

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4175051号
(P4175051)

(45) 発行日 平成20年11月5日(2008.11.5)

(24) 登録日 平成20年8月29日(2008.8.29)

(51) Int. Cl.	F I				
GO2F	1/35	(2006.01)	GO2F	1/35	501
HO1S	3/10	(2006.01)	HO1S	3/10	Z
HO1S	3/30	(2006.01)	HO1S	3/30	Z

請求項の数 10 (全 9 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2002-226150 (P2002-226150)</p> <p>(22) 出願日 平成14年8月2日(2002.8.2)</p> <p>(65) 公開番号 特開2004-69831 (P2004-69831A)</p> <p>(43) 公開日 平成16年3月4日(2004.3.4)</p> <p>審査請求日 平成17年7月15日(2005.7.15)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号</p> <p>(74) 代理人 100109313 弁理士 机 昌彦</p> <p>(74) 代理人 100121290 弁理士 木村 明隆</p> <p>(74) 代理人 100111637 弁理士 谷澤 靖久</p> <p>(72) 発明者 横山 隆 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内</p> <p>審査官 河原 正</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送システム及び光伝送システムの光増幅方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光伝送路を伝播する信号光をラマン増幅させる第1のラマン増幅用光源と、前記光伝送路を介して、前記第1のラマン増幅用光源と隣接して前記第1のラマン増幅用光源1個に対しm個(mは自然数)の割合で配置される第2のラマン増幅用光源とを備え、前記第1のラマン増幅用光源は、励起光源として、互いに異なる波長を有する第1の励起光を現用時に放射させる複数の第1の励起光源と、前記第1の励起光とそれぞれ同じ波長帯を有する予備励起光を適宜放射する複数の予備励起光源と、同じ波長帯同士の前記第1の励起光と前記予備励起光を合成する光合成器と、合成された互いに異なる波長を有する励起光を合波し、波長多重する第1の光合波器と、波長多重された励起光を前記光伝送路に入射する第2の光合波器とを備え、前記第2のラマン増幅用光源は、励起光源として、前記第1の励起光とそれぞれ同じ波長帯を有する第2の励起光を現用時に放射する複数の第2の励起光源のみと、前記第2の励起光を合波し、波長多重する第3の光合波器と、波長多重された第2の励起光を前記光伝送路に入射する第4の光合波器とを備え、前記第2の励起光源の何れかで故障が発生した場合に、故障した波長と同じ波長帯の前記予備励起光源を駆動し、前記予備励起光を出力することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】

信号光が前記第 2 の励起光源の何れかで故障した場合、故障する前と同じ出力レベルになるように、前記予備励起光源から予備励起光が出力されることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 3】

信号光が前記第 2 の励起光源の何れかで故障した場合、故障する前と同じ利得波長特性になるように、前記予備励起光源から予備励起光が出力されることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 4】

前記ラマン増幅用光源は、前記励起光源及び前記予備励起光源を制御する制御回路が備えられていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 に記載の光伝送システム。

10

【請求項 5】

光伝送路を伝播する信号光をラマン増幅させ、冗長系を備えるラマン増幅用光源と、前記光伝送路を介して、前記冗長系を備えるラマン増幅用光源と隣接して前記冗長系を備えるラマン増幅用光源 1 個に対し m 個 (m は自然数) の割合で配置される冗長系を備えないラマン増幅用光源とから構成され、

前記冗長系を備えるラマン増幅用光源は、

励起光源として、互いに異なる波長を有する第 1 の励起光を現用時に放射させる複数の第 1 の励起光源と、

前記第 1 の励起光とそれぞれ同じ波長帯を有する予備励起光を適宜放射する複数の予備励起光源と、

20

同じ波長帯同士の前記第 1 の励起光と前記予備励起光を合成する光合成器と、合成された互いに異なる波長を有する励起光を合波し、波長多重すると共に、複数の分岐する手段と、

