

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3670583号

(P3670583)

(45) 発行日 平成17年7月13日(2005.7.13)

(24) 登録日 平成17年4月22日(2005.4.22)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

HO 4 B 10/08  
 HO 1 S 3/00  
 HO 1 S 3/06  
 HO 1 S 3/10  
 HO 4 B 10/16

HO 4 B 9/00 K  
 HO 1 S 3/00 F  
 HO 1 S 3/06 B  
 HO 1 S 3/10 Z  
 HO 4 B 9/00 E

請求項の数 15 (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-571589 (P2000-571589)  
 (86) (22) 出願日 平成11年8月26日(1999.8.26)  
 (65) 公表番号 特表2002-525966 (P2002-525966A)  
 (43) 公表日 平成14年8月13日(2002.8.13)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US1999/019599  
 (87) 国際公開番号 W02000/018043  
 (87) 国際公開日 平成12年3月30日(2000.3.30)  
 審査請求日 平成13年3月27日(2001.3.27)  
 (31) 優先権主張番号 09/156,715  
 (32) 優先日 平成10年9月18日(1998.9.18)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 399047921  
 テルコーディア テクノロジーズ インコ  
 ーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 08854-4157  
 ニュージャージー州 ピスカタウェイ ワ  
 ン テルコーディア ドライブ 5ジ-1  
 16  
 (74) 代理人 100077481  
 弁理士 谷 義一  
 (74) 代理人 100088915  
 弁理士 阿部 和夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分割多重システムにおいて信号損失を検出するための方法およびシステム

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも一つのファイバ増幅器が結合されたファイバによって接続された少なくとも二つのノードを備えた波長分割多重システムにおいて、前記ノードの一つにおいてファイバ切断を検出するための方法であって、

マーカ波長を発生するステップと、

該一つのノードにおいて、前記発生したマーカ波長と近接スペクトルバンド内の異なる波長のパワー比を検出するステップと

を含むことを特徴とする方法。

## 【請求項 2】

前記検出するステップで 1 よりはるかに大きい比を示した場合、ファイバ切断がないと判断することと、

前記検出ステップでほぼ 1 に等しい比を示した場合、ファイバ切断があると判断すること

をさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記発生したマーカ波長は増幅器補償チャンネルであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 4】

モニタ点とファイバ切断の間で少なくとも一つのファイバ増幅器を有するファイバ上の

10

20

ファイバ切断を検出するためのシステムであって、

補償チャネルを第一の波長で発生するための回路と、

前記発生した補償チャネルと、異なる波長の、かつ前記補償チャネルとほぼ同一利得を有するスペクトルバンドのパワー比を検出するための回路とを含み、

前記発生するための回路および前記検出するための回路は、ファイバに沿った任意の位置で切断が検出されるようにファイバに結合されていることを特徴とするシステム。

【請求項 5】

前記検出するための回路はさらに、検出された比がほぼ 1 に等しい場合にはファイバ切断があることを示し、検出された比が 1 よりはるかに大きい場合にはファイバが無傷であることを示すための回路を含むことを特徴とする請求項 4 に記載のシステム。

10

【請求項 6】

作動光ファイバおよび予備光ファイバによって相互接続された少なくとも 2 つのノード要素と、

前記ファイバ内にある複数の増幅器と、

前記ファイバの一つにあるファイバ切断を検出する手段であって、該一つのファイバの上のマーカ波長と近接スペクトルバンド上の異なる波長のパワー比を比較する手段を備える手段と

を含むことを特徴とする波長分割多重システム。

【請求項 7】

前記増幅器はエルビウムドープ増幅器であることを特徴とする請求項 6 に記載の波長分割多重システム。

20

【請求項 8】

前記マーカ波長は前記エルビウムドープ増幅器によって与えられることを特徴とする請求項 7 に記載の波長分割多重システム。

【請求項 9】

前記ノード要素はポイントツーポイント構成で配列されており、さらに、前記検出する手段に応答して前記作動光ファイバから前記予備光ファイバにスイッチするための手段を含むことを特徴とする請求項 7 に記載の波長分割多重システム。

【請求項 10】

前記増幅器の少なくとも一つは、該増幅器が配置されているファイバに補償チャネルを挿入するための手段を含むことを特徴とする請求項 7 に記載の波長分割多重システム。

30

【請求項 11】

2 つのノード要素間に少なくとも一つの増幅器を有する波長分割多重システムにおいてファイバ切断を検出するための方法であって、

ファイバ上のモニタ点において第 1 の波長を有する第 1 のスペクトルバンドのパワーと、異なる波長を有する隣接スペクトルバンドのパワーとのパワー比を比較することを含むことを特徴とする方法。

【請求項 12】

ほぼ 1 に等しいパワー比が検出されると、前記ファイバにおけるファイバ切断を示すことを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

