されており+入力ポートは抵抗R14を介して出力ポートに接続されている。

【0067】

演算増幅器56の出力ポートは低域通過フィルタ58の入力ポート及び演算増幅器60の+入力ポートに接続されている。演算増幅器60は図5の演算増幅器44に対応している。

【0068】

帯域通過フィルタ58の出力ポートは抵抗R15を介して演算増幅器60の-入力ポートに接続されている。演算増幅器60の-入力ポート及び出力ポートは抵抗R16により接続されている。

10

【0069】

ここでは演算増幅器60は主信号による変調速度に追従しえない動作特性を有している。従って、演算増幅器60の出力信号には信号スペクトルSSのパワーが反映されるので、その出力信号を出力ポート62により取り出すことができる。

【0070】

このように本実施形態によっても雑音スペクトルに影響されずに信号スペクトルに関する光信号のパワーを正確にモニタリングすることができる。尚、低域通過フィルタ58の出力信号には雑音スペクトルNSのパワーが反映されているので、フィルタ58の出力ポートを破線で示されるようにポート64に接続しておくことによって、ポート64により光信号OSの雑音パワーをモニタリングすることができる。

20

【0071】

図8を参照すると、本発明による光増幅器の基本構成が示されている。入力ポート66及び出力ポート68の間には主光路70が設定されている。主光路70上には光増幅媒体72が設けられている。

【0072】

入力ポート66に供給された光信号は光増幅媒体72によって増幅され、増幅された光信号は出力ポート68から出力される。光増幅媒体72は、光信号の波長を含む利得帯域を有するようにポンピングユニット74によってポンピングされている。

30

【0073】

光増幅媒体72がEDF(エルビウムドープファイバ)等のドープファイバ或いは非線形光学媒体である場合には、ポンピングユニット74は光増幅媒体72にポンプ光を供給する手段を含む。光増幅媒体72が半導体チップにより提供されている場合には、ポンピングユニット74は半導体チップにバイアス電流を注入する手段を含む。

【0074】

光パワーをモニタリングすべき光信号を主光路70から抽出するために、抽出ユニット76が主光路70に動作的に接続されている。

【0075】

この出願において、ある要素と他の要素とが動作的に接続されるというのは、これらの要素が直接接続される場合を含み、更に、これらの要素の間で電気信号又は光信号の受渡しができる程度の関連性をもってこれらの要素が設けられている場合を含む。

40

【0076】

抽出された光信号のために、本発明による光パワーモニタ78が抽出ユニット76に動作的に接続されている。光パワーモニタ78は一般的には図1の第1の基本構成或いは図5の第2の基本構成を有している。

【0077】

前述したように光パワーモニタ78においては雑音スペクトルに影響されずに信号スペクトルに関する光信号のパワーを正確にモニタリングすることができるので、そのモニタリング結果に基づいて光増幅器における種々の制御を良好に行うことができる。

50

【 0 0 7 8 】

例えば、入力ポート 6 6 に供給された光信号が抽出される場合には、抽出された光信号のパワーのモニタリングの結果に基づいて光増幅媒体 7 2 のポンピングのシャットダウンに関する制御を正確に行うことができる。

【 0 0 7 9 】

また、光増幅媒体 7 2 において増幅された光信号が抽出される場合には、抽出された光信号のパワーのモニタリング結果に基づいて A P C (自動パワー制御) を正確に行うことができる。

【 0 0 8 0 】

図 9 を参照すると、本発明による光増幅器の第 1 実施形態が示されている。図 8 の光増幅媒体 7 2 に対応して、ドーパントとして E r (エルビウム) 又はその化合物を含むエルビウムドープファイバ (E D F) 8 0 が用いられている。 E D F 8 0 は入力ポート 6 6 の側に位置する第 1 端 8 0 A と出力ポート 6 2 の側に位置する第 2 端 8 0 B とを有している。

10

【 0 0 8 1 】

図 8 のポンピングユニット 7 4 は、レーザダイオード (L D) 8 2 と、 L D 8 2 が予め定められた波長のポンプ光を出力するように L D 8 2 にバイアス電流を供給する駆動回路 8 4 と、 L D 8 2 から出力されたポンプ光を E D F 8 0 の第 1 端 8 0 A 及び第 2 端 8 0 B の少なくともいずれか一方から E D F 8 0 に供給するための光回路とを備えている。

