

(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2004-246359
(P2004-246359A)

(43) 公開日 平成16年9月2日(2004.9.2)

(51) Int.Cl.⁷
G02B 6/46
G02B 6/16

F I
G O 2 B 6/00 3 5 1
G O 2 B 6/16

テーマコード (参考)
2 H O 3 8
2 H O 5 0

審査請求 未請求 請求項の数 29 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2004-33114 (P2004-33114)	(71) 出願人	502101180
(22) 出願日	平成16年2月10日 (2004.2.10)		タイコ テレコミュニケーションズ (ユ
(31) 優先権主張番号	10/364230		ーエス) インコーポレーテッド
(32) 優先日	平成15年2月11日 (2003.2.11)		アメリカ合衆国 07960 ニュージャ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ーシー, モリスタウン, コロンビア ロー
			ド 60
		(74) 代理人	100064447
			弁理士 岡部 正夫
		(74) 代理人	100085176
			弁理士 加藤 伸晃
		(74) 代理人	100106703
			弁理士 産形 和央
		(74) 代理人	100096943
			弁理士 臼井 伸一
		最終頁に続く	

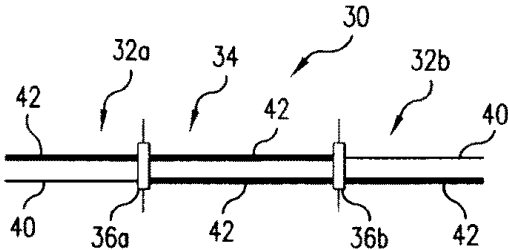
(54) 【発明の名称】 勾配整合のとれたケーブル・システムを修理する方法およびそれを使用するための交換用ケーブル部分

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 システムの正味の色分散を名目上不変に保つ、勾配整合型ケーブル・システムの修理方法を提供すること。

【解決手段】 勾配整合型ケーブル・システムで故障を生じたケーブルまたはリピータのいずれかである部分を除去する工程、負の分散のファイバ群と正の分散のファイバ群を有する2本のN - Pケーブル長さおよび正の分散のファイバ群を有するPケーブル長さから交換用ケーブル部分を作製する工程を含む。N - Pケーブル長さがPケーブル長さの両側に結合され、その交換ケーブル部分が、故障を生じたケーブルが除去された場所で勾配整合型ケーブルに接続される。ケーブルの修理は正規のケーブル区画または補償区画で為される可能性があり、そのケースでは交換用ケーブル部分は伝送スペクトルの利得形状を名目上不変に保つためにLBOを備えた修理リピータを含むこともやはり可能であり、もしも修理時に除去された場合の利得等化器の交換を可能にする。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

負の分散率を有する少なくとも 1 本の N 型ファイバと正の分散率を有する少なくとも 1 本の P 型ファイバを含む勾配整合型ケーブル・システムを修理する方法であって、
前記勾配整合型ケーブル・システムの故障を生じた部分を除去する工程、
少なくとも 1 本の N 型ファイバと少なくとも 1 本の P 型ファイバを含む予備の N - P ケーブルから第 1 と第 2 の N - P ケーブル長さを供給する工程、
少なくとも第 1 と第 2 の P 型ファイバを含む予備の P ケーブルから少なくとも 1 本の全数 - P ケーブル長さを供給する工程、
前記 N - P ケーブル長さと前記 P ケーブル長さから交換用ケーブル部分を作製し、そこ
では前記 N - P ケーブル長さが前記 P ケーブル長さの両側に接続される工程、および
前記勾配整合型ケーブル・システムの端部間であって故障を生じた部分が除去された場
所に前記交換用ケーブル部分を接続する工程を含む方法。

10

【請求項 2】

前記故障を生じた部分が故障を生じたケーブル部分を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記故障を生じた部分が故障を生じたリピータを含み、交換用リピータを前記交換用ケーブル部分の一方の端部に接続する工程をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記 N - P ケーブル長さが、前記ファイバをスプライスすることによって前記 P ケーブル長さの両側に接続される、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 5】

前記第 1 と第 2 の N - P ケーブル長さおよび前記 P ケーブル長さを供給する工程が前記予備の N - P ケーブルと前記 P ケーブルの長さを計算する工程を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記予備の N - P ケーブルと前記予備の P ケーブルの前記長さが前記 N 型ファイバと前記 P 型ファイバの分散率に基づいて計算される、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記 N - P ケーブル長さが半数の N 型ファイバ群と半数の P 型ファイバ群を含み、かつ
前記 P ケーブル長さが全数 - P 型のファイバ群を含む、請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 8】

前記交換用ケーブル部分を作製する工程が、
前記第 1 の N - P ケーブル長さ内の前記 N 型ファイバ群を前記 P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群の第 1 の半数にスプライスする工程、
前記第 2 の N - P ケーブル長さ内の前記 N 型ファイバ群を前記 P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群の前記第 1 の半数にスプライスする工程、
前記第 1 の N - P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群を前記 P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群の第 2 の半数にスプライスする工程、および
前記第 2 の N - P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群を前記 P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群の第 2 の半数にスプライスする工程を含む、請求項 7 に記載の方法。

40

【請求項 9】

前記 N - P ケーブル長さが前記 P ケーブル長さに接続され、かつスプライス・ボックスを使用してスプライスが為される、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記交換用ケーブル部分の一方の端部に修理リピータを接続する工程をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記修理リピータの両側にスプライス・ボックスを接続する工程をさらに含む、請求項 10 に記載の方法。

50

【請求項 1 2】

前記スプライス・ボックスが損失の付け足しを含む、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

損失付け足しの値を計算する工程をさらに含む、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記損失付け足し値が、システムの伝送スペクトルの端から端までの利得形状が修理によって変化することが名目上ないように計算される、請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記交換用ケーブル部分に利得等化器を接続する工程をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 1 6】

前記少なくとも 1 本の全数 - P ケーブル長さが 2 つの全数 - P 部分を有し、前記利得等化器が前記 2 つの全数 - P 部分の間に接続される、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記交換用ケーブル部分の他方の端部に修理リピータを接続する工程をさらに含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 1 8】

勾配整合型ケーブル・システムに使用するための交換用ケーブル部分であって、
半数の N 型ファイバ群と半数の P 型ファイバ群を含んでなり、前記 N 型ファイバ群が負の分散率を有する、第 1 と第 2 の N - P ケーブル長さと、

20

全数 - P 型のファイバ群を含む少なくとも 1 本の P ケーブルと、

前記第 1 の N - P ケーブル長さと前記 P ケーブル長さを接続しており前記第 1 の N - P ケーブル長さ内の前記 N 型ファイバ群が前記 P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群の第 1 の半数にスプライスされ、かつ前記第 1 の N - P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群が前記 P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群の第 2 の半数にスプライスされている第 1 のスプライス・ボックスと、

前記第 1 の N - P ケーブル長さと前記 P ケーブル長さを接続しており、前記第 1 の N - P ケーブル長さ内の前記 N 型ファイバ群が前記 P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群の前記第 1 の半数にスプライスされ、かつ前記第 1 の N - P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群が前記 P ケーブル長さ内の前記 P 型ファイバ群の前記第 2 の半数にスプライスされている第 2 のスプライス・ボックスとからなり、

30

前記第 1 と第 2 の N - P ケーブル長さおよび前記 P ケーブル長さが、前記交換用ケーブル部分で修理されたときに前記勾配整合型ケーブル・システムの正味の分散が名目上不変を保つように選択される交換用ケーブル部分。

【請求項 1 9】

前記 N - P ケーブル長さと前記 P ケーブル長さの長さが前記 N 型ファイバと前記 P 型ファイバの分散率に基づいて計算される、請求項 1 8 に記載の交換用ケーブル部分。

【請求項 2 0】

前記 N - P ケーブル長さの一方に結合された修理リピータをさらに含む、請求項 1 8 に記載の交換用ケーブル部分。

40

【請求項 2 1】

前記修理リピータの両側で前記修理リピータに結合されたスプライス・ボックスをさらに含む、請求項 2 0 に記載の交換用ケーブル部分。

【請求項 2 2】

前記修理リピータに結合された前記スプライス・ボックスが損失の付け足しを含む、請求項 2 1 に記載の交換用ケーブル部分。

【請求項 2 3】

前記損失の付け足しが、システムの伝送スペクトルの端から端までの利得形状が修理によって変化することが名目上ないような値を有する、請求項 2 2 に記載の交換用ケーブル部分。

50

【請求項 24】

前記少なくとも 1 本の P ケーブル長さに結合された利得等化器をさらに含む、請求項 18 に記載の交換用ケーブル部分。

【請求項 25】

前記少なくとも 1 本の P ケーブル長さが 2 つの P 部分を有し、前記利得等化器が前記 P 部分の間に結合される、請求項 24 に記載の交換用ケーブル部分。