40

【請求項 13】

前記第 1 のスペクトルバンドはマーカチャネルを含むことを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記少なくとも一つの増幅器はエルビウムドープファイバ増幅器であり、前記マーカチャネルは該増幅器のチャネルを含み、前記隣接スペクトルバンドは前記ファイバの作動信号を含むことを特徴とする請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記少なくとも一つの増幅器はエルビウムドープファイバ増幅器であり、前記第 1 のスペクトルバンドは該増幅器の増幅自然誘導放出を含み、前記隣接スペクトルバンドは前記

50

ファイバの作動信号を含むことを特徴とする請求項13に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(発明の分野)

本発明は、波長分割多重(WDM)システムに関し、特に、WDMシステムにおける障害検出に関する。

【0002】

(発明の背景)

WDM技術は、通信ネットワークにおけるファイバの消耗について、新しくファイバを実装する必要なく、ネットワークのデータ処理量を増大することによって、コスト効果の高い解決法を提供してきた。WDMシステムでは、いくつかの入力信号のそれぞれは、WDMノードまたはネットワーク要素に入り、通常1550ナノメートル(nm)の帯域で割り当てられるか、または特定の波長に変換される。波長変換後、それぞれの個々の信号波長またはチャネルは、波長分割多重方式によって多重化され、同じファイバ上に送信される。WDM技術がネットワーク解決法として真に実行可能であるために、WDMシステムは、また、任意のネットワークで生じる障害に耐えることができなければならない。ネットワーク存続の問題は、WDMシステムが単一ファイバ上で転送するマルチギガビットのデータなど大量の消費者データを考慮すると、ファイバの損失は破局的で出費がかさむことになり得るので、WDMシステムではさらに重要性を帯びることになる。

【0003】

WDMネットワークの存続に関する懸念に回答して、自己回復WDMリングおよびポイントツーポイント多様保護体系(point-to-point diverse protection architectures)が提案されてきた。自己回復リングは、物理的リングトポロジのノードを帯域幅共有および自己回復能力と接続して、ネットワークの欠陥を克服するネットワーク体系である。これを記述するために、リングの各ノードは、ファイバを介して他のノードに接続されている。ファイバ切断またはノードの欠陥など他の障害が生じる場合、リングは自動的に予備(standby)ファイバにスイッチ(switches)し、ある場合には予備(standby)電子機器にスイッチする。同様に、ポイントツーポイント多様保護システムは、自動的に消費者データを異なる経路に沿って経路指定されている予備ファイバにスイッチすることによって、ファイバケーブルの切断からネットワークを保護する。どちらの場合でも、自動的な保護スイッチングは、光学的に、すなわち受信光信号を予備ファイバにスイッチすることによって、または電氣的に、すなわち受信光信号の電氣的な表示をスイッチすることによって実施することが可能である。WDMネットワークの自動保護スイッチングは、純粋な同期式光ネットワーク(SONET)保護と比較して、かなりコストを削減することを保証する。しかし、自動保護スイッチングをWDMシステムで使用することができるようになる前に、いくつかの基本的な問題に取り組まなければならない。

【0004】

WDMシステムに対する1つのそのような基本的な問題は、光学的に増幅されたリンクで、ファイバ切断を検出することである。ファイバ切断または信号損失の検出は、通常ノード間のリンクはエルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)によって光学的に増幅されているので、WDMシステムでは難しい問題であることが判明している。一般に、多重化後およびネットワークファイバ設備またはリンク上への送信前に、各WDMノードで、信号はEDFAによって増幅されている。同様に、受信後、各WDMノードで信号は再び他のEDFAによって増幅され、その後デマルチプレックスされる。送信器と受信器の距離に応じて、1つまたはいくつかの追加のEDFAを、ファイバ経路に沿って、特定の点に配置することも可能である。ファイバ切断と光学モータまたは受信器の距離および増幅器の数が増大するにつれ、光経路の各EDFAについて、EDFAからの増幅自然放出(amplified spontaneous emission)が増大する。特に、飽和EDFAに光入力信号が存在しないとき、増幅自然放出は、いくつかのEDFAを経た

10

20

30

40

50

後十分に増大する可能性があり、ファイバ切断が検出されないことがあり得る。実際、増幅自然放出のために、合計の光パワーの測定またはスペクトルバンド内の光パワーの測定でさえ、あるファイバ切断を測定するには不十分である。

#### 【0005】

合計の光パワーの検出は、EDFAに対するファイバ切断の位置および検出の閾値に応じて、あるファイバ切断を検出できないことがある。いくつかのファイバリンクまたはスパン上では、その範囲を超えてノードまたはネットワーク要素にEDFAはないが、他の上では、複数のEDFAが存在することが可能である。図1は、WDMリングにおける従来の作動ファイバ/保護ファイバの対を表し、保護スイッチ121と122を有するネットワークアドロップ要素(add-drop elements)120を含む。特に、図1に示したように、リンク110上には、2つのアドロップ要素120間の反時計回りと時計回りの両方向に、4つのEDFA199がある(ここで、図1はリングを示しているが、この議論はポイントツーポイント体系にも関係することに留意されたい)。サブリンク111上で生じるファイバ切断は、モニタ点150で合計光パワーがゼロになるので、モニタ点150<sub>1</sub>で容易に検出することができる。しかし、サブリンク112、113、114、および115で生じるような、より離れたファイバ切断に対し、インタリーブしているEDFA199によって与えられる増幅自然放出は、モニタ点150<sub>1</sub>に光パワーをもたらす。