分岐された波長多重励起光を複数の光伝送路に入射する複数の第 1 の光合波器と、を備え、

前記冗長系を備えないラマン増幅用光源に備えられた励起光源の何れかで故障が発生した場合に、故障した波長と同じ波長帯の前記予備励起光源を駆動し、前記予備励起光を出力することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 6】

30

光伝送路を伝播する信号光をラマン増幅させ、冗長系を備えるラマン増幅用光源と、前記光伝送路を介して、前記冗長系を備えるラマン増幅用光源と隣接して前記冗長系を備えるラマン増幅用光源 1 個に対し m 個 (m は自然数) の割合で配置される冗長系を備えないラマン増幅用光源とから構成され、

前記冗長系を備えるラマン増幅用光源は、

励起光源として、互いに異なる波長を有する第 1 の励起光を現用時に放射させる複数の第 1 の励起光源と、

前記第 1 の励起光を波長多重する第 1 の光合波器と、

前記第 1 の励起光とそれぞれ同じ波長帯を有する予備励起光を適宜放射する複数の予備励起光源と、

40

前記予備励起光を波長多重する第 2 の光合波器と、

前記合波された第 1 の励起光と前記合波された予備励起光を、さらに合成すると共に、複数の分岐する手段と、

分岐された波長多重励起光を複数の光伝送路に入射する複数の第 3 の光合波器と、を備え、

前記冗長系を備えないラマン増幅用光源に備えられた励起光源の何れかで故障が発生した場合に、故障した波長と同じ波長帯の前記予備励起光源を駆動し、前記予備励起光を出力することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 7】

光伝送路を伝播する信号光をラマン増幅させる第 1 のラマン増幅用光源と、前記光伝送路

50

を介して、前記第 1 のラマン増幅用光源と隣接して前記第 1 のラマン増幅用光源 1 個に対し m 個 (m は自然数) の割合で配置される第 2 のラマン増幅用光源とを備えた光伝送システムの光増幅方法であって、

前記第 1 及び前記第 2 のラマン増幅用光源によって前記信号光を光増幅する第 1 のステップと、

前記第 2 のラマン増幅用光源に備えられた励起光源の何れかで故障が発生し、前記信号光の特性に劣化が発生する第 2 のステップと、

前記第 2 のラマン増幅用光源においては信号光は劣化された状態で中継されていく第 3 のステップと、

前記第 1 のラマン増幅用光源に備えられた予備用励起光源から予備励起光が出力されることにより、前記信号光が劣化する前の特性に戻される第 4 のステップと、を有し、
複数の波長の前記励起光源及び前記予備励起光源が用いられていることを特徴とする光伝送システムの光増幅方法。

10

【請求項 8】

前記信号光が前記第 2 のラマン増幅用光源に備えられた励起光源の何れかで故障した場合、故障する前と同じ出力レベルになるように、前記予備励起光源からの前記予備励起光の出力が調整されることを特徴とする請求項 7 に記載の光伝送システムの光増幅方法。

【請求項 9】

前記信号光が前記第 2 のラマン増幅用光源に備えられた励起光源の何れかで故障した場合、故障する前と同じ利得波長特性になるように、前記予備励起光源からの前記予備励起光の出力が調整されることを特徴とする請求項 7 に記載の光伝送システムの光増幅方法。

20

【請求項 10】

前記励起光源及び前記予備励起光源の出力が、制御回路により調整されていることを特徴とする請求項 7 乃至 9 に記載の光伝送システムの光増幅方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光伝送システムに関し、特に信号光のラマン増幅技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

30

光伝送技術において、光伝送路自体を増幅媒体として、光伝送路中にラマン散乱を起こさせて、信号光を直接増幅するラマン増幅技術が知られている。このラマン増幅技術では、励起光源の波長より約 100 nm 長波長側にピークを有する利得が生じるというラマン増幅現象を用いている。このようにラマン増幅技術では、利得波長が励起光源の波長によって決定されるために、波長多重の光信号伝送システムでは、複数の波長の励起光源を組み合わせることにより、信号光を平坦に保つ設計手法が一般的に用いられている（例えば、2001年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 B - 10 - 66 参照）。そのために励起光源が故障した場合においても、利得波長特性の変動を補償する手段が必要となる。また、ラマン増幅現象においては励起強度によりその利得が決定され、EDF（エルビウムドープファイバ）を用いた増幅器等にみられる数中継後に利得が回復する現象（セルフヒーリング特性）は生じない。このような問題を解決するために、従来、各ラマン増幅用光源毎に冗長用の励起光源を設ける方法や、励起光源が故障したラマン増幅用光源の後段のラマン増幅用光源数台によって励起強度を分担して補償する方法（例えば、2001年電子情報通信学会ソサイエティ大会 B - 10 - 62 参照）等がある。

