

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5028426号
(P5028426)

(45) 発行日 平成24年9月19日(2012.9.19)

(24) 登録日 平成24年6月29日(2012.6.29)

(51) Int. Cl.	F I		
HO 4 J 14/02 (2006.01)	HO 4 B	9/00	E
HO 4 J 14/00 (2006.01)	HO 4 B	9/00	G
HO 4 B 10/24 (2006.01)	HO 4 B	9/00	J
HO 4 B 10/17 (2006.01)	HO 1 S	3/06	B
HO 4 B 10/16 (2006.01)			

請求項の数 17 (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2008-553524 (P2008-553524)	(73) 特許権者	502101180
(86) (22) 出願日	平成19年2月2日(2007.2.2)		タイコ エレクトロニクス サブシー コ
(65) 公表番号	特表2009-526441 (P2009-526441A)		ミュニケーションズ エルエルシー
(43) 公表日	平成21年7月16日(2009.7.16)		アメリカ合衆国 07960 ニュージャ
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/061536		ージー州 モリスタウン マウント ケン
(87) 国際公開番号	W02007/092765		ブル アヴェニュー 412 スイート
(87) 国際公開日	平成19年8月16日(2007.8.16)		100エス
審査請求日	平成22年2月2日(2010.2.2)	(74) 代理人	100073184
(31) 優先権主張番号	11/347,022		弁理士 柳田 征史
(32) 優先日	平成18年2月3日(2006.2.3)	(74) 代理人	100090468
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 佐久間 剛
		(72) 発明者	アボット, スチュアート エム
			アメリカ合衆国 ニュージャージー州 0
			7746 マールボロ ロックウェル サ
			ークル 28

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅伝送システムにおける利得傾斜制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光伝送システムにおいて、

それぞれが複数の光信号チャネルにわたり高い公称利得値を有する複数の高利得光増幅器、

それぞれが前記複数の光信号チャネルにわたり、前記高い公称利得値より低い、低い公称利得値を有する複数の低利得光増幅器、及び

前記光増幅器を結合する複数の光ファイバパン、
を備え、

前記高利得光増幅器のそれぞれの出力点及び前記低利得光増幅器のそれぞれの出力点において所定の許容正味利得変動範囲内での前記複数の光信号チャネルにわたる正味利得の変動が可能になるように、前記高利得光増幅器及び前記低利得光増幅器が配置されること、及び、前記光ファイバパン及び前記光増幅器を介する一方向での正味利得ベクトルが、前記光ファイバパン及び前記光増幅器を介する他方向での正味利得ベクトルと同じであること、及び前記光ファイバパンのそれぞれの公称スパン損失値が、前記高い公称利得値より低く、前記低い公称利得値より高いことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】

前記光ファイバパンのそれぞれの前記公称スパン損失値が実質的に同じであ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】

10

20

前記光伝送システム的一端における前記正味利得がほぼゼロであ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】

前記所定の許容正味利得変動が約 10 dB より小さい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 5】

前記光ファイバスパンの内の少なくとも 1 つが、相互にスプライスされた複数本の光ファイバを含む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 6】

前記光増幅器の間隔が実質的に同じであることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。 10

【請求項 7】

前記光ファイバスパンを介して光信号を送信するための光送信器をさらに備え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 8】

前記光ファイバスパンを介して送信される光信号を受信するための光受信器をさらに備えることを特徴とする請求項 7 に記載の光伝送システム。

【請求項 9】

前記光増幅器がエルビウムドープファイバ増幅器であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。 20

【請求項 10】

光伝送システムにおいて、

相互に結合された複数の光伝送スパンであって、前記光伝送スパンのそれぞれが複数の光信号チャンネルにわたり公称スパン損失を有し、光ファイバケーブルスパン及び前記光ファイバケーブルスパンに結合された光中継器を有する、複数の光伝送スパン、を備え、

前記光伝送スパンのそれぞれにある前記光中継器が、前記光伝送スパンのそれぞれにおける前記光中継器の出力点において所定の許容正味利得変動範囲内での前記複数の光信号チャンネルにわたる正味利得の変動が可能になるように、前記公称スパン損失値より高い、前記複数の光信号チャンネルにわたる高い公称利得値または、前記公称スパン損失値より低い、前記複数の光信号チャンネルにわたる低い公称利得値を有し、前記光伝送スパンを介する一方向での正味利得ベクトルが、前記光中継器及び前記光伝送スパンを介する他方向での正味利得ベクトルと同じであることを特徴とする光伝送システム。 30

【請求項 11】

前記正味利得がゼロの上下に変動することを特徴とする請求項 10 に記載の光伝送システム。

【請求項 12】

前記所定の許容正味利得変動が約 10 dB より小さいことを特徴とする請求項 10 に記載の光伝送システム。

【請求項 13】 40

前記光ファイバケーブルスパンのそれぞれが、少なくとも第 1 及び第 2 の方向に光信号を伝送するための少なくとも第 1 及び第 2 の光ファイバスパンを有することを特徴とする請求項 10 に記載の光伝送システム。

【請求項 14】

前記光中継器のそれぞれが、前記少なくとも第 1 の方向に伝送される光信号を増幅するための第 1 の光増幅器及び前記少なくとも第 2 の方向に伝送される光信号を増幅するための第 2 の光増幅器を有することを特徴とする請求項 13 に記載の光伝送システム。

【請求項 15】

光伝送セグメントにおける利得傾斜を制御する方法において、前記方法が、

前記光伝送セグメント内の光伝送スパンについて複数の光信号チャンネルにわたる公称ス 50

パン損失値を決定する工程、

前記公称スパン損失値より高い、高い公称利得値をそれぞれが有する、複数の高利得光中継器を提供する工程、

前記公称スパン損失値より低い、低い公称利得値をそれぞれが有する、複数の低利得光中継器を提供する工程、及び

正味利得が前記光伝送セグメントにおいて所定の許容正味利得変動範囲内で変動するように、かつ前記光中継器及び前記光伝送スパンを介する一方向での正味利得ベクトルが、前記光中継器及び前記光伝送スパンを介する他方向での正味利得ベクトルと同じであるように、前記高利得光中継器及び前記低利得光中継器を前記光伝送セグメント内に配置する工程、