【 0 0 8 2 】

この光回路は、具体的には、 E D F 8 0 の第 1 端 8 0 A 及び L D 8 2 に接続される波長分割多重 (W D M) カプラ 8 6 を含む。

20

【 0 0 8 3 】

この実施形態では、入力ポート 6 6 における入力光信号パワーをモニタリングするために、図 8 の抽出ユニット 7 6 は、入力ポート 6 6 と W D M カプラ 8 6 との間に設けられる光カプラ 8 8 を含む。光カプラ 8 8 により抽出された光信号は、本発明による光パワーモニタ 7 8 のポート 2 0 (5 0) に供給される。

【 0 0 8 4 】

入力ポート 6 6 と光カプラ 8 8 との間には、順方向 (入力ポート 6 6 から出力ポート 6 8 に向かう方向) については十分小さい損失を有し、逆方向 (出力ポート 6 8 から入力ポート 6 6 に向かう方向) については十分大きい損失を有する光アイソレータ 9 0 が設けられている。また、 E D F 8 0 の第 2 端 8 0 B と出力ポート 6 8 との間には、順方向には十分小さな損失を有し逆方向には十分大きな損失を有する光アイソレータ 9 2 が設けられている。

30

【 0 0 8 5 】

光アイソレータ 9 0 及び 9 2 を E D F 8 0 の両側に設けているのは、この光増幅器を実用に供する場合に E D F 8 0 を含む光共振器構造が構成されてこの光増幅器の動作が不安定になることを防止するためである。

【 0 0 8 6 】

入力ポート 6 6 における入力光信号パワーが反映される光パワーモニタ 7 8 の出力信号は、ポート 3 6 (6 2) から制御回路 9 4 に供給される。制御回路 9 4 は、入力ポート 6 6 における入力光信号パワーを予め定められた値と比較して、入力光信号パワーが予め定められた値よりも小さいときに、 L D 8 2 が出力するポンプ光を遮断する。

40

【 0 0 8 7 】

具体的には、制御回路 9 4 からの制御信号が駆動回路 8 4 に供給されて、ポンプ光遮断条件が満足されたときに、駆動回路 8 4 が L D 8 2 に供給するバイアス電流が減少させられ或いは遮断される。

【 0 0 8 8 】

入力ポート 6 6 に供給される光信号の波長が 1 . 5 5 μ m 帯にある場合、 L D 8 2 が出力するポンプ光の波長は、例えば、 0 . 9 8 μ m 帯或いは 1 . 4 8 μ m 帯に設定される。

50

【0089】

入力ポート66に供給された光信号は、光アイソレータ90、光カプラ88及びWDMカプラ86をこの順に通ってEDF80にその第1端80Aから供給される。LD82からのポンプ光によってポンピングされているEDF80に光信号が供給されると、光信号は増幅されてEDF80の第2端から出力される。増幅された光信号は、光アイソレータ92及び出力ポート68をこの順に通ってこの光増幅器から出力される。

【0090】

この実施形態では、本発明による光パワーモニタ78及び制御回路94を用いているので、入力光信号について雑音スペクトルに影響されずに信号スペクトルに関するパワーを正確にモニタリングすることができ、信号スペクトルの有無によるポンプ光のシャットダウン制御を正確に行うことができる。例えば、複数の光増幅器が適用される光ネットワークにおいて、ASE等の雑音光による制御の誤動作を防止することができる。

10

【0091】

図10を参照すると、本発明による光増幅器の第2実施形態が示されている。この実施形態は、光パワーモニタ78が出力ポート68における出力光信号パワーをモニタリングしている点で特徴付けられる。そのために、抽出用の光カプラ88がEDF80の第2端80Bと光アイソレータ92との間に設けられている。

【0092】

EDF80において増幅された光信号の一部が光カプラ88により抽出され光パワーモニタ78のポート20(50)に供給される。抽出された光信号の信号スペクトルに関するパワーが反映される光パワーモニタ78の出力信号は、ポート36(62)から制御回路96に供給される。

20

【0093】

ここでは、制御回路96は、光パワーモニタ78の出力信号のレベルが一定になるように、駆動回路84がLD82に供給するバイアス電流を制御する。

【0094】

このようなフィードバックループを設けることによって、光増幅器の出力パワーが一定に保たれるAPC(自動パワー制御)が可能になる。このAPCにおいては、光パワーモニタ78が増幅された光信号の雑音スペクトルをキャンセルしていることに基づき、信号スペクトルに関するパワーが一定に保たれる。