10

#### 【0006】

インタリーブしているEDFA199の数に関して、モニタ点150<sub>1</sub>で検出したパワーの間の関係を、図2に示す。図2は、ファイバ切断に関する問題を示す波長領域のシミュレーションである。シミュレーションは、特定のEDFAの特徴と間隔を仮定している。他のEDFA設計に対する結果は、定量的には異なる可能性があるが、図2に示す定性的な特徴は同じである。図2に示すように、ファイバ切断がないとき、モニタ点150<sub>1</sub>の合計の光パワーレベル201は、約18 dBmである。ファイバ切断がサブリンク112上で生じる場合、すなわちモニタ点150<sub>1</sub>の前にEDFA199<sub>1</sub>が1つある場合、点150<sub>1</sub>で検出される合計の光パワー202は、0.5ミリ秒(ms)後、約4 dBmに低下する。一方、点150<sub>1</sub>とファイバ切断の間に2つ以上のEDFAがある場合、すなわち、サブリンク113、114、または115にファイバ切断がある場合、合計光パワーは、ファイバが無傷などときの合計光パワーの2 dB以内に戻った。実際、点150<sub>1</sub>とファイバ切断の間に3つまたは4つのEDFAがある場合、合計光パワー204または205は、4 dBを超えて変動せず、0.5 ms以内で合計光パワーレベル201に戻った。パワーレベル203からわかるように、2つのEDFAがあるときも、パワーレベルはほぼパワーレベル201に戻った。

20

30

#### 【0007】

試験台上で実施した測定により、図2に示した結果が確認された。シミュレーションと試験台での測定に基づき、簡潔に光パワーを監視してWDMシステムでファイバ切断を検出することに関して、次の結論を導き出した。ファイバ切断とモニタ点の間にEDFAがないとき、ファイバ切断は正確に識別することができる。ファイバ切断とモニタの間にEDFAが1つある場合、ファイバ切断を検出するために使用する検出閾値を注意して選択しなければ、正確なファイバ切断の識別は達成することができない。モニタ点とファイバ切断の間に3つ以上のEDFAが配置されているとき、ファイバ切断の検出を考慮した閾値を設定することはできない。

40

#### 【0008】

また、ファイバの合計光パワーを検出する代わりに、より狭いスペクトルバンド内でパワーを監視して、モニタ点150でファイバ切断を検出する調査を行い、これが不十分であることを見出した。これに関して、ネットワーク要素の出力で、追加のマーカ波長をファイバに挿入した。マーカのパワーが十分高い場合、ファイバ切断を示すには、簡単なマーカ検出で十分である。しかし、マーカ波長の高いパワーは、信号波長に対しより低いEDFA利得となり、したがって望ましくない。一方、マーカが信号波長と同程度のパワー

50

レベルにある場合、図3に示すように、マーカにより、モニタの前に唯一のEDFAを有する切断に対し、通常のパワーレベル301からより低いパワーレベル302に変化することを検出することが可能である。しかし、マーカのみでは、パワーレベル303、304、および305によって示すように、3つ以上のEDFAを経た後に、ファイバ切断を検出するのに必要なコントラストを与えることにはならない。非常に狭い帯域のフィルタ（フィルタ幅が0.2nm未満）を使用してスペクトルバンドを発生する場合、10dBのコントラストは可能であるが、そのようなフィルタは、マーカ波長のろ過に対して非現実的な要求を提示する。しかし、狭帯域フィルタの幅は、試験の設定に依存することに留意されたい。

**【0009】**

当技術分野では、他の方法も知られている。そのような方法の1つは、J. L. Zyskindによる「Method of Identifying Faults in WDM Optical Networks」という名称の米国特許出願第6,008,915号に記述されている。その方法では、Zyskind他は、追加のレーザを使用して、信号チャンネルに沿って、WDMシステムのファイバに追加のモニタ（monitoring）チャンネルを挿入している。次いで、モニタチャンネルのパワーとファイバ経路に沿って使用したEDFAによる増幅自然放出を監視および比較して欠陥を検出する。すなわち、同じ方向のモニタチャンネルと増幅自然放出に関するパワーの変化は、例えば、両方とも増大または低減し、信号チャンネルが除去または追加されていると解釈される。一方、反対方向のモニタチャンネルと増幅自然放出に関するパワーの変化は、欠陥を示す全体の損失と解釈される。Zynkind他の方法は、実現するために、モニタ用レーザ、カブラ、および狭帯域フィルタを含む追加の構成要素を必要とする。より重要なことは、チャンネルの数が追加または除去されるにつれ、モニタチャンネルのパワーレベルと増幅自然放出が変化し、それにより欠陥を検出する閾値レベルが変化することである。また、Zynkindの方法は、かなり高性能の検出器を必要とし、生じ得る上流損失と信号チャンネルに対し、5つの異なる場合を追跡し続けることが必要とされる。したがって、おそらくこの方法は、意思決定ソフトウェアを必要とする。