10

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 16】

前記光伝送セグメントの一端における前記正味利得が約ゼロであることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記所定の許容正味利得変動が約 10 dB より小さいことを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は全般的には遠距離光通信に関する。さらに詳しくは、本発明は、相異なる利得値を有する光増幅器の組合せを用いることによる、光増幅伝送システムにおける利得傾斜制御に関する。

【背景技術】

【0002】

長距離海中光伝送システムのような光伝送システムは、長距離にわたって光信号を伝送するために用いることができる。しかし、そのような長距離光伝送システムには、多くの要因、例えば、熱雑音による損失及び光ファイバの欠陥によっておこる散乱による損失によって生じ、また集成中の接続に起因する損失によっても生じる、信号劣化の問題がある。上記及びその他の要因は複合して、伝送システムを通して伝搬している光信号を減衰させる。

30

【0003】

この問題に対処するため、光信号は伝送線路に沿う所定の位置において光増幅される。光伝送システムは様々な長さの光ファイバケーブルに接続された中継器を備えることができる。中継器は伝送システム内でそれぞれの方向に伝送される光信号を増幅するための光増幅器を有することができる。一般に、中継器はある長さの光ファイバケーブルと合せて伝送スパンを形成し、複数の伝送スパンが光伝送セグメントを形成する。システムは、それぞれの中継器によって与えられる増幅（すなわち、中継器利得）が先行伝送スパンにおける信号損失（すなわち、スパン損失）を補償するように設計することができる。

40

【0004】

従来の光伝送セグメントの設計においては、一般に、利得、利得形状及び雑音寄与率に関して全てのスパンが同じ公称値を有するように設計される。例えば、全ての増幅器を同じにすることができ、全てのケーブル長が同じ公称損失を有する。中継器は、それぞれの伝送スパンに対し、与えられた波長範囲にわたってフラットな利得を与えるように設計することができる。したがって、従来の最適化伝送セグメントにおいて、それぞれの中継器の公称利得は、理想的には、約ゼロの正味利得を与えるように、それぞれのケーブル長の公称損失に等しい。

【0005】

従来の海中光伝送システムにおいては、コスト低減のため、計画される伝送セグメントに対する性能及び容量の要件に整合する、可能な最長中継器間隔をサポートするように中

50

継器が特注設計された。そのようなアプローチの結果の1つは、新しい伝送セグメントのそれぞれの結果としてその特定のセグメント設計に対して最適化された新しい利得コードが得られることによる、中継器利得コードの急増であった。最近、伝送システムは、容量、スケジュール及び性能要件に対する発注者の要求を満たすため、既存の技術資産を有効利用するように構築されている。しかし、在庫中継器を用いる場合に得られるセグメント構成は、中継器数においても、セグメント利得形状においても、最適にはなり得ないであろう。

【0006】

新しいシステムにおいても、中継器間隔を拡大して、在庫の中継器で構築したシステムにおいても、中継器利得とスパン損失を整合させようとする最善の努力にもかかわらず、中継器利得とスパン損失の間の不均衡が問題であった。システム集成中の、例えばスプライス損失の不確定性及び損失が公称設計損失と異なるケーブルを入れる必要によって、伝送システムに理想的なゼロの正味利得からかなり外れた正味利得が得られ得る。不均衡はシステム修理中に、例えばケーブル及びスプライスを追加することによって、付加される損失によっても生じ得る。

10

【0007】

中継器利得とスパン損失の間の不均衡は光信号品質に有害な影響を与え得る。特に、集成された伝送スパンのスパン損失が中継器利得を上回ると、負の利得傾斜が生じ得る。本明細書に用いられるように、利得傾斜は与えられた波長範囲に対する最高チャンネルパワーと最低チャンネルパワーの間の（例えばdBで表される）差である。負の利得傾斜は、通信システムの光信号対雑音比（OSNR）に悪影響を与えることができ、プリエンファシスにおけるダイナミックレンジを費消することができ、またラインモニタリングシステム（LMS）の動作を阻害することができる。

20

【0008】

この問題の一解決策には、利得傾斜のモニタリング及び、システムの利得傾斜を許容可能な限界内に維持する必要に応じて、カップリングまたはジョイントにおいて光路に回線整合減衰器（LBO）を付加することによるか、あるいは利得等化ジョイント（GEJ）に傾斜フィルタを付加することによる、利得傾斜の制御がある。LBOは測定された利得傾斜が正である場合に付加することができ、GEJは測定された利得傾斜が負の場合に付加することができる。GEJが付加される場合、GEJの挿入自体によって生じるスパン損失を補償するために中継器間のケーブルスパンを縮める必要があり得る。あるいは、GEJが公称損失スパンに挿入される場合、スパン損失に損失が加えられ、これは負の利得傾斜を誘起する。すなわち、伝送システムへのGEJの付加は、損失を高めてOSNRを低下させ、またコストを高める。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

したがって、限られた数の非最適中継器を用いる光増幅伝送システムにおける利得傾斜の制御方法が必要とされている。限られた数の中継器コードを用いる光通信システムの簡易な設計及び製作のための方法も必要とされている。

40

【課題を解決するための手段】

【0010】

要約すれば、本発明の実施形態は光システムにおける利得傾斜を制御するためのシステム及び方法を提供する。一実施形態にしたがえば、光伝送システムは複数の高利得光増幅器及び複数の低利得光増幅器を備える。高利得光増幅器はそれぞれ高い公称利得値を有し、低利得光増幅器はそれぞれ、高い公称利得値より低い、低い公称利得値を有する。複数の光ファイバスパンが光増幅器に結合され、高利得光増幅器及び低利得光増幅器が、光伝送システムの様々な点における正味利得の所定の許容正味利得変動範囲内での変動が可能になるように、配置される。