30

【0095】

このように、本実施形態によると、雑音スペクトルに影響されないAPCが可能になる。

【0096】

図11を参照すると、本発明による光増幅器の第3実施形態が示されている。ここでは、図9の光アイソレータ90に代えて光サーキュレータ98が用いられている。光サーキュレータ98は、順方向の光を第1のポート98Aから第2のポート98Bに通過させるが、逆方向の光を第2のポート98Bから第1のポート98Aには通過させず、第2のポート98Bに供給された光を第3のポート98Cから出力する。

【0097】

従って、入力ポート66に供給された光信号は、光サーキュレータ98、光カプラ88及びWDMカプラ86をこの順に通ってEDF80に供給される。

40

【0098】

EDF80において光信号が増幅される時、EDF80においては、その第1端80Aから第2端80Bに向かうフォワードASEと第2端80Bから第1端80Aに向かうバックワードASEとが発生する。そして、EDF80における利得がフォワードASE及びバックワードASEに反映されることが知られている。

【0099】

EDF80の第1端80Aから出力されたバックワードASEは、WDMカプラ86及び光カプラ88をこの順に通って光サーキュレータ98の第2のポート98Bに供給され

50

る。そしてこのバックワードASEは第3のポート98Cを通過して雑音帯域を確定するための光帯域通過フィルタ100に供給される。

【0100】

フィルタ100を通過したバックワードASEはフォトディテクタ102によりそのパワーに応じた電気信号に変換され、この電気信号がASEパワーモニタ104に供給される。

【0101】

ASEパワーモニタ104は演算増幅器106及び108を含んでいる。フォトディテクタ102の出力信号は、抵抗R17及びR18を介して演算増幅器106の+入力ポートに入力される。抵抗R17及びR18の接続点は抵抗R19により接地されている。

10

【0102】

演算増幅器106の-入力ポートは接地され+入力ポートは抵抗R20を介してその出力ポートに接続されている。

【0103】

演算増幅器106の出力ポートは抵抗R21を介して演算増幅器108の+入力ポートに接続されている。

【0104】

演算増幅器108の-入力ポートは接地され、+入力ポートは可変抵抗VR3を介してその出力ポートに接続されている。

【0105】

このようなASEパワーモニタ104によると、EDF80において生じたバックワードASEのパワーを演算増幅器108の出力信号によりモニタリングすることができる。

20

【0106】

この実施形態では、光パワーモニタ78及びASEパワーモニタ104の出力信号が制御回路110に供給される。制御回路110は、光パワーモニタ78の出力信号に基づき、図9の第1実施形態におけるのと同じようなポンプ光のシャットダウン制御を行う。それに加えて、制御回路110は、ポンプ光がシャットダウンされていないときに限って、ASEパワーモニタ104の出力信号が一定に保たれるように、駆動回路84がLD82に供給するバイアス電流を制御する。

【0107】

前述のようにバックワードASEにはEDF80における利得が反映されているので、このようにASEパワーモニタ104の出力信号に基づくフィードバック制御を行うことによって、入力ポート66における光信号に信号スペクトルがある場合にこの光増幅器の利得を一定に制御することができる。

30

【0108】

図12を参照すると、本発明による光増幅器の第4実施形態が示されている。図9の第1実施形態では、光増幅媒体72(図8参照)が1段構成であるのに対比して、図12の第4実施形態では、光増幅媒体72が2段構成を有している。ここでは、図9におけるEDF80、LD82、駆動回路84及びWDMカプラ86に対応して、EDF80(#1)、LD82(#1)、駆動回路84(#1)及びWDMカプラ86(#1)が用いられている。

40

【0109】

加えて、光アイソレータ90と光カプラ88との間にはEDF80(#2)が設けられている。EDF80(#2)をポンピングするために、LD82(#2)と、LD82(#2)がポンプ光を出力するようにLD82(#2)にバイアス電流を与える駆動回路84(#2)と、ポンプ光をEDF80(#2)に供給するためのWDMカプラ86(#2)が用いられている。WDMカプラ(#2)は、光アイソレータ90とEDF80(#2)との間に設けられている。

【0110】

入力ポート66に供給された光信号は、光アイソレータ90及びWDMカプラ86(#

50

2) をこの順に通って第1段目のEDF80(#2)に供給され、ここで増幅される。

【0111】

EDF80(#2)において増幅された光信号は、光カプラ88及びWDMカプラ86(#1)をこの順に通って第2段目のEDF80(#1)に供給され、ここで更に増幅される。EDF80(#1)において増幅された光信号は、光アイソレータ92及び出力ポート68をこの順に通ってこの光増幅器から出力される。