【請求項 26】

前記 N - P ケーブル長さの一方に結合された交換用リピータをさらに含む、請求項 18 に記載の交換用ケーブル部分。

【請求項 27】

前記 N - P ケーブル長さの他方に結合された交換用リピータをさらに含む、請求項 20 に記載の交換用ケーブル部分。

【請求項 28】

勾配整合型ケーブル・システムに使用するための交換用ケーブル部分を作製する方法であって、

P ケーブル長さの両側に第 1 と第 2 の N - P ケーブル長さを接続する工程において、前記 N - P ケーブル長さが、負の分散率を有する半数の N 型ファイバ群と正の分散率を有する半数の P 型ファイバ群を含み、かつ前記 P ケーブル長さが全数 P 型のファイバ群を含み、前記第 1 と第 2 の N - P ケーブル長さおよび前記 P ケーブル長さが、前記交換用ケーブル部分で修理されたときに前記勾配整合型ケーブル・システムの正味の分散が名目上不変を保つように選択される工程と、

前記 N - P ケーブル長さの一方にリピータを接続する工程とを含む方法。

【請求項 29】

前記リピータが、システムの伝送スペクトルの端から端までの利得形状が修理によって変化することが名目上ないように選択される、請求項 28 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバ・ケーブル・システムの修理に関し、より詳細には、分散勾配整合型ケーブルを使用する海底ケーブル・システムの修理に関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバ・ケーブル・システムは、複数の光ファイバを含むケーブルと、ケーブル長さに沿って周期的に配置された複数の光増幅器を含むリピータとから構成される。光ファイバ・ケーブル・システムはまた、ケーブル長さに沿って周期的に配置された複数の利得等化器を含むことがある。そのようなシステムの 1 つの重要なパラメータは色分散であり、これはさまざまな波長の光が光ファイバに沿って進行する速度に関係する。システムの伝送性能を最適化すべき場合、システムの長さの関数としての分散を管理する必要がある。1 つの管理方法は勾配整合型ケーブルを使用することであり、その場合、システム内の各ファイバ経路の正味の端から端までの分散は伝送帯域にわたって公称上一定であり、温度によって変化しない。

【0003】

通常の高密度波長分割多重 (DWDM) の海底用勾配整合型ケーブル・システムでは、「正規の」もしくは「伝送の」ケーブル区画 (「ケーブル区画」は隣り合うリピータの間のケーブルを称する) は N 型および P 型のファイバで構成される。これら N 型および P 型のファイバはそれぞれ大幅に負および正の分散率 (対距離) を有するが、名目上で一定の正味の分散 (たとえば $-3 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}^2$ の率) を達成するような比である。分散の整合は波長と温度の両方の関数として厳密に持続することが好ましい。

【0004】

図 1 を参照すると、P 型のファイバ 12 を表わす太い線と N 型のファイバ 14 を表わす

10

20

30

40

50

細い線で正規のケーブル区画 10 の 1 つのファイバ対の構成が示されている。1 つのファイバ対が示されているけれども、実際の区画は、通常、多数のファイバ対を含む。図 1 で、上側のファイバ経路では光信号は左から右へと伝搬され、下側のファイバ経路では右から左へと伝搬される。勾配整合型ケーブル区画 10 は、全数 P 型のファイバ 12 を含む中央部分 16、および P 型と N 型の両方のファイバ 12、14 を含む両端部分 18a、18b を含む。N 型ファイバの一例は I D F X 2 という記号表示で L u c e n t 社から入手可能である。P 型ファイバの一例は S L A という記号表示で L u c e n t 社から入手可能である。正規のケーブル区画では、P 型ファイバ 12 と N 型ファイバ 14 は、通常、スプライス損失を最小限にするためにブリッジ・ファイバを使用してファイバ工場で一体にスプライスされる。

10

【0005】

正規のケーブル区画に加えて、システムの分散特性を適切に管理するために、全数 P 型のファイバを含む補償ケーブル区画（図示せず）が使用される可能性がある。勾配整合型ケーブル・システムの一例では、システムの長さに沿って 450 ~ 500 km 毎に直列になった 2 つまたは 3 つの「補償」ケーブル区画が使用される。図 2 は、（正規および補償のケーブル区画を使用する）理想的な二重補償のブロック長さに関する分散マップを示している。

【0006】

それとは別に、システムの利得等化が、利得勾配を補正するたとえば利得等化器連結部（G E J）の形でリピータにおいて使用されることが可能であり、非平坦利得形状を補正する形状補償ユニット（S C U）がそれら独自のハウジング内に設置されて補償ケーブル区画に配置されることが可能である。システムの分散を適切に管理するために、いくつかの補償ケーブル区画は正規のケーブル区画よりもかなり短く、かつ中間区画の損失付け足し部（L B O）を含む可能性がある。L B O はスプライス・ボックス内である程度の光学的減衰を故意に挿入され、それによりケーブル区画の設計値に損失を付け足す。スプライス・ボックスはケーブル間連結部でファイバ・スプライスを収納するために使用される主要装置である。

20

【0007】

ケーブル・システムはしばしば故障を生じ、修理を必要とする。故障はケーブルの部分またはケーブルに接続されたリピータで生じる可能性がある。図 3 ~ 6 を参照すると、海底ケーブル 20 の故障部分を交換するための修理操作が極めて詳細に示されている。通常、海底での修理操作はケーブル 20 を切断してケーブル 20 の「良品」端部と予測される部分を回収することによって始まる。概して、ケーブルは切断部からおおよそ水深 D 離れた場所 B 1 で係合され、それにより、回収時に両側に同じ重量がかかる（図 4 参照）。結果として、元のケーブル区画の少なくとも水深長さ D 1 つ分が除去される。切断端部からコア・ケーブル構造内への水の浸入が理由で、さらなるケーブル（たとえば最長で 1 km）が除去される可能性もある。このケーブルが除外された後、ケーブル 20 の端部 B 1 はシールされてブイで浮かべられる（図 5 参照）。その後、他方のケーブル端部 A 2 が回収され、元のケーブル 20 の水深 D もしくはそれ以上の長さが除去される。故障は好ましくは、除去したケーブル 20 のうちの 1 本にある。そうでない場合、ケーブルが故障部分を越えて切断されるまでさらなるケーブルが回収される。故障を生じたりピータが交換される場合、それが船上に上がるまでケーブルが回収され、そこでそれは切り離されて予備のリピータと交換される。

30

40

【0008】

その後、予備のケーブルがケーブル 20 の「良品」端部に接続される。予備ケーブルの長さは除去された元のケーブルに加えて通常は水深の 2 ~ 2.5 倍の追加長さに置き換わるのに充分であることが好ましく、それにより、ケーブルの湾曲が船外に出る前に最終連結部を作製することが可能となる（図 6 参照）。いくつかの既存のブロードバンド・システムについては、修理の結果として生じる追加損失に起因して発生する伝送利得形状（すなわち利得勾配）の変化を回避するために修理リピータと呼ばれる追加のリピータを交換

50

用ケーブルに挿入することが賢明である。以上で検討した修理操作に基づくと、修理時に使用される予備ケーブルの最低量（すなわち交換部分）はしばしば修理現場の水深の4.5倍である。他の良品ケーブルへの水の浸入に起因するか、最初に回収ケーブルに故障が見つからないか、または故障リピータが回収されるときにさらにケーブルが除去される場合、交換部分はさらに長くなる可能性すらある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

修理の後の端から端までの正味のシステムの分散が不変を保たなければならないので、勾配整合システムの修理は困難を呈する可能性がある。たとえ交換区画が除去されたものと同じケーブル・タイプを使用しても、追加のケーブル長さは伝送の双方向で分散をかなり不釣り合いにするであろう。