【0011】

50

別の実施形態にしたがえば、光伝送システムは相互に結合された複数の伝送スパンを備える。伝送スパンのそれぞれは公称スパン損失値を有し、光ファイバケーブルスパン及び光ファイバケーブルスパンに結合された光中継器を有する。伝送スパンのそれぞれの光中継器は、光伝送システムの様々な点における正味利得の所定の許容正味利得変動範囲内での変動を可能にするための、公称スパン損失より高い、高い公称利得値または、公称スパン損失値より低い、低い公称利得値を有する。

【0012】

また別の実施形態にしたがえば、光伝送セグメントにおける利得傾斜を制御する方法は、光伝送システム内の伝送スパンに対する公称スパン損失値を決定する工程並びに、それぞれが、公称スパン損失値より高い、高い公称利得値を有する複数の高利得中継器及び、それぞれが、公称スパン損失値より低い、低い公称利得値を有する複数の低利得中継器を提供する工程を含む。高利得中継器及び低利得中継器は、光伝送セグメントの様々な点における正味利得が所定の許容正味利得変動範囲内で変動するように、伝送セグメント内に配置される。

10

【0013】

別の実施形態にしたがえば、光伝送セグメントを構築する方法は、公称スパン損失及び、公称スパン損失に実質的に等しい、公称中継器利得に基づいて光伝送セグメント内の中継器間隔を決定する工程を含む。本方法は、中継器間隔に相当する複数の光ファイバケーブルスパン、それぞれが高い公称利得値を有する複数の高利得中継器及びそれぞれが、高い公称利得値より低い、低い公称利得値を有する複数の低利得中継器を提供する工程も含む。中継器が光ファイバケーブルスパンに接続されて、伝送スパンが形成される。高利得中継器及び低利得中継器は、光伝送セグメントの様々な点における正味利得が所定の許容正味利得変動範囲内で変動するように、配置される。

20

【0014】

また別の実施形態にしたがえば、光伝送システムにおける利得傾斜を制御する方法は、複数の光ファイバケーブルスパン及び光ファイバケーブルスパンに結合された複数の中継器を備える光伝送セグメントを提供する工程を含む。光伝送セグメントにおける利得傾斜がモニタされる。伝送セグメント内の中継器位置において負の利得傾斜が累積されていけば、その中継器位置にある中継器が高利得中継器に交換され、高利得中継器は交換される中継器の公称利得値より高い公称利得値を有する。

30

【発明の効果】

【0015】

したがって、広い範囲の容量、セグメント長及びファイバタイプの要件を、中継器を付加せずに、またシステム性能を本質的に低下させずに、サポートするために比較的少数の中継器コード（すなわち中継器の公称利得値）のセットを用いることができる。これにより、光通信システムの設計及び製作プロセスが簡易化される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

詳細な説明を以下に参照するが、詳細な説明は添付図面とともに読むべきであり、これらの図面においては、同様の参照数字が同様の要素を表している。

40

【0017】

図1を参照すれば、本発明の一実施形態にしたがう光伝送システム100がかなり詳細に示されている。一般に、光伝送システムは、システム内の利得傾斜を制御するために配置された、相異なる利得値を有する光増幅器または中継器の組合せを備えることができる。本明細書に説明される概念は、集成中の新しい伝送システムにおいて、または既存の伝送システムの修理時に、利得傾斜を制御するために用いることができる。本明細書に説明される伝送システム100及び概念は、長距離波長分割多重(WDM)システム及び高密度波長分割多重(DWDM)システムのような、当業者には既知の光通信システムに実施することができる。

【0018】

50

光通信システム100の一実施形態は、中継器106-1~106-nに結合された光ファイバケーブルスパン104-1~104-nをそれぞれが有する、一連の伝送スパン102-1~102-nを備えることができる。複数の伝送スパン102-1~102-nは結合されて1つの伝送セグメント110を形成することができる。ケーブルスパン104-1~104-nのそれぞれは光信号を伝送するための1本ないしさらに多くの光ファイバを有することができ、中継器106-1~106-nのそれぞれは伝送される光信号を増幅するための1つないしさらに多くの光増幅器を有することができる。光伝送システム100が双方向伝送を提供する一実施形態において、ケーブルスパン104-1~104-nのそれぞれはそれぞれの方向に光信号を伝送するための少なくとも2つの光ファイバスパンを有し、中継器106-1~106-nのそれぞれはそれぞれのファイバスパン上をそれぞれの方向に伝送される信号を増幅するために少なくとも2つの増幅器を有する。光伝送システム100は光信号を送信/受信するための送信/受信端局120,122も有することができる。

10

【0019】

例示的实施形態は双方向伝送システムに関して説明されるが、当業者であれば、一方に光信号を伝送及び増幅するための光ファイバスパンまたはケーブルスパン及び光増幅器または光中継器を有する、単方向伝送システムにも本明細書に説明される概念が適用され得ることを認めるであろう。広汎なネットワークコンポーネント及び構成に本発明にしたがうシステム及び方法を組み込み得ることは当然である。本明細書に説明される例示的实施形態は説明のために提供されるに過ぎず、限定のためではない。

20

【0020】

伝送セグメント110は、一様な中継器間隔(すなわち一様な長さのケーブルスパン104-1~104-n)をもって、また相異なる利得値を有する様々なタイプの中継器106-1~106-nをミックスして、設計することができる。伝送スパン102-1~102-nのそれぞれは、例えば、ケーブルに用いられる光ファイバのタイプ、ケーブルスパンの長さ及びスプライスに基づく、公称スパン損失値(L)を有し得る。中継器106-1~106-nのそれぞれは比較的高い公称利得値(G_H)または、高い公称利得値より低い、比較的低い公称利得値(G_L)を有し得る。高い公称利得値(G_H)をもつ中継器は高利得中継器と称され、低い公称利得値(G_L)をもつ中継器は低利得中継器と称される。本明細書に用いられるように、「公称」は、実際の値とは異なり得る、設計上のまたは理論上の値を意味する。伝送スパン及び中継器はそれぞれ公称損失及び公称利得値をもって設計することができるが、当業者には理解されるであろうように、実際の損失値及び利得値は公称値と異なり得る。