**【0010】**

「A Novel In-Service Surveillance Scheme for Optically Amplified Transmission Systems」という名称の論文（1997年、11月にIEEE Photonics Technology Letters、Vol. 9、No. 11に発表）で、Chan、Chun-Kit他は、WDMシステムで欠陥を検出する他の従来の手法を記述している。Chan他は、光源としてEDFAの平坦でない増幅自然放出スペクトルを使用し、欠陥についてファイバチャンネルを監視する。Chan他の方法によって、ファイバブラッグ格子は、送信器に続く最初のEDFAを除き、ファイバ経路に沿って各EDFAの入力端に近接して配置される。次いで、各ファイバブラッグ格子は、未使用の自然放出スペクトル内で顕著な波長をろ過する。各ろ過された波長は、ファイバブラッグ格子の直前にある各増幅器に割り当てられる。ファイバブラッグ格子は、ノッチフィルタとして動作するので、ファイバブラッグ格子の上流で生じるパワー損失は、そのファイバブラッグ格子の顕著な波長でのスペクトルパルスとなる。この方法によって、任意の2つの増幅器間のファイバスパンにファイバ切断を局在化することができる。この方法は、追加のレーザの使用を必要としないが、追加の構成要素としてファイバブラッグ格子を必要とする。また、この方法は、高性能なスペクトルモニタリングを必要とする。また、この方法は、ファイバブラッグ格子とその割り当てられた増幅器の入力との間で生じるファイバ破損を検出することができない可能性があり、ある増幅器の部分的な欠陥も検出できない。

**【0011】**

上記の全ての手法は、増幅器に対するファイバ切断の位置または増幅器の数に関係なく、追加の構成要素を必要とするか、または全てのファイバ切断を検出することができない。

**【0012】**

10

20

30

40

50

## (発明の概要)

本発明は、ファイバ切断とモニタ点の間に配置されたEDFAの数に関係なく、光ネットワークにおいて、ファイバ切断をあいまいでなく検出するための方法およびシステムを提供する。

## 【0013】

本発明によれば、WDMネットワークの部分を形成するネットワーク要素の出力でマーカ波長が検出される。次いで、マーカのパワーレベルを、無信号(non-signal)波長領域のパワーレベルと比較する。無信号波長領域のパワーレベルに対するマーカ波長スペクトルバンドのパワーレベルの比が大きい場合、ファイバは無傷である。対照的に、無信号波長領域とマーカ波長スペクトルバンドのパワーレベルの比がほぼ1に等しい場合、ファイバ切断が存在する。

10

## 【0014】

本発明は、適度な量のコストと複雑さのみをWDMネットワークに追加し、WDMリング体系の各ネットワーク要素で、わずかに1つの追加レーザを必要とすることによって、ファイバ切断をあいまいでなく識別するのに十分な情報を提供する。さらに、本発明によれば、追加のレーザは、あるリングおよびポイントツーポイント構成では必ずしも必要としない可能性がある。さらに、WDMネットワークの構成に関係なく、本発明は、ファイバ切断を測定するために、2つの近接するスペクトル領域で、パワーの差を測定することができる回路のみを必要とする。

## 【0015】

本発明によれば、ファイバ切断とモニタ点の間のEDFAの数に関係なく、ファイバ切断を検出することができ、それにより偽警告(false alarms)または偽否定(false negatives)を発生することが排除される。偽否定の定義は、信号損失がないときに、信号損失が検出されるということである。

20

## 【0016】

## (詳細な説明)

図4を参照すると、ファイバ切断とモニタ回路450の間に配置されたEDFAの数に関係なく、ファイバ切断を検出するモニタ装置または回路450を有するWDMリングの例示的な実施形態が示されている。リングは、内部作動ループ419と保護ループ420によって接続されている保護スイッチ(protectors)421と422を有する複数のアドドロップネットワーク要素400を含み、各ループは、複数のEDFA499を含む。図4に示すように、信号がサブリンク411でWDMノードまたはネットワーク要素400<sub>1</sub>に入るとき、信号の部分が選択され、モニタ装置または回路450<sub>1</sub>に供給される。回路450<sub>1</sub>は、2つの近接スペクトルバンドでパワーを検出し、2つのスペクトルバンドパワーの差を比較し、比較により、両方のスペクトルバンドのパワーが、ほぼ1に等しいことを示した場合、フラグを立てることができる。本発明によれば、図4に示すように、WDMネットワーク要素400<sub>1</sub>は、2つのモニタ回路450<sub>1</sub>と450<sub>2</sub>を含む。回路450<sub>1</sub>は、図に示すように作動ループ419を監視し、一方回路450<sub>2</sub>は保護ループ420を監視する。回路450<sub>1</sub>に供給されない信号の部分はデマルチプレックスされ、除去されるか、またはノード400<sub>1</sub>を通過して境界決定ノード400<sub>2</sub>に供給される。