【0112】

この実施形態においては、EDF80(#2)において増幅された光信号の信号スペクトルに関して光パワーモニタ78がパワーのモニタリングを行う。そのモニタリング結果に基づいて、制御回路112が駆動回路84(#1及び#2)に対してポンプ光のシャットダウン制御を行う。

10

【0113】

この実施形態では、第1段目のEDF80(#2)により光信号を増幅した後にパワーのモニタリングを行っているので、良好なノイズファクタを有する光増幅器の提供が可能になる。即ち、第1段目のEDF80(#2)により光信号を一旦十分な利得で増幅しておくことによって、その後で光パワーモニタリング用の分岐(光カプラ88による)を行ったとしても、ノイズファクタが劣化しにくいのである。

【0114】

尚、第2段目のEDF80(#1)についてのAPCループを設けてもよい。この場合、APCループの制御対象は駆動回路84(#1)がLD82(#1)に供給するバイアス電流である。

20

【0115】

図13を参照すると、本発明による光増幅器の第5実施形態が示されている。ここでは、図12の第4実施形態に加えて、図11の第3実施形態における光サーキュレータ98、光帯域通過フィルタ100、フォトディテクタ102及びASEパワーモニタ104が付加されており、それに伴って改良された制御回路114が用いられている。

【0116】

制御回路114は、光パワーモニタ78の出力信号に基づいて駆動回路84(#1及び#2)に対してシャットダウン制御を行うと共に、ポンプ光がシャットダウンされていないときに限って、ASEパワーモニタ104の出力信号が一定に保たれるように、駆動回路84(#1)がLD82(#1)に供給するバイアス電流を制御する。これにより、EDF80(#1)について信号スペクトルに基づく正確な利得制御が可能になる。