【0010】

したがって、補償ケーブル区画で修理が為されるときでさえ、修理の後の端から端までの正味のシステムの分散を伝送の双方向で名目上不変に保つことを可能にする勾配整合型ケーブル・システムを修理する方法が必要とされる。勾配整合型ケーブル・システムを修理する方法はまた、それが伝送スペクトルにわたって利得勾配を名目上不変に保つようにされることが好ましい。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上述の要求に対応するために、ケーブル・システム内の正味の分散を名目上不変に保つ交換用ケーブル部分を使用して勾配整合型ケーブル・システムが修理される。本発明の一態様によると、負の分散率を有する少なくとも1本のN型ファイバと正の分散率を有する少なくとも1本のP型ファイバを含む勾配整合型ケーブル・システムを修理するためにある方法が使用される。本方法は勾配整合型ケーブル・システムの故障部分を除去する工程を含む。第1および第2のN-Pケーブル長さは少なくとも1本のN型ファイバと少なくとも1本のP型ファイバを含む予備のN-Pケーブルから供給される。少なくとも第1と第2のP型ファイバを含む予備のPケーブルから少なくとも1本の全数（all）-Pケーブル長さが供給される。交換用ケーブル部分はN-Pケーブル長さとは全数-Pケーブル長さから構成され、そこではN-Pケーブル長さはPケーブル長さの両側に接続される。修理時に、交換用ケーブル部分は当初設置された勾配整合型ケーブルの故障部分が除去された端部間に接続される。本方法はまた、ケーブルの故障を修理するときに修理リピータを交換用ケーブル部分の一方の端部に接続する工程および/または交換用利得等化器を交換用ケーブル部分に接続する工程も含む可能性がある。本方法は、リピータの故障を修理するときに交換用ケーブル部分の一方の端部に交換用リピータを接続し、他方の端部に修理リピータを接続する工程を含む。

【0012】

本発明の別の態様によると、交換用ケーブル部分は半数（half）のN型ファイバ群と半数のP型ファイバ群を含む第1と第2のN-Pケーブル長さ、および全数-P型のファイバ群を含む少なくとも1本のPケーブル長さを有する。N型ファイバは負の分散率を有し、P型ファイバは正の分散率を有する。第1のスプライス・ボックスは第1のN-Pケーブル長さとはPケーブル長さとはを接続する。第1のN-Pケーブル長さの中のN型ファイバはPケーブル長さの中の複数のP型ファイバの第1の半数にスプライスされる。第1のN-Pケーブル長さの中のP型ファイバはPケーブル長さの中の複数のP型ファイバの第2の半数にスプライスされる。第2のスプライス・ボックスは第1のN-Pケーブル長さとはPケーブル長さとはを接続する。第1のN-Pケーブル長さの中のN型ファイバはPケーブル長さの中の複数のP型ファイバの第1の半数にスプライスされる。第1のN-Pケーブル長さの中のP型ファイバはPケーブル長さの中の複数のP型ファイバの第2の半数にスプライスされる。交換用ケーブル部分は、その交換用ケーブル部分で修理されるときにシステム内の各々のファイバ経路の正味の分散と利得形状が名目上不変を保つように設

10

20

30

40

50

計されることが好ましい。利得形状は、交換部分に適切な損失付け足し部（LBO）を備えた修理リピータ（および必要時に交換用リピータ）を含ませることによって維持されることが好ましい。

【0013】

本発明のこれらおよびその他の特徴は、図面と一体化して為される以下の詳細な説明を読むことによってさらによく理解されるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

図7を参照すると、勾配整合型ケーブル・システムの修理に使用される交換用ケーブル部分30の一実施形態が示されている。下記でさらに詳細に説明するように、交換用ケーブル部分30は（N型とP型の両方のファイバを有する）正規のケーブル区画または（全数P型のファイバを有する）補償ケーブル区画を修理するのに使用されることが可能である。交換用ケーブル部分30はまた、修理リピータ、交換用リピータ、利得等化器連結部（GEJ）のような利得等化器と形状補償ユニット（SCU）、あるいはその他の部品を備えても備えなくても使用されることが可能である。範例の方法は海底環境の勾配整合型ケーブル・システムの修理のためのものであるが、本方法と交換用ケーブル部分30は、かなりの量の余分のケーブルが修理で追加される必要のある他の環境で勾配整合型ケーブル・システムを修理するために使用されることがもやはり可能である。

10

【0015】

概して、勾配整合型ケーブルを修理する方法は、勾配整合型ケーブル・システムの故障を生じた部分を除去する工程、交換用ケーブル部分を作製する工程、および故障発生部分が除去された場所で勾配整合型ケーブルに交換用ケーブル部分を接続する工程を含む。ケーブル・システムの故障発生部分はケーブル内の故障またはリピータ内の故障を有する可能性がある。交換用ケーブル部分は予備のN-Pケーブルと予備のPケーブルから構成され、修理リピータ、交換用リピータ、LBO、および/または交換用等化器ユニットを有することもやはり可能である。

20

【0016】

交換用ケーブル部分30はPケーブル長さ34の両端部に接続された第1と第2のN-Pケーブル長さ32a、32bを含む。N-Pケーブル長さ32a、32bは、スプライス・ボックス36a、36bを含むケーブル接続部を使用してPケーブル長さ34に接続されることが好ましい。交換用ケーブル部分30はまた、N-Pケーブル長さ32a、32bの両端部で、スプライス・ボックス（図示せず）を使用して当初のケーブル区画（図示せず）の間に接続される可能性もある。ケーブルの接続およびファイバのスプライス処理は当業者によく知られており、既にある接続器およびスプライス・ボックスが使用されることが可能である。

30

【0017】

N-Pケーブル長さ32a、32bは、負の分散率を有する半数のN型ファイバ群40と正の分散率を有する半数のP型ファイバ群42を含む1つのタイプの予備のケーブルから作製される。全数-Pケーブル長さ34は全数-P型のファイバ群42を含む予備のケーブルの他のタイプから作製される。N型ファイバ40の一例は、IDFX2の記号表示でLucent社から入手可能なタイプのように公称-40ps/nm・kmの負の分散率を有する。P型ファイバ42の一例は、SLAの記号表示でLucent社から入手可能なタイプのように公称20ps/nm・kmの正の分散率を有する。図7は各々のケーブル長さ32a、32b、34のファイバの一对だけを示しているが、通常のケーブルは多数のファイバ対を有するであろう。他の分散率もやはり考慮される。

40

【0018】

予備ケーブルの2つのタイプ（すなわちN-Pケーブル長さ32a、32bとPケーブル長さ34）は、補償ケーブル区画で修理が為されるときでさえ修理の後の正味の名目上の分散を実質的に不変に保つ比で組み合わせられる。図8は、修理された正規のケーブル区画の修理されたファイバ経路の分散と比較したときの正規のケーブル区画の元のファイバ

50

経路の分散を示している。勾配整合システム内のケーブルを修理するために交換用ケーブル部分 30 が使用されると、修理されたファイバ経路の正味の分散は元のファイバ経路のそれに名目上等しくされることが可能である。

【 0 0 1 9 】

交換用ケーブル部分 30 を作製するのに使用される予備のケーブルの長さ 32 a、32 b、34 は、修理完了後の勾配整合型ケーブル・システム全体の分散が名目上不変であるように計算される。これらの長さを計算する 1 つの方法は下記でさらに詳細に述べられる。下記の計算の目的のために、分散 $[ps/nm]$ は Δ を使用して記され、分散率対距離 $[ps/(nm \cdot km)]$ は D を使用して記される。「分散」という用語は、ここでは両方の概念について使用される可能性がある。「東向き」および「西向き」という用語は、ここでは伝送の 2 つの方向、およびそれに相当して正規のケーブル区画で見られるファイバの 2 つの配列を区別するために使用される。ここで使用するよう東向きと西向きは必ずしも磁石の方向に対応するものではない。

10

【 0 0 2 0 】

修理時では、ある程度の当初のケーブル区画の除去の結果としてシステムから取られる分散は置き換えられる必要があり、ケーブル長さが追加されなければならない。当初のケーブルが切断されて故障を伴ったケーブルの部分が除去された後、勾配整合型ケーブル・システムから除去された当初のケーブルの量とタイプが判定される。除去された東向き伝送ファイバの長さは P 型の X_{pe} および N 型の X_{ne} と規定される。同様に、除去された西向き伝送ファイバの長さは P 型の X_{pw} および N 型の X_{nw} と規定される。これらのファイバはすべて同じケーブル内にあるので、

20

$$X_{pe} + X_{ne} = X_{pw} + X_{nw} \quad \text{式 1}$$

である。修理時に ($X_{pe} + X_{ne}$ に加えて) 追加される余分のケーブルの長さは δ として提供される。

【 0 0 2 1 】

東向きの方向で、システムから除去される分散の量は、好ましくは置き換えられるべき量であって、

$$\Delta_{re} = D_p X_{pe} + D_n X_{ne} \quad \text{式 2}$$

であり、ここで

D_p = P 型ファイバの分散率、および

D_n = N 型ファイバの分散率である。

30

図 9 を参照すると、交換用ケーブル部分 30 のファイバ対の一般的構造が示されており、P 型ファイバが太い線で表わされ、N 型ファイバが細い線で表わされている。 Y_{pe} を交換用ケーブル部分 30 の合計長さの東向き方向の P 型ファイバの長さとする。そのとき、

$$Y_{pe} D_p + (X_{pe} + X_{ne} + \delta - Y_{pe}) D_n = \Delta_{re} \quad \text{式 3}$$