30

【0021】

公称スパン損失値(L)は一般に、与えられた伝送セグメント110内の伝送スパン102-1~102-nのそれぞれについて同じとすることができる。一実施形態において、高利得中継器の高い公称利得値(G_H)は公称スパン損失値(L)より高くすることができ、低利得中継器の低い公称利得値(G_L)は公称スパン損失値(L)より低くすることができる。別の実施形態において高利得中継器の高い公称利得値(G_H)は公称スパン損失値(L)より高くすることができ、低利得中継器の低い公称利得値(G_L)は公称スパン損失値(L)とほぼ同じとすることができる。

40

【0022】

伝送セグメント110には、いくつかの伝送スパン102-1~102-nにわたって累積された伝送セグメント110の損失がその伝送スパン102-1~102-nの中継器106-1~106-nの累積公称利得にほぼ一致するように選ばれて配置された高利得中継器及び低利得中継器のミックスを有することができる。伝送セグメント110において、光路はセグメント110の入力点に始まり、セグメント110の出力点で終る。例えば、矢印130の方向に進行する光信号に対し、光路はセグメント110の第1の末端132における入力点に始まり、セグメントの第2の末端134における出力点で終る。逆向きの矢印136の方向に進行する光信号に対し、光路はセグメント110の第2の末端1

50

3 4 における入力点に始まり、セグメント 1 1 0 の第 1 の末端 1 3 2 における出力点で終る。

【 0 0 2 3 】

光路の正味利得 (G_N) は、光路すなわちセグメント 1 1 0 に沿うそれぞれの点において定めることができる。光路の与えられた点において、正味利得 (G_N) は、光路の入力点と与えられた点の間のケーブル化ファイバの損失 (L) 及び中継器 1 0 6 - 1 ~ 1 0 6 - n の公称利得 (G_H, G_L) の総和である。中継器 1 0 6 - 1 ~ 1 0 6 - n の出力点における正味利得 (G_N) の値を用いれば、利得ベクトル $G_N = [G_{N1}, G_{N2}, G_{N3}, \dots, G_{Nn}]$ を、

【 数 1 】

$$G_{Ni} = \sum_{k=1}^i G_k + \sum_{k=1}^i L_k$$

10

【 0 0 2 4 】

と定義することができる。ここで、 G_k は中継器 k の公称利得であり、 L_k はケーブルスパン k の損失である。光路に沿う点において正味利得 G_N がゼロの上下に変動する大きさは利得変動と称される。

【 0 0 2 5 】

公称利得が G_H の中継器及び G_L の中継器は、中継器 1 0 6 - 1 ~ 1 0 6 - n のそれぞれの出力点における正味利得 G_{Ni} に正の値に向かうバイアスをかけて、利得ベクトル G_N が所定の許容 (すなわちゼロに近い) 利得変動範囲内にとどまるように、伝送セグメント 1 1 0 に配置することができる。この設計方針は図 1 に示される伝送セグメント 1 1 0 を用いて示すことができる。一配置にしたがえば、初めの 3 台の中継器 1 0 6 - 1, 1 0 6 - 2, 1 0 6 - 3 は高利得値 (G_H) をもつことができ、第 4 台目の中継器 1 0 6 - 4 は低利得値 (G_L) をもつことができ、第 5 台目の中継器 1 0 6 - 5 は高利得値 (G_H) をもつことができる。この例示的構成においては、中継器が最適に配置されていれば、初めの 3 台の中継器 1 0 6 - 1, 1 0 6 - 2, 1 0 6 - 3 の出力点における正味利得 (G_{N1}, G_{N2}, G_{N3}) が正になり、第 4 台目の中継器 1 0 6 - 4 の出力点における正味利得 (G_{N4}) はゼロまたは負になるであろう。別の配置にしたがえば、第 4 台目の中継器 1 0 6 - 4 は高利得値 (G_H) をもつことができ、第 5 台目の中継器 1 0 6 - 5 が低利得値 (G_L) をもつことができる。この配置において、5 台の中継器 1 0 6 - 1 ~ 1 0 6 - 5 の出力点における正味利得 ($G_{N1}, G_{N2}, G_{N3}, G_{N4}, G_{N5}$) が全て正になれば、当業者は、正味利得をよりゼロの近くに維持するためには、低利得中継器をセグメント 1 1 0 内で早めに用いるべきであったことを認めるであろう。

20

30

【 0 0 2 6 】

利得傾斜を制御するため及び光路を最適化するためには高利得値を有する中継器及び低利得値を有する中継器をどのように配置できるかをさらに示すため、3つの相異なる例示的セグメント構成を考察する。これらの例示的構成において、伝送セグメント 1 1 0 の長さは約 3 1 5 0 km であり、公称スパン長は約 1 0 5 km であり、公称スパン損失は約 2 2 dB であり、中継器数は 3 0 であって、中継器利得値 (またはコード) は約 1 8 dB (G_L) 及び 2 3 dB (G_H) である。表 1 は事例 1 ~ 3 として指定される 3 つの相異なるセグメント構成の正味利得ベクトルを示す。

40

【表 1】

表 1

中継器 位置	事例 1		事例 2		事例 3	
	公称 中継器 利得	正味利得	公称 中継器 利得	正味利得	公称 中継器 利得	正味利得
1	23	1	23	1	23	1
2	23	2	23	2	23	2
3	23	3	18	-2	23	3
4	23	4	23	-1	18	-1
5	18	0	23	0	23	0
6	23	1	23	1	23	1
7	23	2	23	2	23	2
8	23	3	18	-2	23	3
9	23	4	23	-1	23	4
10	18	0	23	0	18	0
11	23	1	23	1	23	1
12	23	2	23	2	23	2
13	23	3	18	-2	23	3
14	23	4	23	-1	23	4
15	18	0	23	0	23	5
16	23	1	23	1	18	1
17	23	2	23	2	23	2
18	23	3	18	-2	23	3
19	23	4	23	-1	23	4
20	18	0	23	0	23	5
21	23	1	23	1	23	6
22	23	2	23	2	18	2
23	23	3	18	-2	23	3
24	23	4	23	-1	23	4
25	18	0	23	0	23	5
26	23	1	23	1	23	6
27	23	2	23	2	23	7
28	23	3	18	-2	18	3
29	23	4	23	-1	23	4
30	18	0	23	0	23	5