30

40

## 【0017】

モニタ回路450<sub>1</sub>と450<sub>2</sub>の他に、ネットワーク要素400は、外部レーザ460を含むことも可能であり、マーカ波長または信号を外側の保護ループ420上に挿入する。図4の外側のループまたは保護リング420上の信号は、図に示すように反時計回りに伝播する。レーザ460は、一方向経路にスイッチしたリングなどのリング構造において必要であり、このようなリングでは、作動ファイバ上に欠陥があるまで、保護ファイバが信号を搬送しない。つまり、通常の動作中に、全ての信号が、図4の作動ファイバ上でのみ、または内部ループ420上でのみ時計回り方向に伝播する場合、レーザ460は保護ループ419において必要となる。他方、双方向ラインにスイッチしたリングなど、通常の

50

動作中に両方のファイバが信号を搬送するリング構造では、追加のレーザは必要でない。

#### 【0018】

図5を参照すると、それぞれ複数のEDFA599を含んでいる、作動ファイバ566と568および保護ファイバ567と569によって相互接続されている終点(end point)ネットワーク要素500<sub>1</sub>と500<sub>2</sub>を含む、多様な経路のポイントツーポイント構造を有する本発明の例示的な実施形態が示されている。各ネットワーク要素500のモニタ回路550は、本発明によりファイバ切断を検出する。本発明のこの実施形態では、WDMネットワーク要素500は、リング構造の場合のように、追加のレーザを必要としない。これは、同じ信号が、作動ファイバ566と保護ファイバ567の両方で送信されるためである。図4のリング構造の実施形態の場合のように、モニタ回路550は、2つの近接スペクトルバンドでパワーを検出し、2つのスペクトルバンドのパワーの差を比較し、両方のスペクトルバンドのパワーがほぼ1に等しい場合、フラグを立てることができる。ノード500<sub>1</sub>の回路550が、作動ファイバ566上でファイバ切断または信号の損失のフラグを立てるとき、ノード500<sub>1</sub>は、選択スイッチ577を介して信号を保護ファイバ567にスイッチする。図5に示したものは対照的に、ホットスタンバイ信号が予備(standby)チャンネルを介して送信されない場合、通常動作中に保護ライン上で追加のレーザを必要とする可能性がある。

10

#### 【0019】

図4と図5に示す本発明の他の態様は、ファイバ経路に沿って固定利得の、すなわち利得を固定したEDFA490と590を使用することである。固定利得または固定増幅器は、補償または安定化チャンネルとして知られている、余剰チャンネルを送信信号に挿入することによって一定レベルに保たれている出力パワーを有するEDFAである。補償チャンネルを使用して、チャンネルを信号から除去する度に、送信チャンネルの数を数え、残りのチャンネルのパワーを増大しなければならないことを回避する。図4を参照すると、補償チャンネルを有し、並びに光増幅器回路499を有する固定利得EDFA490は、補償チャンネルをファイバに挿入するために使用する回路498をも含む。補償チャンネルは、主に、信号またはいくつかのチャンネルがファイバから除去されるネットワークの点で、すなわち波長分割多重アドドロップマルチプレクサ(WADM)において、一定な合計パワーレベルを維持するために使用される。補償チャンネルは、通常、チャンネルの利得にほぼ等しい利得を有する波長で伝送される。補償チャンネルは、2つのチャンネルの間にあるか、またはEDFA通過帯域の平坦な利得部分のすぐ内側にあるスペクトル領域とすることが可能である。補償チャンネルのパワーレベルは、チャンネルがWADMで除去される度に、またその反対の度に、一定の出力パワーを保つように増大する。

20

30

#### 【0020】

図6Aを参照すると、ファイバが無傷であるとき、ファイバ切断または信号の損失を検出するために本発明により使用するマーカ波長または補償チャンネル620およびスペクトルバンド630の例示的な実施形態が図示されている。また図6Aには、WDMシステムで情報を転送するために使用する、信号波長またはチャンネル640が示されている。本発明によれば、マーカ波長620は、以下で議論する任意の方法で発生することができる。スペクトルバンド領域630は、マーカ波長領域620に十分近接するように選択され、したがって正確な比較を行うことができる。また、スペクトルバンドを作動信号チャンネル640から十分遠く選択し、フィルタを用いて分離することができる。

40

#### 【0021】

固定利得増幅器を使用する場合、何ら設備を追加せず、または固定利得EDFAの補償チャンネルのパワーを変調あるいは増大せずに、ファイバ切断または信号の損失を検出することが可能であることを見出した。本発明によれば、補償チャンネルと無信号(non-signal)スペクトルバンドの間のパワーレベル比または差を監視する場合、ファイバ切断を確実に検出することが可能である。図6Aに示すように、ファイバが無傷のとき、マーカまたは補償信号620および作動信号640がスペクトルに存在する。スペクトルバンド630は、増幅誘導放出(amplified stimulated emiss