である、式 2 と 3 を組み合わせると、

【 数 1 】

$$Y_{pe} = X_{pe} - \left(\frac{D_n}{D_p - D_n} \right) \delta$$

40

そのとき東向き方向の N 型ファイバの長さは、

【 数 2 】

$$Y_{ne} = X_{ne} + \left(\frac{D_p}{D_p - D_n} \right) \delta$$

50

である。

西向きの方角について同様の分析が実行されるならば、交換用ケーブル部分 30 内の P 型ファイバの長さは、

【数 3】

$$Y_{pw} = X_{pw} - \left(\frac{D_n}{D_p - D_n} \right) \delta$$

であり、N 型ファイバの長さは、

【数 4】

$$Y_{nw} = X_{nw} + \left(\frac{D_p}{D_p - D_n} \right) \delta$$

である。

【0022】

上記で検討したように、交換用ケーブル部分 30 は 3 つのケーブル長さ 32 a、32 b、34 を有し、修理を完了させるために 4 つの接続部が使用される（図 7 参照）。以上の式に基づくと、N - P 予備ケーブル長さの一方 32 a は Y_{nw} の長さであり、N - P 予備ケーブル長さの他方 32 b は Y_{ne} の長さである。P 予備ケーブル 34 は $(Y_{pe} - Y_{nw})$ の長さを有し、それはやはり $(Y_{pw} - Y_{ne})$ にも等しい。

【0023】

追加の実施形態をここで説明するが、そこでは類似するかもしくは同様の素子は図中で同じ参照番号で識別される。図 10 に示された別の交換用ケーブル部分 30' は N - P ケーブル長さの一方 32 b の一方の端部に接続された修理リピータ 50 を含む。修理リピータ 50 は、たとえば、別の方法では余分のケーブルとスプライスの 5 dB 以上の損失の追加の結果として導入される多量の利得勾配を回避するために、勾配整合型ケーブル・システムの深海修理に使用されることが好ましい。光増幅器は隣り合うリピータの利得を上げることによって自動的にケーブル区画内の追加損失を補償するけれども、公称のシステム設計値と比べてリピータの入力パワーが下げられる（または上げられる）と利得勾配が導入される。これはさらに広い伝送帯域にとって特に厄介である。たとえば 26 nm 帯域幅では、利得勾配は 1 dB 毎に 0.5 dB を超える余分の損失となる可能性があり、勾配整合型ケーブル修理に加えられる余分の損失は通常の 5 km の修理深さについて 5 dB を超える可能性がある。追加的な損失は追加されたケーブル長さ（たとえば水深の 2 ~ 2.5 倍）、N 型ファイバの比較的高い減衰度、およびスプライスの数といくつかのファイバ・タイプの間の高いスプライス損失から結果として生じる。修理リピータ 50 は、たとえばシステムの組み立て時に装備される LBO の大きな値が修理の間に除去されるならば確実な修理に必要とされない可能性がある。

【0024】

修理リピータ 50 は N - P 予備ケーブル長さ 32 b と当初のケーブル 20 の間にスプライス・ボックス 52 a、52 b を使用して結合される。修理リピータ 50 の追加は 2 つのケーブル区画を作り出し、そこでは一方のケーブル区画は修理の前に存在する。2 つの新たなケーブル区画の損失はケーブル区画に関する公称の設計損失に等しくされることができない可能性はあるけれども、各々のファイバ経路について 2 つの新たなケーブル区画の組み合わせ損失は単一のケーブル区画の公称設計損失の 2 倍に近くされ得ることが好ましい。所望の設計損失を達成するために、スプライス・ボックスは損失付け足し部（LBO）を含むことが好ましく、LBO の値は、2 つの区画の損失の間の差異を最小限にしながら望ましい公称設計損失を達成するように選択され、その結果システムの伝送スペクトル

10

20

30

40

50

の端から端までの利得形状が修理による変化を名目上受けずに保たれることを確実化することが可能となる。理想的な L B O 値を選択する 1 つの方法は下記でさらに詳細に述べられる。

【 0 0 2 5 】

さらに詳細に修理の方法を説明する目的で、ケーブル区画の「左」側は端部が回収されて故障が取り除かれた後のさらに低い損失を有する残りの当初のケーブル区画（普通はさらに短い長さ）に相当する。「右」側は残りの当初のケーブルの他方の半分を称する。「東向き」の伝送方向は左から右であり、「西向き」の伝送方向は右から左である。

【 0 0 2 6 】

正味の損失は当初の区画と交換部分について計算され、理想的な L B O 値は修理リピータのいずれの交換についても計算される。理想的な L B O 値は伝送のいずれの方向、東向き（すなわち図で左から右）および西向き（すなわち図で右から左）についても計算される。理想的な L B O 値を計算するための式はまた、修理される当初のケーブル区画の残る部分に工場装備の L B O がないことも想定している。L B O が工場装備されて当初の残りの左と右のケーブル部分に配置されている場合、それらは計算に含まれるべきであることが好ましい。

【 0 0 2 7 】

理想的な L B O 値を計算するための式は修理の筋書きによって決まる。最初のケーブル切断の場所と切断の 2 つの側から除去される当初のケーブルの量の組み合わせに応じて故障を有する正規のケーブル区画で 4 つの修理の筋書きが考えられる。故障を有する補償ケーブル区画で、それが利得等化器（たとえば G E J または S C U ）を有するかどうか、および利得等化器が最初に修理部分として除去されるかどうかに応じて 3 つの追加的な修理の筋書きが考えられる。

【 0 0 2 8 】

図 1 1 ~ 1 4 を参照すると、正規のケーブル区画の 4 通りの筋書きは次のようなものであり、すなわち（ 1 ）全数 N - P ケーブルの修理（図 1 1 ）、（ 2 ）全数 - P ケーブルの修理（図 1 2 ）、（ 3 ）混成 N - P 及び P のケーブルの修理（図 1 3 ）、および（ 4 ）完全な P 中央部分の除去（図 1 4 ）である。ある程度のスプライス損失が変わるのでこれら 4 通りの修理の筋書きについて損失の計算は同じではない。

【 0 0 2 9 】

図 1 5 を参照すると、全数 N - P ケーブル修理の筋書きに関する損失と理想的 L B O 値の計算がさらに詳細に述べられている。図 1 5 は、修理リピータ・スプライス・ボックス（ L B O 付き） 5 2 a、5 2 b の挿入を伴ったスプライスを含む完了した全数 N - P 修理を示している。範例の実施形態では、L B O は L M F ファイバを使用して作製されている。L と R はそれぞれ左側と右側で当初のケーブル区画の残りの長さ（ k m ）を表わす。当初のケーブルから交換部分への両方の接続（左と右）が全数 N - P ケーブルであるのでこれが全数 N - P の修理であることに留意すべきである。ファイバ・スプライスの損失（ d B ）は次のように区別される、すなわち S_p : P から P へのスプライス、 S_n : N から N へのスプライス、 $S_{n/p}$: N - P または P - N のスプライス、 $S_{p/L}$: P から L M F ファイバへのスプライス、 $S_{n/L}$: N から L M F ファイバへのスプライス、および $B_{n/p}$: 間にブリッジ・ファイバを入れた当初のファイバの工場のスプライス（スプライス損失値は直接の船上 N - P スプライス $S_{n/p}$ と異なる）である。L B O 端部のスプライス損失以外の L B O 損失がないと仮定すると、修理されたケーブル区画の損失は次の通りであり、

東向き : $[L_{pe} \alpha_p + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + (3 S_p + S_{n/p} + 2 S_{n/L} + 2 S_{p/L} + B_{pn}) + R_{pe} \alpha_p + R_{ne} \alpha_n] d B$ 式 8

西向き : $[L_{nw} \alpha_n + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (S_n + S_{n/p} + 2 S_p + 2 S_{p/L} + 2 S_{n/L} + B_{pn}) R_{nw} \alpha_n + R_{pw} \alpha_p] d B$ 式 9

ここで α_p と α_n は P および N ファイバの減衰度 d B / k m であり、 L_{pe} 、 L_{nw} 、 R_{pe} 、 R_{ne} 、 R_{nw} および R_{pw} はそれぞれ左 - 東向きの P ファイバ、左 - 西向きの

Nファイバ、右 - 東向きの P ファイバ、右 - 東向きの N ファイバ、右 - 西向きの N ファイバおよび右 - 西向きの P ファイバの長さ (km) である。