40

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、このように、全てのラマン増幅用光源に冗長用の励起光源を設ける方法はシステム全体のコストが上がってしまう問題があり、後段の増幅用光源数台で補償する方法は通常状態では使用しない過剰な励起強度能力を各励起光源に持たせなくてはならないという問題がある。

50

【 0 0 0 4 】

本発明は、上記問題点を解消するためになされたものであり、ラマン増幅による光伝送システムにおいて、励起光源の冗長数や各励起光源に対する最高出力レベル能力を小さく抑えることを目的とする。

【 0 0 0 5 】

【課題を解決するための手段】

本発明の光伝送システムでは、各ラマン増幅用光源毎に冗長系の予備励起光源を備えるのではなく、複数おきにラマン増幅用光源に冗長系の予備励起光源を備えることを特徴とする。あるラマン増幅用光源において、励起光源が故障した場合、冗長系を備えないラマン増幅用光源では、光信号出力レベルや波長特性が劣化した状態のまま伝送されていくことになるが、ある間隔で配置されている冗長系を備えるラマン増幅用光源において、特性の劣化を補って、正常な光信号出力レベル及び波長特性に復元することができる。そのため、光伝送路において最終的に得られる光信号出力レベル及び波長特性には劣化を生じさせずに、従来技術に比べて冗長系を少なくできるという有効な効果が得られる。

10

【 0 0 0 6 】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【 0 0 0 7 】

〔第1実施形態〕

図1に、波長の異なる2つの励起光を用いた場合の本発明の第1の実施形態を示す。ラマン増幅用光源 1_1 は、波長の異なる励起光 1_1 、 1_2 を射出する励起光源 3_1 、 3_2 と、それらから射出される励起光 1_1 、 1_2 を合波する光合波器7と、合波された励起光を光伝送路に入射させる光合波器8と、励起光源 3_1 、 3_2 を制御する制御回路5と、光アイソレータ6から構成されている。なお、ラマン増幅用光源 1_2 から 1_{n-1} についてもラマン増幅用光源 1_1 と同様の構成となっている。これらのラマン増幅用光源には、冗長系の予備励起光源は設置されていない。一方、 n 番目のラマン増幅用光源 1_n には冗長用の予備励起光源 1_{11} 、 1_{12} が備えられている。予備励起光源 1_{11} は励起光源9に対する冗長用として、予備励起光源 1_{12} は励起光源10に対する冗長用として設置されており、それぞれ光合成器17、18で合成されるようになっている。なお、光合成器17、18には、偏波合成器等が用いられる。励起光源9、10は、それぞれ励起光源 3_1 、 3_2 と同じ波長帯に合わされており、予備励起光源 1_{11} 、 1_{12} も、それぞれ励起光源 3_1 、 3_2 と同じ波長帯に合わされている。また、励起光源9、10及び予備励起光源 1_{11} 、 1_{12} は、制御回路13で制御されるようになっており、光伝送路に設置されたモニタ(図示せず)により検出された信号光の特性に応じて、フィードバックがかけられるようになっている。予備励起光源 1_{11} 、 1_{12} は、励起光源が正常に動作されており、信号光に異常がない間は動作させないが、励起光源のいずれかに出力低下等の異常が発生して、信号光の劣化が検知された場合に、制御回路13により動作させるようになっている。