【 0 0 2 7 】

事例 1 及び事例 2 において、中継器は 5 台目毎に低利得値（すなわち 18 dB）を有する。事例 2 においては第 1 の低利得中継器が位置 3 にあるが、事例 1 においては第 1 の低利得中継器が位置 5 にある。事例 2 は、正味利得のゼロからの最大変動（すなわち利得変動）がより小さく、セグメントの両端からの正味利得ベクトルが同じであるから、より良く最適化されている。事例 1 において、正味利得は位置 1 にある中継器から位置 30 にある中継器への方向において常にゼロまたは正であるが、逆方向では、位置 30 における第

10

20

30

40

50

1の中継器の利得がスパン損失より4 dB低いから、正味利得は常にゼロまたは負である。

【0028】

5台の高利得中継器に1台の低利得中継器が続く、事例3は最適とはいえない構成を示す。事例3の最適とはいえない構成において、正味利得は常に正であり、事例2の2 dBの最大正味利得に比較して、高い値(すなわち7 dB)になる。すなわち、事例3の利得変動は事例2の利得変動より大きい。事例2における2 dBの利得変動の結果、28 nmにおいて1 dBの正の利得傾斜が生じる。

【0029】

いくつかの例示的实施形態がここで説明されるが、当業者であれば、異なるケーブル長、異なる中継器数及び/または異なる中継器配置をもつ別の実施形態が可能であり得ることを認めるであろう。当業者であれば、その他の公称損失値及び公称利得値並びに中継器利得と光ファイバスパン損失の組合せが可能であり得ることも認めるであろう。上述したセグメントでは、2つの公称利得値をもつ、異なる2つのタイプの中継器が用いられるが、別の利得値をもつ別のタイプの中継器(例えば中利得中継器)をセグメントに用いることもできる。

【0030】

比較的小数の中継器タイプ(例えば高利得中継器及び低利得中継器)のセットで異なる長さのほぼ最適な伝送セグメントを構成することができる。高利得中継器及び低利得中継器の使用により、伝送システムのライフサイクル中に多くの利点が可能になる。システムの集成中に、ある位置における中継器タイプを、正味利得をゼロに向けて戻す中継器タイプに変更することによって利得傾斜を制御することができる。例えば、負の利得傾斜が累積されていれば、低利得中継器を高利得中継器に交換することができる。高利得中継器及び低利得中継器の在庫により、GEJを付加する必要なしに、また光路に余分な損失を付加する必要なしに、したがってOSNRを維持しながら、利得傾斜を制御することができる。

【0031】

高利得中継器及び低利得中継器の使用により、予備中継器及びシステム修理の観点からの利点も得られる。公称スパン損失よりも高い利得を有する高利得中継器が予備中継器として用いられれば、修理作業(例えばケーブル及びスプライスの追加)によってシステムに付加される損失のいくらかまたは全てを高利得で補償することができる。これにより、許容される利得形状及びOSNRを維持するための、修理されるシステムにおける追加の中継器の必要を減じるかまたは無くすことができる。利得傾斜を制御するために高利得中継器及び低利得中継器を用いることで、在庫に必要な中継器タイプの数を最小限に抑え、よって中継器の製作及びサポートを簡易化することもできる。さらに、利得傾斜を制御するための異なる中継器タイプの使用により、多数の供給者からの中継器を用いるシステム構築が容易になる。

【0032】

光伝送セグメントの設計及び構築の、本発明にしたがう一方法によれば、中継器間隔(または公称スパン長)はそのセグメントについて所望のシステム伝送性能(例えば、OSNR、利得形状、光路平均パワー及びQ値)が達成されるように決定される。中継器間隔は、それぞれの中継器がスパン損失に一致する公称利得を有するシステムにおける中継器間隔を考察することによって決定することができる。以下でさらに詳細に説明されるように、整合(すなわち、公称利得=スパン損失)中継器を用いて中継器間隔または公称スパン長を決定するためにコンピュータシミュレーションを行うことができる。当業者であれば、光伝送セグメントに対する中継器間隔または公称スパン長を決定するために多くの異なる方法を用い得ることを認めるであろう。公称スパン損失は、公称スパン長及び、スパン内のファイバ及びスプライスのタイプのような、その他の要因に基づいて決定することができる。

【0033】

次いで中継器を、選ばれたスパン長を有するケーブルに結合し、セグメントにおける正味利得が、上述したように、所定の許容正味利得変動範囲内でゼロ正味利得の上下に変動するように、配置することができる。中継器は、高利得中継器及び低利得中継器から選ぶことができ、いくつかのスパンにわたるケーブルの累積損失がそれらのスパン内の中継器の累積公称利得にほぼ一致するように、伝送セグメントのそれぞれの位置に割り当てることができる。高利得中継器及び低利得中継器は、選ばれた中継器間隔またはスパン長に対応する公称スパン長に基づいて、設計及び/または選択することができる。例えば、高利得中継器は公称スパン損失値より高い公称利得値を有することができ、低利得中継器は公称スパン損失値より低い公称利得値を有することができる。

【 0 0 3 4 】

あるいは、中継器間隔は、構築中の光伝送セグメントに用いるために利用できる中継器（例えば在庫中継器）の公称利得値に基づいて決定することができる。例えば、中継器間隔または公称スパン長は、公称スパン損失が、利用できる中継器のいくつかの利得よりは高く、別の利用できる中継器の利得よりは低くなるように、選ぶことができる。