【 0 0 3 0 】

修理リピータ 5 0 の入力部と出力部の L B O 損失を計上すると、伝送の各々の方向で挿入される合計の L B O 損失は、B で規定される正規のケーブル区画の公称損失 (ケーブル区画の公称バルク損失) の 2 倍から減算された式 8 と 9 から算出される損失に等しい。ケーブル区画のこの公称バルク損失はシステム毎に変わる可能性があり、一例では 1 0 . 4 6 d B である。スプライス・ボックス 5 2 a、5 2 b 内の左手および右手の L B O (L B O_L と L B O_R) の間でこの合計の L B O 損失 (L B O_T) がどのように配分されるかは、修理リピータ 5 0 の両側の新たなケーブル区画の間の損失の差異を最小限にすることによって決定される可能性がある。 10

【 0 0 3 1 】

L_L と L_R が 2 つの新たな区画、すなわち 1 つは修理リピータの左で 1 つは右の区画の損失を表わすとする、理想的な L B O 値は次のようになる。

$$L B O_L = (B + L_L) d B \quad \text{式 1 0}$$

$$L B O_R = (B - L_R) d B \quad \text{式 1 1}$$

【 0 0 3 2 】

いくつかの修理では、式 1 0 または 1 1 のいずれかの値は負である可能性がある。これが生じると、負と算出するどのような L B O 損失も 0 に設定され、その他の L B O は L B O_T の値をとる。このアルゴリズムは修理リピータ 5 0 の両側の新たなケーブル区画の間の損失の差異を最小限にし、2 つの新たな区画の合計損失をケーブル区画の公称設計損失の 2 倍に等しく保つ。この同じアルゴリズムは、下記で述べるように正規と補償の両方の区画に関するすべての残りの修理筋書きにも当てはまる。 20

【 0 0 3 3 】

混成の修理 (図 1 2 参照) については、修理されたケーブル区画の損失 (L B O 損失を無視) は次のように計算される。

$$\text{東向き: } [L_{pe} \alpha_p + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + (2 S_p + S_n / p + 2 S_n / L + 2 S_p / L + B_{p/n}) + R_{pe} \alpha_p + R_{ne} \alpha_n] d B \quad \text{式 1 2}$$

$$\text{西向き: } [L_{nw} \alpha_n + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (S_n + S_p + S_n / p + 3 S_p / L + 2 S_p / L - B_{n/p} + S_n / L) + R_{pw} \alpha_p] d B \quad \text{式 1 3} \quad 30$$

【 0 0 3 4 】

この修理の筋書きについては、損失の計算は工場ブリッジされた N - P スプライスを計上し、それは西向き方向で除外される。

全数 P の修理 (図 1 3 参照) については、修理されたケーブル区画の損失 (L B O 損失を無視) は次のように計算される。

$$\text{東向き: } [L_{pe} \alpha_p + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + (2 S_p + S_n / p + 2 S_n / L + S_p / L + B_{n/p}) + R_{pe} \alpha_p + R_{ne} \alpha_n] d B \quad \text{式 1 4}$$

$$\text{西向き: } [L_{nw} \alpha_n + L_{pw} \alpha_p + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (B_{n/p} + 2 S_n / p + 2 S_p + 3 S_p / L + S_n / L) + R_{pw} \alpha_p] d B \quad \text{式 1 5}$$

【 0 0 3 5 】

これらの式は混成および全数 N / P の修理の匹敵するものとわずかに異なるが、その理由は当初のものと交換部分の間の界面である程度のスプライス損失が異なるせいである。 40

修理時に当初の P 部分が完全に除去される (図 1 4 参照) と、修理されたケーブル区画の損失 (L B O 損失を無視) は次のように計算される。

$$\text{東向き: } [L_{pe} \alpha_p + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + (2 S_p + S_n / p + 3 S_n / L + 2 S_p / L) + R_{ne} \alpha_n] d B \quad \text{式 1 6}$$

$$\text{西向き: } [L_{nw} \alpha_n + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (S_n + S_p + S_n / p + 3 S_p / L + S_n / L) + R_{pw} \alpha_p] d B \quad \text{式 1 7}$$

【 0 0 3 6 】

図 1 6 ~ 1 8 を参照すると、すべての補償区画で生じ得る 3 通りの筋書きは次の通りで 50

ある、すなわち(1)区画内に利得等化器なし(図16)、(2)修理時に回収されないが区画内に利得等化器存在(図17)、および(3)区画内に利得等化器存在でかつ修理時に回収(図18)である。利得等化器は隣り合うスプライス・ボックス内でLBOを付随する可能性がある。

【0037】

図19は、故障発生区画が利得等化器を含まないとき、スプライス・ボックス52a、52b内で修理リピータのLBOを付随するスプライスを含む、完了した補償ケーブル区画の修理を示している。修理された区画の損失は次のように計算される。

$$\text{東向き: } [L_{pe} \alpha_p + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + 2S_p + S_{n/p} + 2S_{n/L} + 2S_{p/L} + R_{pe} \alpha_p] dB \quad \text{式18} \quad 10$$

$$\text{西向き: } [L_{nw} \alpha_n + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (2S_{n/p} + S_p + 3S_{p/L} + S_{n/L}) + R_{pw} \alpha_p] dB \quad \text{式19}$$

【0038】

この範例は当初の区画に装着される利得等化器を含んでいないけれども、大きな値(たとえば4dB以上)のLBOが異なった全数-Pの補償ケーブル区画の中間付近にあることは可能である。修理時にこのLBOが回収されるならば、修理リピータが不要となることは可能である。ある修理方法によると、修理リピータの必要性を未然に防ぐために、たとえそれ以外に必要ではない場合でもそのようなLBOは回収される可能性がある。伝送の各方向に関する算出LBO値が公称リピータ利得のdB以内であるとき、リピータまたはLBOは不要である。

【0039】

回収されない利得等化器を含む修理された補償ケーブル区画で、上記の利得等化器のないケースとの違いは、当初の区画の右手部分に等化器の有効平坦損失(隣り合うスプライス・ボックスのLBOに付随する可能性がある)が加えられる必要性があることである。下記の式で、等化器損失はEDBで表わされ、それは同様に利得等化器損失、等化器と隣り合うスプライス・ボックス内のいかなる追加の工場装備のLBOも含む。修理されたケーブル区画の損失は次のように計算される。

$$\text{東向き: } [L_{pe} \alpha_p + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + (2S_p + S_{n/p} + 2S_{n/L} + 2S_{p/L}) + R_{pe} \alpha_p + E] dB \quad \text{式20}$$

$$\text{西向き: } [L_{nw} \alpha_n + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (2S_{n/p} + S_p + 3S_{p/L} + S_{n/L}) + R_{pw} \alpha_p + E] dB \quad \text{式21} \quad 30$$

【0040】

図20は、利得等化器が回収され、かつ修理リピータLBOの挿入に付随するスプライスを含めて交換されるときに完了した補償ケーブル区画の修理を示している。故障発生ケーブル中で利得等化器が回収されるならば、修理の交換用ケーブル部分は除去された等化器のための交換用等化器ユニット60を含む。交換用等化器ユニット60は予備のユニットか、または、まだ使用可能であるという前提で、回収した等化器(しかしいかなる隣接LBOも付随しない)のいずれかである可能性がある。スプライス損失を最小限にするために、交換用等化器ユニット60は交換用ケーブル部分の全数-P長さ34内でシステムに接続される必要がある。この修理では、修理を完了するために(通常の5個に代わって)7個のスプライス・ボックスが使用される。修理された区画の損失は次のように計算される。

$$\text{東向き: } [L_{pe} \alpha_p + Y_{pe} \alpha_p + Y_{en} \alpha_n + E + (4S_p + S_{n/p} + 2S_{n/L} + 2S_{p/L}) + R_{pe} \alpha_p] dB \quad \text{式22}$$

$$\text{西向き: } [L_{nw} \alpha_n + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (2S_{n/p} + 3S_p + 3S_{p/L} + S_{n/L}) + E + R_{pw} \alpha_p] dB \quad \text{式23}$$

【0041】

LBO値の実際の計算はいくつかのケースではさらに複雑である可能性があり、したがって上の式は変えられる可能性がある。たとえば、LBOが挿入されるときにはLBOの各々の端部に追加のスプライス損失(たとえば $S_{p/L}$)が存在し、前に示した損失の式

、すなわち式 8 と 9、および式 12 から 23 にこれらのスプライス損失を含ませることによってこれが計上された。しかしながら、もしも修理リピータの一方の端部で LBO が必要とされないならば、普通 2 つの LBO 端部スプライス（たとえば $2 S_p / L$ ）によって供給される損失はもはや両方ではなく、修理リピータの後部でケーブルからケーブルへの直接スプライスが存在する。この状況では、修理リピータの他方の側の LBO の値は結果的に生じるスプライス損失の差異を計上することが好ましい。計算の他の変形例によると、式 10 または 11 を使用する LBO 損失の計算が LBO 挿入に対応する端部スプライス損失よりも小さい場合、LBO 損失はゼロに設定されることが可能である。