20

30

【 0 0 0 8 】

次に、上記構成の実施の形態の動作について説明する。例えば、1番目のラマン増幅用光源 1_1 において、励起光源4の故障が発生した場合、1番目のラマン増幅用光源 1_1 以降は、光信号出力レベルや波長特性が劣化した状態で伝送されることになるが、 n 番目のラマン増幅用光源 1_n の予備励起光源 1_{12} を動作させることで、励起光源4による劣化を補い、正常な光信号出力レベル及び波長特性を復元することができる。

40

【 0 0 0 9 】

この作用に関して、図2及び図3を用いて詳しく説明する。図2は伝送される信号光のレベルダイアグラムを、図3は各スパンにおける光出力波長特性を示している。図中の(a)、(b)、(c)、(d)はそれぞれ、(a)は伝送システムを構成する全てのラマン増幅用光源において励起光源が所定の出力レベルで動作している場合であり、(b)、(c)、(d)は2中継器目のラマン増幅用光源の励起光源に故障が発生した場合である。また、(b)は n 番目のラマン増幅用光源に予備励起光源が配置された本発明の伝送シス

50

テムである。

【0010】

この(b)において、2番目のラマン増幅用光源における波長2の励起光源が故障した場合、2番目のラマン増幅用光源以降の出力レベル及び波長特性が共に、劣化した状態で伝送されるが、n番目のラマン増幅用光源に備えられた予備励起光源のうち故障した光源と同一波長である2の励起光源を動作することで、正常時な状態に復元することができる。(c)は予備励起光源を有さない伝送システムであり、励起光源に故障が生じた2番目以降では出力レベル及び波長特性ともに劣化したままである。(d)はラマン増幅用光源全てにおいて、各波長に対する予備励起光源を有する伝送システムであり、故障が生じたラマン増幅用光源自身に予備励起光源が備えられているため、全てのラマン増幅用光源において光出力レベル及び波長特性に変動は生じない。

10

【0011】

ここで(b)と(d)を比較すると、最終的に得られる光信号出力レベル及び波長特性は、最終的に同等であるにもかかわらず、必要とする予備励起光源の数は本発明の(b)の構成の方が1/nに抑えることが可能である。このように、本発明は、特に平坦な利得波長特性を実現するために複数の励起波長を組み合わせたラマン増幅用光源を用いる光伝送システムにおいて有効である。なお、ここでは励起光源に2波長を用いた場合について説明したが、3波長以上を用いても良く、同様な作用により、信号光に発生した劣化を正常な状態に復元することができる。

【0012】

本発明における励起光源の故障率の計算式を以下に示す。ただし、故障条件は予備励起光源を備えない光伝送システムにおいて、励起光源が1個以上故障した場合、システムにおける励起光源部が故障したものと仮定する。総数N台のラマン増幅用光源からなりn個中継する毎に冗長用の予備励起光源を備える光伝送システムにおいて、励起光源の故障率をF1r、冗長用の予備励起光源の故障率をF2rとすると、n台に1台の割合で冗長用の予備励起光源を有する場合、励起光源の故障の条件及び故障率は、n台のうち2台以上のラマン増幅用光源で励起光源が故障する確率aと、n台のうち1台のラマン増幅用光源で励起光源が故障し、かつ予備励起光源が故障する確率bの和になる。それぞれの確立は下記の2式のように表される。

20

【0013】

【数式1】

$$a = n C 2 x F1r^2 + n C 3 x F1r^3 + \dots + n C n - 1 x F1r^{(n-1)} + n C n x F1r^n$$

30

【0014】

【数式2】

$$b = n C 1 x F1r x F2r$$

上記の2式より求められる確立の和にさらにN/nを乗じた値が総数N個の中継器からなる光伝送システムにおいて、n個中継毎に一回の割合で冗長部を有する場合の励起光源部の故障率となる。

40

【0015】

【数式3】

$$Fs = N / n x (a + b)$$

図4に、冗長系を備えるラマン増幅用光源を設置する間隔と、その光伝送システムの故障率との関係について示す。これらの関係により、必要とする光伝送システムの故障率により、冗長させるラマン増幅用光源を設置する間隔をどこまで大きくしても良いか設定することが可能となる。