50

ion)によって与えられるパワーからなり、線631と632によって形成された領域内に拘束されている。本発明のこの態様によれば、スペクトルバンド630は、マーカ波長620とスペクトルバンド630の両方の増幅誘導放出がほぼ等しいように選択される。したがって、ファイバが無傷のとき、図6Aに示すように、マーカ620とスペクトルバンド630のパワー比は、1よりはるかに大きい。一方、図6Bに示すように、ファイバ切断または信号の損失を生じる何らかの他の事象があるとき、マーカ波長620と近接スペクトルバンド630のパワー比は、ほぼ1に等しい。マーカ波長620として補償チャンネルを使用することにおいて、あらゆる設備を追加することを回避し、潜在的な利得の変化を削除し、マーカ波長620を発生する他の手法で生じる可能性のある、信号チャンネルの混変調の可能性を削除する。

10

**【0022】**

マーカ波長620は、ネットワーク要素内でEDFAに光利得固定を使用する場合、およびEDFAを固定することを獲得するために使用する光パワーが、次のネットワーク要素に伝播することが可能である場合、作動ファイバに対し容易に発生することができる。したがって、図4を参照すると、WDMのノード400において、マルチプレクサ430に続いて配置されている増幅器が固定利得増幅器490<sub>1</sub>である場合、ファイバリンク上に挿入された増幅器491<sub>1</sub>と491<sub>2</sub>は、固定利得EDFAである必要はない。したがって、本発明は、EDFAを固定することを獲得するために使用した光パワーが、ループの次のノード400に伝播することが可能である場合、WDMノード400においてのみ、固定利得EDFAを必要とする。この本発明の利点は、図5に示すポイントツーポイント構造に同じように適用することができる。また、図4で、増幅器490<sub>1</sub>が固定利得増幅器であることを要求する代わりに、ネットワーク要素400<sub>1</sub>の出力で、マーカ波長を挿入することがより便利である可能性があることに留意する。したがって、ネットワーク構造は、WDMノードの設計に依存しない。すなわち、適切に固定利得EDFAを配置することによってマーカ波長を挿入することは、ネットワークの計画者の判断に委ねられることになる。

20

**【0023】**

一方、本分析は、固定利得増幅器補償チャンネルを使用することによってマーカ波長620を発生することは、保護ファイバが欠陥状態中に信号を搬送するWDMリング用の保護ファイバ上では、可能ではないことを見出した。マーカチャンネルを発生することは可能であるが、保護スイッチングを必要とする全ての欠陥がこの方法で検出されるわけではなく、ある場合では、必要でないときに保護スイッチングが初期設定される。図4に示すように、入力および出力保護スイッチの間で、示しているように配置された追加のレーザ460は、リング構造に依存する保護ファイバ用の各ネットワーク要素において、必要である可能性があることを見出した。

30

**【0024】**

本発明の他の態様によれば、図6Cに示すように、補償チャンネルが利用可能でない場合、すなわち固定利得EDFAを使用していない場合、線649と651の間の領域として表されている信号波長領域650と、線634と636の間の領域として表されている近接スペクトルバンド635の比を使用して、ファイバ切断を検出することが可能である。再び、上述したように、ファイバが無傷のとき、波長領域650とバンド635のパワー比は、1よりはるかに大きい。一方、ファイバ切断があるとき、図6Bのスペクトルが得られ、領域650とバンド635の比、またはより正確には波長範囲の比はほぼ1である。我々は、この検出方法は、実際の信号波長が使用されていて、トラフィックを搬送しているスパンに限定されていることを認識している。すなわち、波長領域650でパワーがないスパンでは、領域635とバンド650のパワー比は、ファイバが無傷であっても、ほぼ1である。この本発明のこの態様に対する欠点は、補償チャンネルを伝播させる場合を助長する。もちろん、固定利得EDFAを備えず、したがって補償チャンネルを備えない光ネットワークでは、ネットワークオペレータは、リンクが顧客サービスに関して機能するまで、ファイバ切断に対してリンクを監視するために使用することができる、キープアライ

40

50

ブ信号として信号波長を発生することが可能である。また、図6Cで使用した手法は、偽否定を発生することが可能である。しかし、ネットワークオペレータは、キープアライブ信号を発生して、偽否定の発生を防ぐことが可能である。