【0042】

故障の疑いのある場所に基づいて、最新の海底ケーブル・システム修理業務と同様にして最初のケーブル切断場所が選択される。好ましい方法では、最終的な湾曲部に修理リピータを有することを避けるために、切断部の左側と予測される方でケーブルが回収される。ケーブルはまた、環境に応じて右側で回収されることも可能である。その後、ケーブルに故障がないかどうか判定するためにケーブルが検査される。もしもなければ、故障が発見されて除去されるまで追加のケーブルが回収される。その後、この残りのケーブル区画の端部がブイで浮かべられる。

10

【0043】

その後、他方のケーブルが回収され、ケーブルに故障がないかどうか判定するために回収されたケーブルが検査される。もしもなければ、故障が発見されて除去されるまで追加のケーブルが回収される可能性がある。いかに多くのケーブルが切断部の両側から回収されるかによって、左側が低い方の損失を備えた方であることを確実化するために左と右の初期の指定が逆転される必要が生じる可能性がある。

20

【0044】

この時点で、除去される当初のケーブルの長さ、左側と右側で残る当初のケーブルの長さ、および修理現場の水深が判定可能である。必要であれば、光学式の時間域反射計（OTDR）の読みを使用してこれらの長さを判定することも可能である。OTDR は N と P のファイバが一体にスプライスされている場所を識別することが可能である。これらの値に基づいて、修理に必要とされる余分のケーブルの量が決定される（たとえば水深の約 2.5 倍）。

【0045】

交換用ケーブル部分を構成する予備ケーブルの 3 つの部分の長さは、たとえば式 4 ~ 7 を使用して算出される。修理リピータが使用される予定であるときは、修理リピータの左側と右側に関する理想的な LBO 値もやはり、たとえば式 8 ~ 23 を使用して算出される。算出した理想的な LBO 値に基づいて、入手可能な LBO 群から LBO が選択される。

30

【0046】

その後、スプライス・ボックス 36a、36b を使用して N - P 予備ケーブル長さ 32a、32b を P 予備ケーブル長さ 34 に接続することによって交換用ケーブル部分が作製される。必要であれば、スプライス・ボックス 52a を使用して修理リピータ 50 が交換用ケーブル部分の右端部で接続される（図 10 参照）。修理が回収した利得等化器を含む全数 P の補償区画である場合、交換用ケーブル部分の全数 - P 長さの中に交換用利得等化器 60 が設置される（図 20 参照）。その後、スプライス・ボックスを使用して交換ケーブル部分が残りの当初のケーブル区画の右側端部に連結される。交換用ケーブル部分がブイに戻され、スプライス・ボックスを使用して残りの当初のケーブル区画の左側に最終連結部が作製される。

40

【0047】

本方法の別の変形例によると、最終連結部は正規のケーブル区画の N - P ケーブル内にあり、最終連結部に接続される N - P 予備ケーブル長さ 32a は正味の分散変化ゼロについて算出された長さよりも長くされることが好ましい。残りの当初のケーブル区画の左側の回収が計画通りに進むならば、N - P 予備ケーブル長さ 32a の余分の長さは最終連結部が作製される前に除去されることが可能である。しかしながら、さらに多くの残りの当

50

初のケーブルを除去しなければならない場合（例えば回収時にブイが紛失されたかまたはケーブルが損傷を受けた場合）、算出された長さを供給し、かつ回収時に失われた残りの当初のN - Pケーブルの量を追加的に置き換えるために余分の長いN - P予備ケーブルが適切に切り取られる可能性がある。

【0048】

本発明の修理方法はまた、ケーブルに接続されたリピータで故障が生じる場合に勾配整合型ケーブル・システムを修理するのに使用されることも可能である。このタイプの修理では、回収された故障発生リピータに置き換えるために交換用リピータが使用される。交換用リピータは、上述したような修理リピータの接続と同様の方式で交換用ケーブル部分の一方の端部に接続されることが可能である。

10

【0049】

図21に示したような交換用ケーブル部分30の一実施形態では、修理リピータ50が交換用ケーブル部分30の一方の端部に設置され、交換用リピータ70が他方の端部に設置される。交換用ケーブル部分はまた、修理リピータを備えないで交換用リピータを含むことも可能である。この好ましい実施形態では、修理リピータ50は当初の区画の左部分に接続され、そこでは損失は当初の区画の右部分のそれよりも少ない。LBO値は、ケーブル区画1とケーブル区画3の損失をそれらが修理される前にあったのと概ね同じに維持し、かつケーブル区画2の損失をケーブル区画損失の公称設計値に概ね等しく維持し、その結果システムの伝送スペクトルの端から端までの利得形状が修理による変化を名目上受けずに保たれることを確実化するように選択されることが好ましい。算出されたLBO損失値のうちの1つまたは複数が負であるいくつかのケースでは、各々のファイバ経路に関する3つの区画の合計損失が、3つの区画の理想的合計損失に概して等しいことが好ましい。ある方法による、理想的LBO値を算出するための式が下記でさらに詳細に述べられる。

20

【0050】

故障を生じたリピータを有するケーブル・システムを修理するとき、理想的なLBO値を計算するための式は修理の筋書きによって決まる。上記で検討した修理で、スプライス損失値がファイバ・タイプ依存性であるので、伝送の2つの方向すなわち左から右（「東向き」）と右から左（「西向き」）について別々の式が導き出される。4つのリピータ交換の修理の筋書きは除去されるリピータの両側にどのようなタイプのケーブル区画があるかによって決まると考えられる。図22～25を参照すると、4つのリピータ交換の修理の筋書きは次の通りであり、すなわち（1）2つの正規のケーブル区画の間に配置されたリピータの除去（図22）、（2）2つの補償ケーブル区画の間に配置されたリピータの除去（図23）、（3）左に正規の区画を備え、右に補償区画を備えたリピータの除去（図24）、および（4）左に補償ケーブル区画を備え、右に正規のケーブル区画を備えたリピータの除去（図25）である。下記に述べられる損失の計算は、正規の区画から除去されるケーブル・タイプだけがN - Pケーブルであるという仮定、および補償区画内の等化器を回収する必要がないという仮定に基づいている。しかしながら、これは本発明の制限であるとは考えられない。

30

【0051】

図26を参照すると、筋書き3について損失と理想的LBO値の計算がさらに詳細に述べられている。図26は、交換用リピータ70と修理リピータ50に付随する交換部分内のLBOの挿入に伴うスプライスを含み、残りの当初の左部分に分かっているスプライス損失を含む、完了したリピータ交換の修理を示している。ファイバのスプライス損失（dB）は上記で規定される。

40

【0052】

LBO損失がない（しかしLBOを導入するために必要な2つのスプライス損失を含む）ことを仮定すると、修理された区画の損失は次のように計算される。

東向き：[$L_{pe} \alpha_p + L_{ne} \alpha_n + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + (2S_p + B_{n/p} + S_{n/p} + 2S_{n/L} + 4S_{p/L} + S_n) + R_{pe} \alpha_p + E_R] dB$ 式24

50

西向き：[$L_{nw} \alpha_n + L_{pw} \alpha_p + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (B_{n/p} + S_n + S_n / p + 2 S_p + 5 S_p / L S_n / L) + R_{pw} \alpha_p + E_R] d B$ 式 2 5
 【 0 0 5 3 】

ここで α_p と α_n は P および N のファイバの減衰度 $d B / k m$ であり、 E_R は等化器 (G E J または S C U) または中間区画の L B O のいずれか一方が補償区画にある場合のこれらの等価平坦損失を表わし、 L_{pe} 、 L_{ne} 、 L_{nw} 、 L_{pw} 、 R_{pe} および R_{pw} はそれぞれ左 - 東向き - P、左 - 東向き - N、左 - 西向き - N、左 - 西向き - P、右 - 東向き - P、および右 - 西向き - P のファイバ経路の長さ ($k m$) である。

【 0 0 5 4 】

交換されたりピータが両側に補償区画を有する筋書き 2 の修理 (図 2 3 参照) については、3つの新たな区画に関する修理後の損失 (L B O 損失を無視) は次のように計算されることが可能である。 10

東向き：[$L_{pe} \alpha_p + E_L + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + (S_p + S_n / p + S_n / L + 5 S_p / L) + R_{pe} \alpha_p + E_R] d B$ 式 2 6

西向き：[$L_{nw} \alpha_n + E_L + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (S_p + S_n / p + S_n / L + 5 S_p / L) + R_{pw} \alpha_p + E_R] d B$ 式 2 7