30

【図面の簡単な説明】

【0117】

【図1】本発明による光パワーモニタの第1の基本構成を示すブロック図である。

【図2】図1の各部におけるスペクトルを示す図である。

【図3】図1の光パワーモニタの実施形態を示す図である。

【図4】光帯域通過フィルタの特性の例を示す図である。

【図5】本発明による光パワーモニタの第2の基本構成を示すブロック図である。

【図6】図5の各部における波形図である。

40

【図7】図5の光パワーモニタの実施形態を示す図である。

【図8】本発明による光増幅器の基本構成を示すブロック図である。

【図9】本発明による光増幅器の第1実施形態を示すブロック図である。

【図10】本発明による光増幅器の第2実施形態を示すブロック図である。

【図11】本発明による光増幅器の第3実施形態を示すブロック図である。

【図12】本発明による光増幅器の第4実施形態を示すブロック図である。

【図13】本発明による光増幅器の第5実施形態を示すブロック図である。

【符号の説明】

【0118】

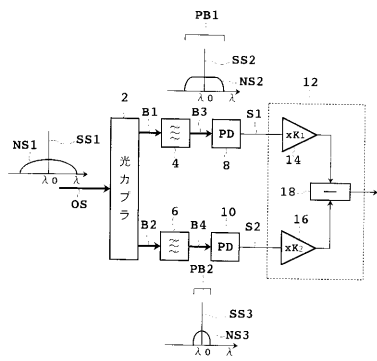
2 光カプラ

50

- 4, 6 光帯域通過フィルタ
- 8, 10 フォトディテクタ
- 12 演算ユニット

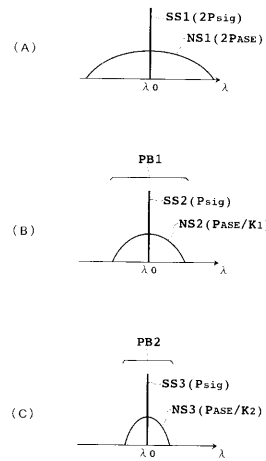
【図1】

光パワーモニタの第1の基本構成を示すブロック図



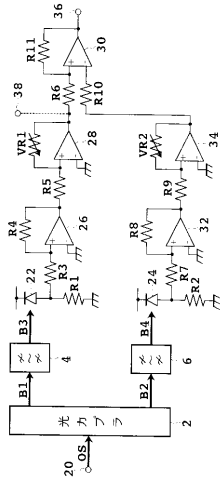
【図2】

図1の各部におけるスペクトルを示す図



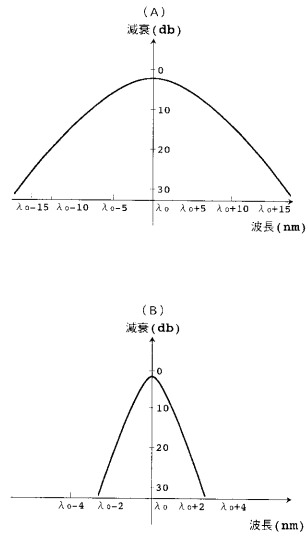
【 図 3 】

図1の光パワーモニタの実施形態を示す図



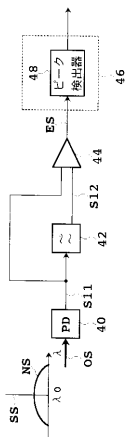
【 図 4 】

光帯域通過フィルタの特性を示す図



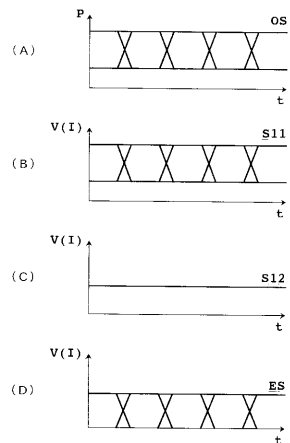
【 図 5 】

光パワーモニタの第2の基本構成を示すブロック図



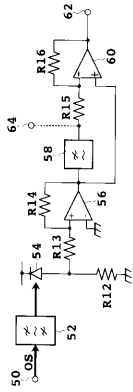
【 図 6 】

図5の各部における波形図



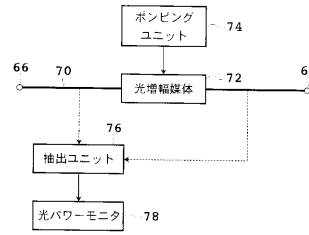
【図7】

図5の光パワーモニタの実施形態を示す図



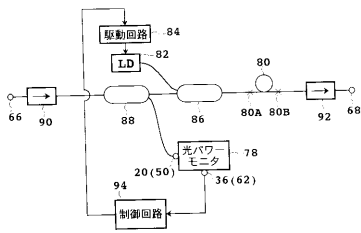
【図8】

光増幅器の基本構成を示すブロック図



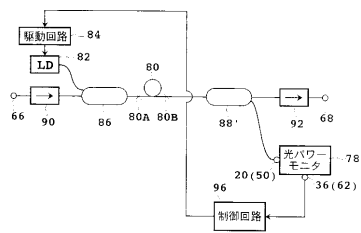
【図9】

光増幅器の第1実施形態を示すブロック図



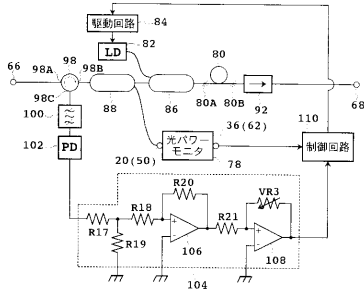
【図10】

光増幅器の第2実施形態を示すブロック図



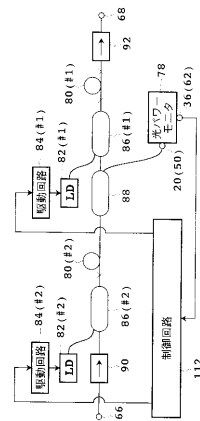
【図 1 1】

光増幅器の第 3 実施形態を示すブロック図



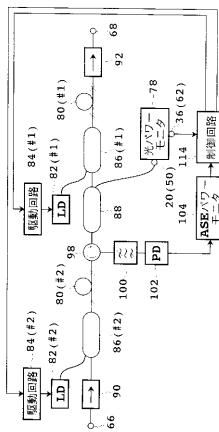
【図 1 2】

光増幅器の第 4 実施形態を示すブロック図



【図 1 3】

光増幅器の第 5 実施形態を示すブロック図



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07-064134(JP,A)
特開平05-211482(JP,A)
特開平07-028107(JP,A)
特開平08-065249(JP,A)
特開平06-284092(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F1/35-1/39
H01S3/10
H01S3/13
H04B10/00-10/28
H04J14/00-14/08