【 0 0 3 5 】

少しの中継器コード（すなわち中継器の公称利得値）だけを用いて、広い範囲の長さの伝送セグメントを構築できる。一方法実施形態では、特定のセグメント長、容量及びファイバタイプに対して最適化された1つの中継器コードを用いるシステムにおける中継器と数が等しい、高利得中継器及び低利得中継器の組合せが用いられる。高利得中継器及び低利得中継器は、システム性能に重大な影響は与えないであろう許容正味利得変動が可能になるように、正味利得（すなわち、[中継器利得] - [スパン損失]）の累積が制御されるように組み合わせて配置することができる。以下で論じられる例示的システム及びシミュレーションに示されるように、約10 dBより小さい正味利得変動が重大な性能低下を生じさせることはない。

【 0 0 3 6 】

光伝送システムに対する例示的設計に関連して以下で説明されるように、中継器間隔（またはスパン長）を決定するため及び様々な中継器配置を評価するために、コンピュータシミュレーションを用いることができる。シミュレーションは、当業者には既知の、既存の光通信システムシミュレータを用いて実施することができる。

【 0 0 3 7 】

図2～4は、分散勾配制御ファイバ（DSMF）、特に、OFSから入手できるAllwave（登録商標）単一モード（SM）ファイバ及びTrueWave（登録商標）逆分散ファイバ（IDF）を含む、伝送スパンを用いる伝送システムの一例についてのシミュレーション結果を示す。「Allwave」SMファイバは、約0.184 dB/kmの減衰、約-0.00017 dB/km/nmの減衰勾配、1550 nmにおいて約16.8 ps/nm/kmの分散、及び約0.057 ps/nm²の分散勾配を有する。「TrueWave」IDFは、約0.234 dB/kmの減衰値、約-0.00049 dB/km/nmの減衰勾配、1550 nmにおいて約-44.0 ps/nm/kmの分散、及び約0.120 ps/nm²の分散勾配を有する。

【 0 0 3 8 】

DSMF伝送スパンのファイバミックスはほぼ70%の「Allwave」ファイバ及び30%のIDFとすることができ、この場合（スプライス損失を除く）平均ファイバ減衰は約0.199 dB/kmになり、平均分散は約-1.5 ps/nm/kmになる。「Allwave」ファイバだけを含む補償スパンを10伝送スパン毎に入れることができ、補償スパンは無補正の中継器利得形状から生じる累積利得形状を補正するための利得形状補正フィルタを有することができる。本例において積算スパン損失には、カバー-ケーブルスプライスに対する0.6 dB及びスパン内「Allwave」-IDFスプライスに対する0.3 dB及び、30 km毎に1つの計画外スプライスに対する0.4 dBを含めることができ、それぞれのスプライスは0.1 dBの損失を有する。本例において想定されているファイバ特性によれば、（分散マップの1期間において11スパンにわたって平均した）平均スパン損失は

10

20

30

40

50

、120 kmの伝送スパンに対して約25.1 dBであり、スパン長を5 km短くする毎に1 dB低減される。

【0039】

この例示的シミュレーションにおいては、利得平坦化フィルタをもたない、狭帯域中継器が想定され、利用できる中継器帯域幅は約18 nmとすることができる。15.5 dBの最大中継器パワーが想定され、中継器は約4.5 dBの雑音指数を有することができる。例示的シミュレーション中の、システム負荷は33.33 GHzのチャンネル間隔で64チャンネルであり、伝送に対して11.5ギガビット/秒のラインレートが想定されている。例示的シミュレーションでは、OOK（オン/オフキー）変調及び（変調深さが100%の）完全AM変調が用いられ、位相変調は用いられない。例示的シミュレーションでは、例示的セグメントの総合性能を判定するため、伝送帯域の両端及び中心における、15チャンネルが、5チャンネルのクラスターで、用いられる。

10

【0040】

本例示的システム及びシミュレーションに基づき、様々な長さのデジタルラインセグメント（DLS）にわたって64チャンネルをサポートするための最少中継器数を与える間隔になるような、最適中継器間隔を決定した。図2に示されるように、本例示的システムにおける最適中継器間隔は、3000 km、6000 km及び9000 kmのDLS長に対してそれぞれ、120 km、100 km及び90 kmである。最適中継器間隔の決定では、与えられたDLSに対し、中継器間隔及び中継器利得はシステム全体にわたって同じであると仮定されている。図2は、16、32、64、96及び128チャンネルをサポートするための中継器間隔もDLS長の関数として示している。これらのシミュレーション結果は、上記の例示的ファイバ特性をもつ9000 kmより長くはないDLSにわたって64チャンネルをサポートするために、90 kmないしさらに長い中継器間隔を用い得ることを示す。120 kmより短い中継器間隔を維持すれば、マルチパス減損を許容レベルに保つことができる。

20

【0041】

本例示的シミュレーションによれば、100 kmスパンを用いる6000 km DLSに対して、中継器の配置が決定され、評価される。100 kmスパンを用いる6000 km DLSが、中継器利得をスパン損失に一致させる従来の手法を用いて構築される場合、それぞれが21.2 dBの利得を有する60台の整合中継器を用いることができ、これは100 kmファイバスパンに対応する。本発明にしたがえば、そのような6000 kmシステムにおける整合中継器のそれぞれを、約19.2 dBの低い公称利得値（ G_L ）を有する低利得中継器または約25.1 dBの高い公称利得値（ G_H ）を有する高利得中継器で置き換えることができる。本例において、19.2 dBの低い公称利得は90 kmスパンにおけるスパン損失に概ね相当し、25.1 dBの高い公称利得は120 kmスパンにおけるスパン損失に概ね相当する。

30

【0042】

図3は、本発明にしたがう、2つの例示的な6000 km DLS構成についての正味利得変動を示す。正味利得変動が10 dBの構成においては、初めの5台の中継器が低利得（すなわち19.2 dBの）中継器で置き換えられて、5台目の中継器の後で約-10 dBに近い正味利得が得られ、次の5台の中継器が高利得（すなわち25.1 dBの）中継器で置き換えられて、5台目の中継器の後で約10 dBの正味利得が得られた。これを、約10 dBの正味利得変動を維持しながら、15スパンについて継続することができる。正味利得変動が20 dBの構成においては、約20 dBの正味利得変動を維持するように、低利得中継器及び高利得中継器が配置される。