【 0 0 5 5 】

ここで E_L と E_R は等化器または左もしくは右の中間区画 L B O がいずれかの補償区画に配置された場合のこれらの等価平坦損失を計上する。

交換されたりピータが両側に正規のケーブル区画を有する筋書き 1 (図 2 2 参照) については、3つの新たな区画に関する修理後の損失 (L B O 損失を無視) は次のように計算される。 20

東向き：[$L_{pe} \alpha_p + L_{ne} \alpha_n + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + (3 S_p + S_n / p + 2 S_n / L + 4 S_p / L + 2 B_{n/p} + S_n) + R_{pe} \alpha_p + R_{ne} \alpha_n] d B$ 式 2 8

西向き：[$L_{nw} \alpha_n + L_{pw} \alpha_p + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (3 S_p + S_n / p + 4 S_p / L + 2 S_n / L + 2 B_{n/p} + S_n) + R_{pw} \alpha_p + R_{nw} \alpha_n] d B$ 式 2 9

【 0 0 5 6 】

除去されたりピータが左に補償区画を有し、右に正規の区画を有する筋書き 4 の修理 (図 2 5 参照) については、3つの新たな区画に関する修理後の損失 (L B O 損失を無視) は次のように計算される。 30

東向き：[$L_{pe} \alpha_p + E_L + Y_{pe} \alpha_p + Y_{ne} \alpha_n + (S_n / p + 2 S_p + S_n / L + 5 S_p / L + S_n + B_{n/p}) + R_{pe} \alpha_p + R_{ne} \alpha_n] d B$ 式 3 0

西向き：[$L_{pw} \alpha_p + E_L + Y_{nw} \alpha_n + Y_{pw} \alpha_p + (2 S_p + S_n / p + S_n + 4 S_p / L + 2 S_n / L + B_{n/p}) + R_{pw} \alpha_p + R_{nw} \alpha_n] d B$ 式 3 1

【 0 0 5 7 】

範例の実施形態では、2つの追加りピータの各々について判定されるべき3つの L B O 値が存在する。L B O 値は、3つの新たなケーブル区画内の各々の経路の正味の損失を公称のケーブル区画損失に等しく保つように選択されることが好ましい。しかしながら補償区画については、補償区画によって供給される等化機能が理由となって、これらの区画を当初の区画の損失値に付け足すことが好ましい。計算が負の L B O 値を結果的に生じさせる場合では、L B O はゼロに設定され、同じ経路と方向にある別の L B O 値が、3つの新たなケーブル区画に関する正味の損失が3つの区画の望ましい損失の合計となるように再調整される可能性がある。もしも L B O 値がゼロであり、かつ L B O が挿入されないならば、正確な L B O 値の判定に L B O の挿入に伴うスプライス損失の排除と1つの直接スプライスの追加が計上されることが好ましい。上記の式と計算は本発明の一実施形態に関する範例であり、本発明を実施するために他の式と計算が使用されることは可能である。 40

【 0 0 5 8 】

故障を生じたりピータを有するケーブル・システムを修理する方法では、交換用ケーブル部分に使用される予備ケーブルの長さは、概して、上述したような故障をもつケーブル・システムを修理するのと同じ方式で計算される。また、当初のケーブルを切断して交換 50

用ケーブル部分を接続する工程も、概して、上述の修理方法と同じである。

【0059】

要約すると、本発明による、勾配整合型ケーブル・システムの修理の方法は、たとえ補償ケーブル区画で修理が為されるときでも修理の後の正味の端から端までのシステムの分散を両方の伝送方向で名目上不変に保つことを可能にし、新たに作製されたケーブル区画でシステムの伝送スペクトルの端から端までの利得形状が名目上不変となるように損失を確立する。

当業者による変更および代用は、添付の特許請求項による以外に制限されることのない本発明の範囲内に入ると考えられる。

【図面の簡単な説明】

10

【0060】

【図1】勾配整合型ケーブル・システム内の正規のケーブル区画の1つのファイバ対を図式的に示す図である。

【図2】ケーブル対を備えていない二重補償ブロックに関する名目上の勾配整合分散マップ（分散対ケーブル長さ）の範例を示す図である。

【図3】通常の高底ケーブル修理の操作を具体的に示す図である。

【図4】通常の高底ケーブル修理の操作を具体的に示す図である。

【図5】通常の高底ケーブル修理の操作を具体的に示す図である。

【図6】通常の高底ケーブル修理の操作を具体的に示す図である。

【図7】本発明の一実施形態による交換用ケーブル部分を図式的に示す図である。

20

【図8】本発明によって修理されたケーブル区画の一実施形態の1つのファイバ経路で正味ゼロの分散変化を具体的に示すグラフである。

【図9】本発明の一実施形態による、交換用ケーブル部分に使用されるN型およびP型ファイバの長さを具体的に示す概略図である。

【図10】本発明の別の実施形態による、修理リピータを含む交換用ケーブル部分を図式的に示す図である。

【図11】正規のケーブル区画内のケーブル除去のさまざまな修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図12】正規のケーブル区画内のケーブル除去のさまざまな修理の筋書きを具体的に示す図である。

30

【図13】正規のケーブル区画内のケーブル除去のさまざまな修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図14】正規のケーブル区画内のケーブル除去のさまざまな修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図15】N型およびP型ファイバを有する部分の修理で修理された正規のケーブル区画の一実施形態を図式的に示す図である。

【図16】補償ケーブル区画内のケーブル除去の修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図17】補償ケーブル区画内のケーブル除去の修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図18】補償ケーブル区画内のケーブル除去の修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図19】利得等化器を備えていない修理された補償ケーブル区画の一実施形態を図式的に示す図である。

40

【図20】利得等化器を有する修理された補償ケーブル区画の別の実施形態を図式的に示す図である。

【図21】本発明のさらなる実施形態による、交換用リピータと修理リピータを有する交換用ケーブル部分を図式的に示す図である。

【図22】リピータ交換修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図23】リピータ交換修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図24】リピータ交換修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図25】リピータ交換修理の筋書きを具体的に示す図である。

【図26】交換用リピータと修理リピータの両方を含む、修理されたケーブル・システム

50

の一実施形態を図式的に示す図である。

【符号の説明】

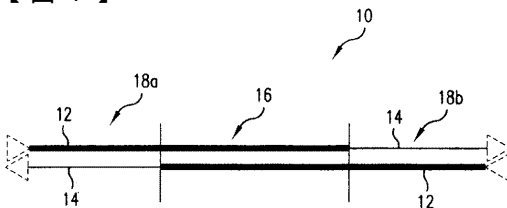
【0061】

- 10：勾配整合ケーブル区画
 12：P型ファイバ
 14：N型ファイバ
 16：中央部分
 18a, 18b：両端部分
 20：ケーブル
 30：交換用ケーブル部分
 30'：交換用ケーブル部分
 30''：交換用ケーブル部分
 32a：第1のN-Pケーブル長さ
 32b：第2のN-Pケーブル長さ
 34：Pケーブル長さ
 36a, 36b：スプライス・ボックス
 40：N型ファイバ群
 42：P型ファイバ群
 50：修理リピータ
 52a, 52b：スプライス・ボックス
 60：交換用等価器ユニット
 70：交換用リピータ
 72a, 72b：スプライス・ボックス