#### 【0025】

図7は、本発明による、図4のサブリンク413でのファイバ切断のシミュレーションを示す。図7に示すように、ファイバが無傷のとき、近接スペクトルバンド730に対するマーカチャネル720のパワーレベルの比は、1よりはるかに大きい。したがって、マーカチャネル720とスペクトルバンド730のパワーの差710は、デシベル単位で、ゼロよりはるかに小さく、約-35dBである。一方、サブリンク413にファイバ切断があるとき、パワー比は1に近く、パワーの差710はゼロdBに近い。図4の他のサブリンクで、ファイバ切断に対し同様の結果が得られた。本発明によれば、ファイバ切断は100 $\mu$ sの時間枠内で検出可能であり、Public Switched Telecommunications Networkで破局的な欠陥を検出するために割り当てられる10msの時間枠内では十分に検出可能である。ファイバ切断と新しいパワーの確立の間の時間は、図3に示すように、約250 $\mu$ s未満であることを必要とすることに留意されたい。したがって、本方法によって、対照がよりはっきりしているだけでなく、より速くスイッチが行われる。図7の結果は、マーカ730とバンド720が、ほぼ等しい利得を有することを仮定している。マーカ730とバンド720が異なる利得を有する場合、パワー比は異なる可能性があるが、パワー比の十分に大きな差は、多数のEDFAに対し検出可能である。

10

20

#### 【0026】

作動中、補償チャネルまたはマーカ620のパワーを増大して、より良好なコントラストを達成すること、または単に補償チャネルを使用してファイバ切断を検出することを考慮すべきであることに留意した。補償チャネルのパワーを増大すると、コントラストが増大する可能性があるが、同時に、固定利得増幅器の利得と連鎖内のチャネルあたりのパワーを低減する可能性があることを見出した。代替として、EDFAを動作点に対して再設計することが可能であり、そうすると、補償チャネルのパワーが増大するとき、利得が一定に保たれる。さらに、増幅器が設計されているよりも大きい同等入力を有する固定利得EDFAによる利得傾斜を回避するように注意しなければならない。作動信号640を減衰し、その後EDFAに入れることによって、利得の傾きを克服することができることを見出した。固定利得EDFAに関する限り、減衰はいくつかのチャネルを除去することと等価であり、それにより補償チャネルのパワーを増大する。

30

#### 【0027】

上記の説明は、本発明の例である。当業者によって、本発明の範囲および精神から逸脱することなく、多くの修正および変更を実施することが可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

本発明のこれらの利点および他の利点は、添付の図面と共に、以下の詳細な説明から理解することができる。

【図1】 EDFAを使用する従来の技術のWDMリングを示す図である。

【図2】 図1に示すWDMネットワークに対し、モニタ点でファイバ切断の合計出力パワーを測定した結果である。

40

【図3】 図1に示すWDMネットワークに対し、マーカ波長の1ナノメートルの帯域で、ファイバ切断の合計パワーをシミュレーションした結果である。

【図4】 本発明による、EDFAを使用するWDMリング体系を示す図である。

【図5】 本発明による、EDFAを使用するポイントツーポイントWDM体系を示す図である。

【図6A】 ファイバが無傷であるとき、本発明による、ファイバ切断を検出するために使用する、マーカ波長と無信号(non-signal)スペクトル領域を有する、全ての光ネットワークに関するパワースペクトルの図である。

【図6B】 ファイバ切断後、本発明による、ファイバ切断を検出するために使用する、

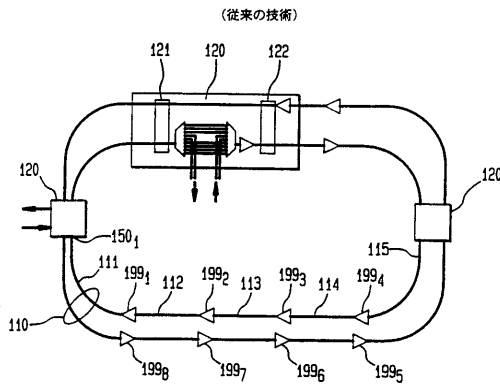
50

マーカ波長と無信号スペクトル領域を有する、全ての光ネットワークに関するパワースペクトルの図である。

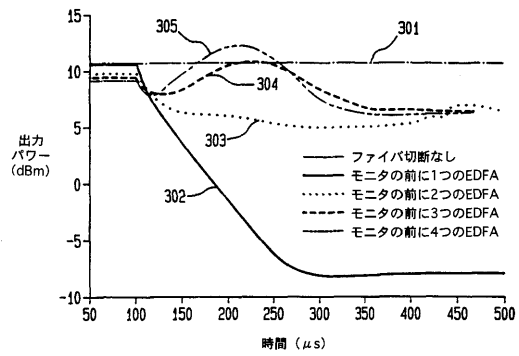
【図6C】 ファイバが無傷であるとき、本発明の他の態様による、ファイバ切断を検出するために使用する無信号スペクトル領域を有する、全ての光ネットワークに関するパワースペクトルの図である。

【図7】 マーカチャンネルと近接無信号(nearby non-signal)チャンネルにおけるファイバ切断前後の光パワーのシミュレーション結果と、本発明によるそれらのパワー比を示す図である。