50

【 0 0 1 6 】

〔 第 2 実施形態 〕

図 5 に、波長の異なる 2 つの励起光を用いた場合の本発明の第 2 の実施形態を示す。この第 2 の実施形態では、冗長系の予備励起光源を現用系と同じラマン増幅用光源の内部に設けるのではなく、冗長系の予備励起光源 20, 21 だけを備える冗長専用のラマン増幅用光源 19 を別に設けている。この第 2 の実施形態でも、第 1 の実施形態と同じ効果が得られる。なお、ここでも、第 1 の実施形態と同様、2 波長の励起光を用いた場合を示しているが、3 波長以上の励起光を用いても良い。

【 0 0 1 7 】

〔 第 3 の実施形態 〕

図 6 に、上り下りの対向光伝送路に適用する場合の本発明の第 3 の実施形態を示す。この第 3 の実施形態では、上り下りの対向光伝送路 26, 27 に対して、共通のラマン増幅用光源でラマン増幅を行う構成である。そこで、冗長系を備えるラマン増幅用光源 28 では、励起光 1 を出力する現用系の励起光源 29 と予備系の励起光源 30、励起光 2 を出力する現用系の励起光源 31 と予備系の励起光源 32 を、それぞれ光合成器 33, 34 で合成した後、光合波器 35 にて合波し、上り下りの対向光伝送路 26, 27 に対してそれぞれ励起光 1, 2 を送り込むようになっている。なお、光合波器 35 は、光合波器とカップラで構成しても良い。

【 0 0 1 8 】

〔 第 4 の実施形態 〕

図 7 に、上り下りの対向光伝送路に適用する場合の本発明の第 4 の実施形態を示す。この第 4 の実施形態では、第 3 の実施形態と同様に、上り下りの対向光伝送路 26, 27 に対して、共通のラマン増幅用光源でラマン増幅を行う構成である。冗長系を備えるラマン増幅用光源 36 では、現用系の励起光源 37 と予備系の励起光源 38 を一組として、同様に現用系の励起光源 39 と予備系の励起光源 40 を一組として、それぞれを光合波器 41, 42 により合波した後、光合成器 43 にて合成して、上り下りの対向光伝送路 26, 27 に対して励起光 1, 2 を送り込むようになっている。

【 0 0 1 9 】

【 発明の効果 〕

以上説明したように、本発明の光伝送システムでは、ラマン増幅用光源個別に冗長系を持たせるのではなく、複数のラマン増幅用光源に対して一括して冗長系を持たせることにより、部品点数の増加及びコストの増大を抑えることが可能である。これにより、励起光源に故障が生じた場合においても、信号光を所望のレベル及び波長特性に保つことが可能となる。