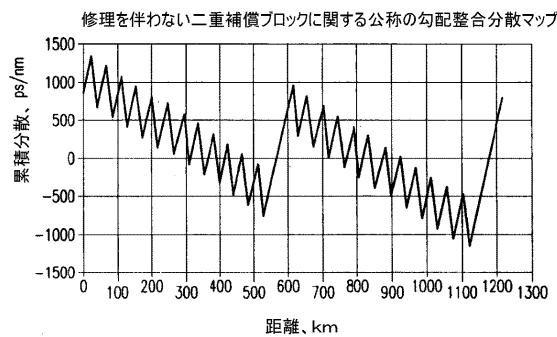
10

20

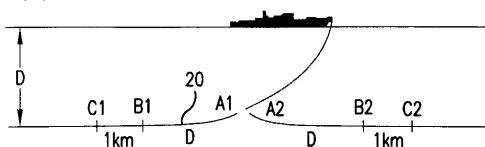
【図1】



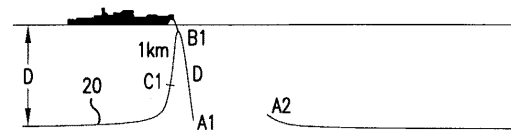
【図2】



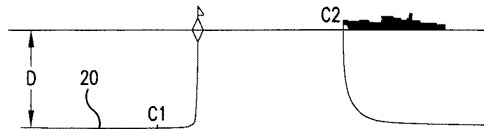
【図3】



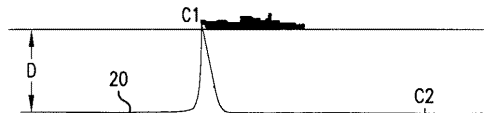
【図4】



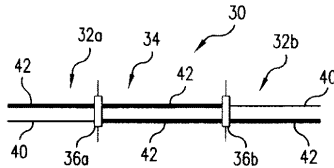
【図5】



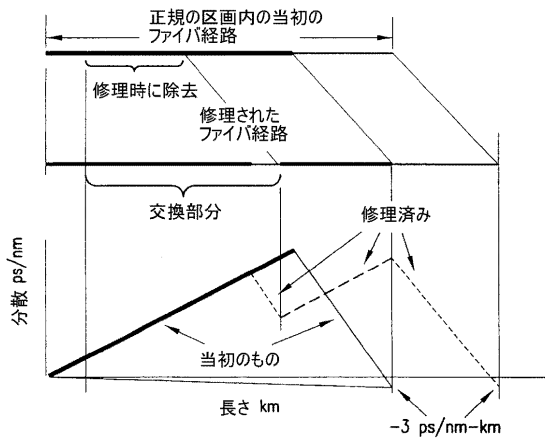
【図6】



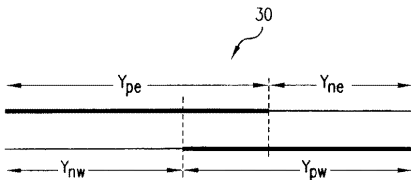
【図7】



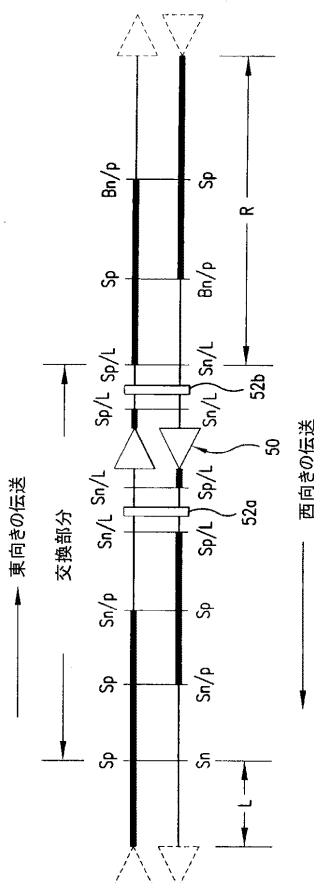
【図 8】



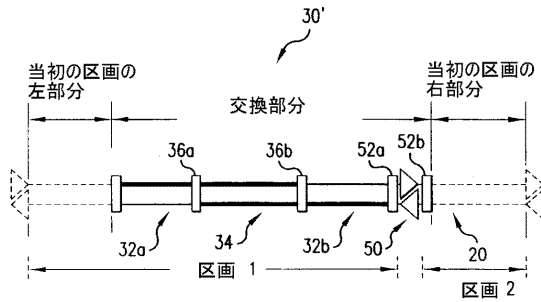
【図 9】



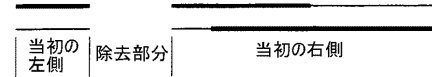
【図 15】



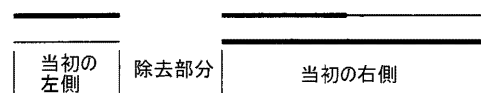
【図 10】



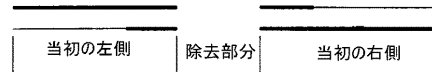
【図 11】



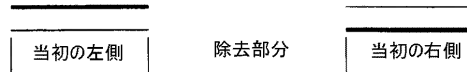
【図 12】



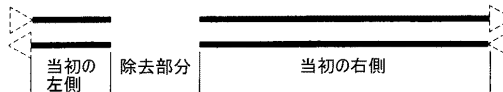
【図 13】



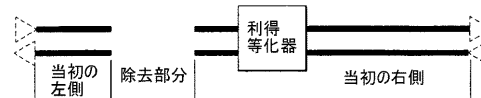
【図 14】



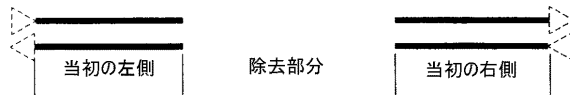
【図 16】



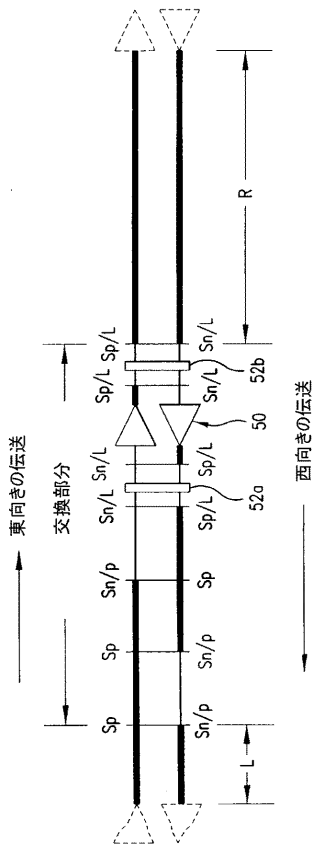
【図 17】



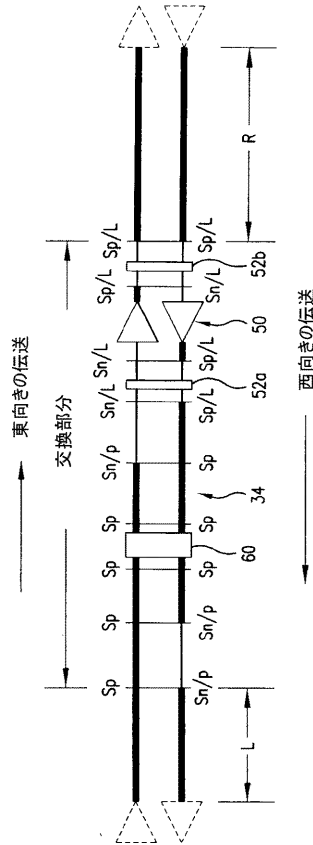
【図 18】



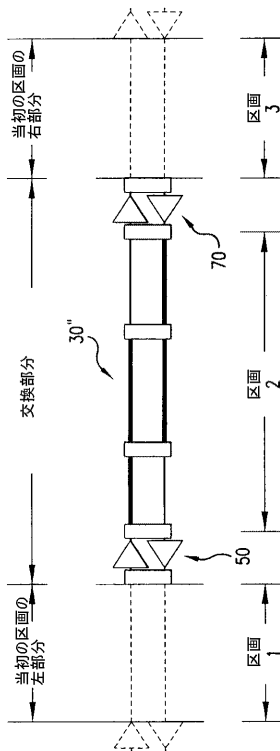
【図 19】



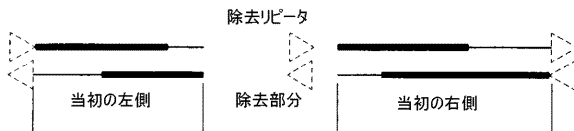
【図 20】



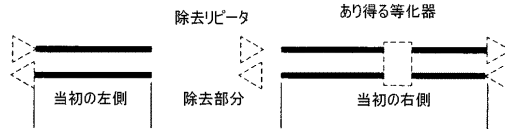
【図 21】



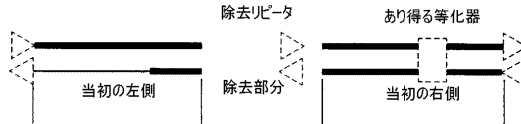
【図 22】



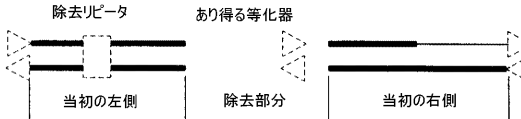
【図 23】



【図 24】



【図 25】



フロントページの続き

- (74)代理人 100091889
弁理士 藤野 育男
- (74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
- (74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
- (74)代理人 100102808
弁理士 高梨 憲通
- (74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
- (74)代理人 100107401
弁理士 高橋 誠一郎
- (74)代理人 100106183
弁理士 吉澤 弘司
- (72)発明者 ロバート エフ . グレソン
アメリカ合衆国 0 7 7 2 8 ニュージャージー , フリーホールド , ポーティッジ ドライヴ 5
8
- (72)発明者 ロバート エル . リンチ
アメリカ合衆国 0 7 7 2 2 ニュージャージー , コルツ ネック , フェアウェイ イースト 3
9
- F ターム(参考) 2H038 AA24 CA67
2H050 AD01