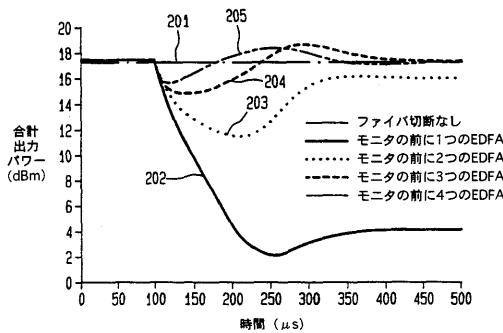
【図1】



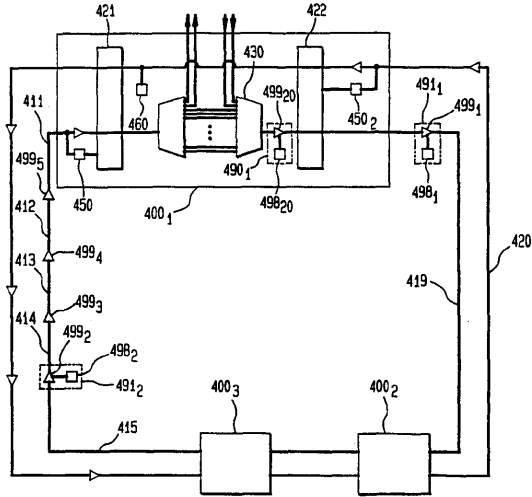
【図3】



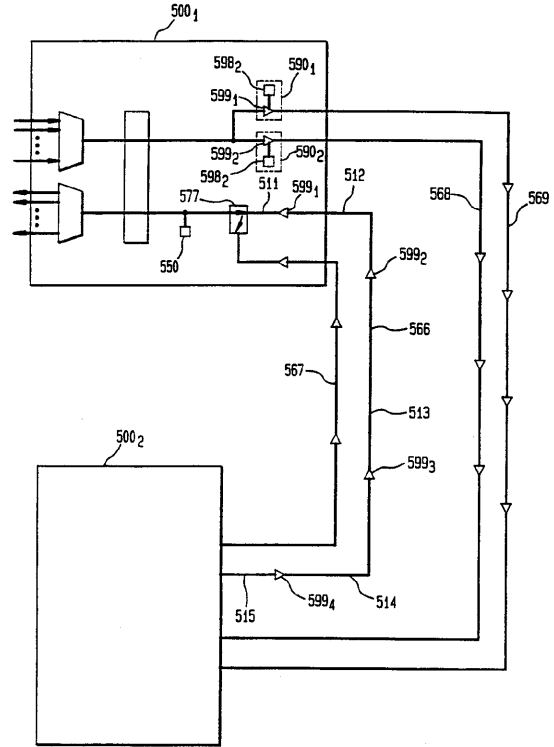
【図2】



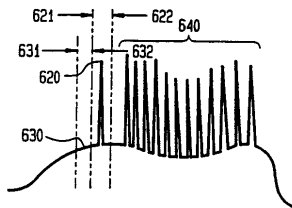
【 図 4 】



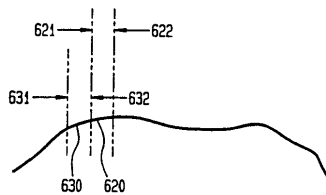
【 図 5 】



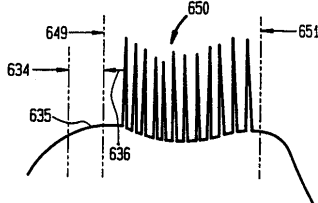
【 図 6 A 】



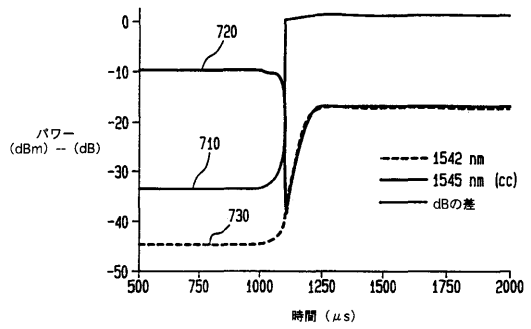
【 図 6 B 】



【 図 6 C 】



【 図 7 】



## フロントページの続き

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F I

H 0 4 B 10/17

H 0 4 B 9/00

J

H 0 4 J 14/00

H 0 4 J 14/02

(72)発明者 ネオフィットス アントニアデス

アメリカ合衆国 11101 ニューヨーク州 ロング アイランド シティ 34 アベニュー  
43-17 アpartment 3

(72)発明者 ジャネット レア ジャケル

アメリカ合衆国 07733 ニュージャージー州 ホルムデル ストーニー ブルック ロード  
31

(72)発明者 ドワイト ヒュー リチャーズ

アメリカ合衆国 07712 ニュージャージー州 オーシャン ラスティック ドライブ ナン  
バー6 1409

(72)発明者 ウェイ シン

アメリカ合衆国 07724 ニュージャージー州 イートンタウン レイクビュー テラス 3  
7ビー

審査官 甲斐 哲雄

(56)参考文献 米国特許第5335104 (US, A)

米国特許第5793481 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H04B 10/00