40

【0043】

図4は、シミュレーションされるチャンネルの、中継器連鎖における雑音累積に基づく（帯域内の全チャンネルに対して同じである）線形Q並びに最小Q及び平均Qを含む、正味利得変動の関数としてのシステム性能Qを示す。このグラフは、例示的システムが、10 dBの正味利得変動に対して有意な利得低下はなく、20 dBの正味利得変動に対しては0

50

. 2 dBの低下だけで、比較的大きな累積正味利得を許容できることを示す。

【0044】

図5～7は、非勾配制御タイプのファイバ、特に、OFSから入手できるTrueWave-XL（登録商標）大モードファイバ（LMF）及びRX（登録商標）非分散シフトファイバ（NDSF）を含む伝送スパンを用いる、伝送システムの別の例についてのシミュレーション結果を示す。本例においては、伝送スパンは純粹にLMFであって、周期的にNDSFで補償される。LMFは、約0.214 dB/kmの減衰、約-0.00022 dB/km/nmの減衰勾配、1550 nmにおいて約-2.8 ps/nm/kmの分散、及び約0.111 ps/nm²の減衰勾配を有する。NDSFは、約0.196 dB/kmの減衰、約-0.00017 dB/km/nmの減衰勾配、1550 nmにおいて16.8 ps/nm/kmの分散、及び約0.057 ps/nm²の減衰勾配を有する。シミュレーションに対するその他の仮定はDSMFシステム構成について上述した仮定と同じである。

10

【0045】

図5はDLS長の関数としての最適中継器間隔を示す。シミュレーション結果は、最適中継器間隔が、1500 km, 2000 km, 4000 km及び6000 kmのDLS長に対してそれぞれ、120 km, 115 km, 100 km及び75 kmであることを示す。黒線は、それより先では非線形減損によってシステム性能が極めて悪化する、非線形限界を示す。

【0046】

本例示的シミュレーションによれば、4000 km DLSに対して、中継器の配置が決定され、評価される。4000 km DLSが整合中継器を用いて構築される場合、64チャンネルをサポートするには22.3 dBスパンに相当する100 kmの中継器間隔が最適である。本発明にしたがえば、約26.9 dBの公称利得値をもつ高利得中継器及び約16.9 dBの公称利得値をもつ低利得中継器を、中継器間隔が100 kmの4000 km DLSに用いることができる。本例において、26.9 dBの高い公称利得は120 km LMF-NDSFスパンの公称スパン損失に相当し、16.9 dBの低い公称利得は75 km LMF-NDSFスパンの公称スパン損失に相当する。

20

【0047】

図6は、5 dB, 10 dB及び20 dBの正味利得変動を与える3つの例示的4000 km DLS構成についての正味利得マップを示す。図7は、この例示的LMF-NDSFシステムについて、シミュレートされたシステム性能を正味利得変動の関数として示す。上で論じた例示的DSMFシステムと同様に、シミュレーション結果は、最大正味利得変動が10 dBより低く維持される場合には特に、1つの最適利得値を有する単一中継器を置き換えるために相異なる2つの利得値（またはコード）を有する2つの中継器を用いても、有意なQ低下は招かないことを示す。

30

【0048】

上述した例示的实施形態では、光ファイバスパン、高利得中継器及び低利得中継器の實質的に周期的な配置が示されるが、当業者であれば、ケーブル集成体における高利得中継器配置及び低利得中継器配置が個々の光ファイバケーブルスパンの要求される特性によって決定され得ることを認めるであろう。当業者であれば、特性が異なる別のタイプのファイバを用い得ることを認めるであろう。上述した例は特定の利得変動におけるシステム性能への些細でしかない影響を示すが、当業者であれば、その他の利得変動も可能であり得ること並びにシステムのパラメータ及び特性に依存し得ることを認めるであろう。

40

【0049】

別の実施形態にしたがえば、伝送スパンに対する標準中継器、高利得中継器及び、回線整合減衰器（LBO）のような、付加損失を用いて、利得傾斜を制御することができる。この実施形態にしたがえば、標準（または公称）中継器を、公称中継器利得を公称スパン損失に一致させる現行の実施態様を用いるシステムのために設計することができる。同じ汎用コンポーネントを用いるが、高利得をもつ、例えば、エルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）が用いられる場合にはより長いエルビウムドープファイバ（EDF）をも

50

つ、高利得中継器を設計することができる。

【0050】

利得傾斜は、標準中継器、高利得中継器及びLBOの適切な配置を決定するために測定することができる。システム集成中に過剰な負の利得傾斜が累積された場合、標準中継器または公称中継器を高利得中継器に交換することができる。システム集成中に過剰な正の利得傾斜が累積された場合、例えば、ケーブル/中継器結合部に、またはケーブル-ケーブルスプライスボックスに、1つないしさらに多くのLBOを付加することによって、損失を1つないしさらに多くのスパンに付加することができる。高利得中継器及びLBOを用いることにより、伝送スパンの短縮を必要とせず、またGEJの使用を必要とせず、利得傾斜を制御することができる。高利得中継器は予備中継器として用いることもでき、これにより、大水深での修理時に水中装置に追加の中継器が必要となる蓋然性を低めることができる。

10

【0051】

本発明の上述の実施形態が、可能な実施態様の例に過ぎず、本発明の原理の明解な理解のために述べられているに過ぎないことは強調されるべきである。本発明の精神及び原理を実質的に逸脱することなく本発明の上述した(1つないしさらに多くの)実施形態に多くの変形及び改変がなされ得る。そのような改変及び変形は全て、本開示及び本発明の範囲内に含まれ、添付される特許請求の範囲によって保護されると目される。

【図面の簡単な説明】

【0052】

【図1】本発明の一実施形態にしたがう、利得傾斜が制御される光伝送システムの略図である

20

【図2】分散勾配制御ファイバ(DSMF)を用いる光伝送システムの一実施形態についての、例示的コンピュータシミュレーションに基づく、最適中継器間隔対伝送セグメント長を示すグラフである