【 図面の簡単な説明 〕

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施の形態に係わる構成を示す図である。

【 図 2 】 伝送される信号光のレベルダイアグラムを示す図である。

【 図 3 】 各スパンにおける光出力波長特性を示す図である。

【 図 4 】 冗長系を備えるラマン増幅用光源を設置する間隔と光伝送システムの故障率の関係を示す図である。

【 図 5 】 本発明の第 2 の実施の形態に係わる構成を示す図である。

【 図 6 】 本発明の第 3 の実施の形態に係わる構成を示す図である。

【 図 7 】 本発明の第 4 の実施の形態に係わる構成を示す図である。

【 符号の説明 〕

1₁ ~ 1_{n-1} 冗長系を備えないラマン増幅用光源

1_n 冗長系を備えるラマン増幅用光源

2 光伝送路

3, 4, 9, 10 励起光源

5, 13 制御回路

6, 14 光アイソレータ

10

20

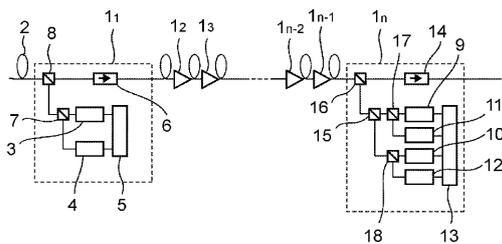
30

40

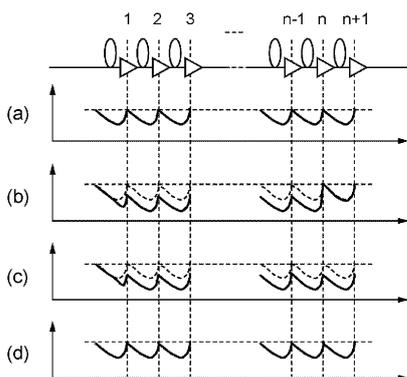
50

- 7, 8, 15, 16 光合波器
- 11, 12 予備励起光源
- 17, 18 光合成器
- 19 冗長専用のラマン増幅用光源
- 20, 21 予備励起光源
- 22, 23 光合成器
- 24 制御回路
- 25 光アイソレータ
- 26 上りの対向光伝送路
- 27 下りの対向光伝送路
- 28, 36 ラマン増幅用光源
- 35 光合波器
- 43 光合成器

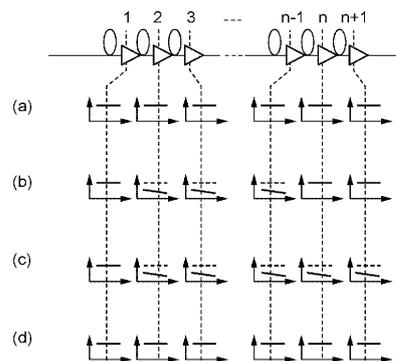
【図1】



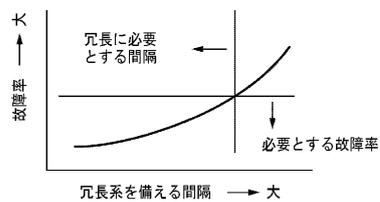
【図2】



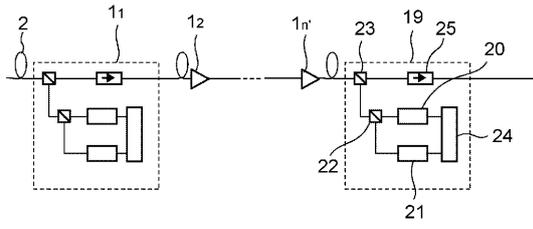
【図3】



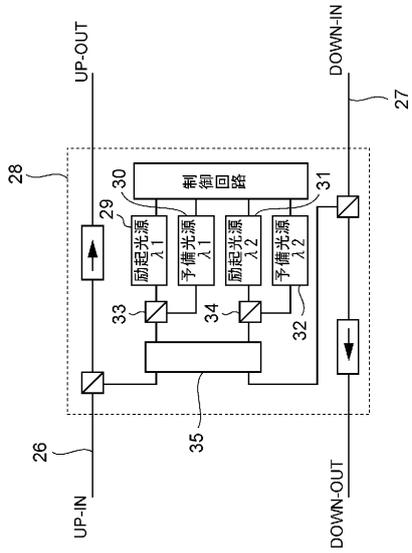
【図4】



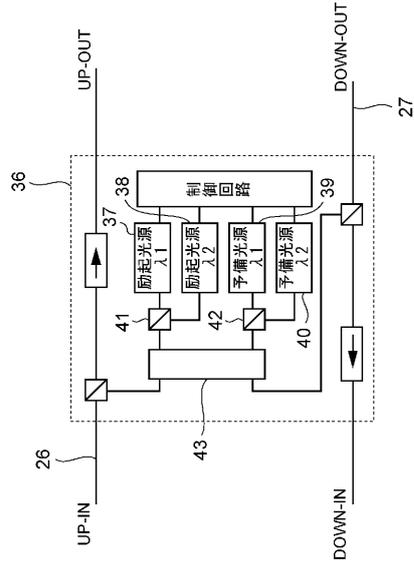
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-230480(JP,A)
特開2001-249369(JP,A)
ECOC'01,2001年,Vol.2,162-163

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G02F 1/35
H01S 3/10
H01S 3/30