【図3】分散勾配制御ファイバ(DSMF)を用いる光伝送システムにおける高利得中継器及び低利得中継器の様々な配置についての正味利得対中継器位置を示すグラフである

【図4】分散勾配制御ファイバ(DSMF)を用いる光伝送システムの例示的实施形態の性能への様々な正味利得変動の効果を示すグラフである

【図5】勾配が制御されていないタイプのファイバを用いる光伝送システムの一実施形態に対する、例示的コンピュータシミュレーションに基づく最適中継器間隔対セグメント長を示すグラフである

30

【図6】勾配が制御されていないタイプのファイバを用いる光伝送システムにおける高利得中継器及び低利得中継器の様々な配置についての正味利得対中継器位置を示すグラフである

【図7】勾配が制御されていないタイプのファイバを用いる光伝送システムの例示的实施形態の性能への様々な正味利得変動の効果を示すグラフである

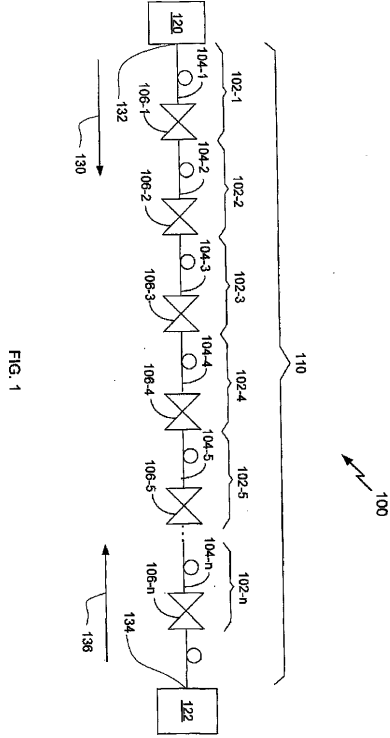
【符号の説明】

【0053】

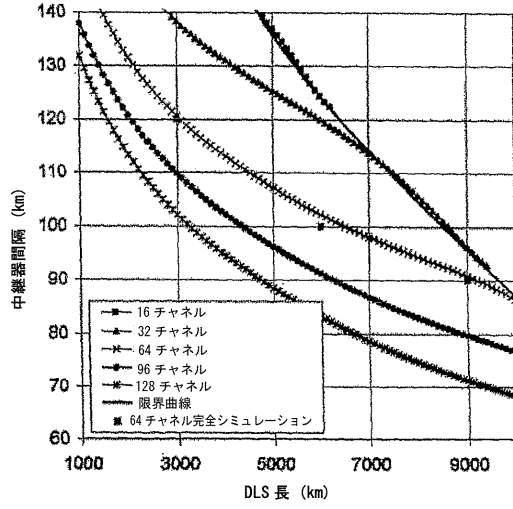
- 100 光伝送システム
- 102 伝送スパン
- 104 光ファイバケーブルスパン
- 106 中継器
- 110 伝送セグメント
- 120, 122 送信/受信端局

40

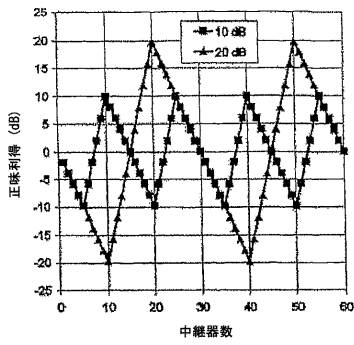
【図1】



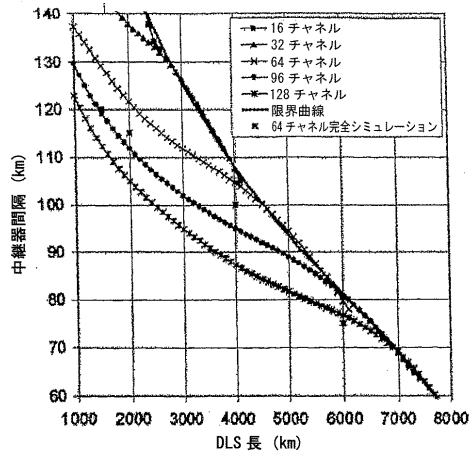
【図2】



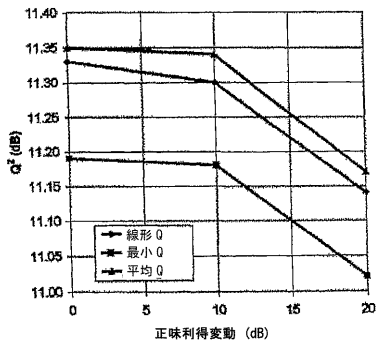
【図3】



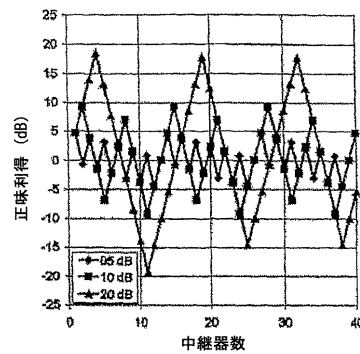
【図5】



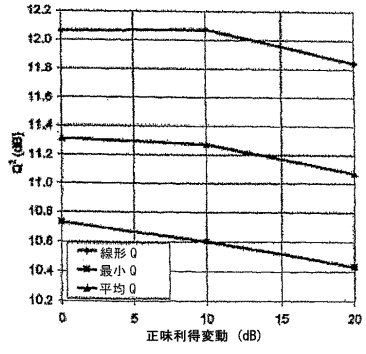
【図4】



【図6】



【 図 7 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 S 3/067 (2006.01)

審査官 工藤 一光

(56)参考文献 米国特許出願公開第2004/0130778(US,A1)
特開平11-122192(JP,A)
特開平09-331297(JP,A)
特開2004-246359(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
H04B10/00-10/28
H04J14/00-14/08
H01S3/067