

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3544210号
(P3544210)

(45) 発行日 平成16年7月21日(2004.7.21)

(24) 登録日 平成16年4月16日(2004.4.16)

(51) Int. Cl.⁷

F I

GO 2 B 6/293
 HO 4 B 10/16
 HO 4 B 10/17
 HO 4 B 10/24
 HO 4 J 14/00

GO 2 B 6/28 B
 HO 4 B 9/00 J
 HO 4 B 9/00 G
 HO 4 B 9/00 E

請求項の数 14 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-501985
 (86) (22) 出願日 平成8年12月4日(1996.12.4)
 (65) 公表番号 特表平11-514180
 (43) 公表日 平成11年11月30日(1999.11.30)
 (86) 国際出願番号 PCT/CA1996/000810
 (87) 国際公開番号 W01997/050203
 (87) 国際公開日 平成9年12月31日(1997.12.31)
 審査請求日 平成10年12月28日(1998.12.28)
 (31) 優先権主張番号 08/669,929
 (32) 優先日 平成8年6月25日(1996.6.25)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者

ノーテル・ネットワークス・リミテッド
 カナダ国, エイチ2ワイ 3ワイ4, ケベック,
 モントリオール, エステイ. アントイン
 ストリート ウェスト 380 ワールド
 トレード センタ オブ モントリオール
 8フロア

(74) 代理人

弁理士 泉 和人

(72) 発明者

ロバーツ・キム・バイロン
 イギリス国, エイエル8 7エルディー,
 ハーツ, ウェルウイン ガーデンシティー,
 シェラーズパーク ロード 41

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチ・チャンネル光信号伝送方法およびマルチ・チャンネル通信システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1および第2ノード(A,B)の伝送リンクを介してマルチ・チャンネル光信号を伝送する方法において、

第1の伝送方法に関する第1の伝送バンドおよび第2の伝送方法に関する第2の伝送バンドを形成し、

前記第1の伝送バンド内でKチャンネル(Kは、2以上の整数)を選択し、前記第2の伝送バンド内でMチャンネル(Mは、1以上の整数)を選択し、前記Kチャンネルはほぼ同様なゲイン・チルトを有し、

前記の第1ノード(A)と前記の第2のノード(B)間で、第1の伝送バンド中で全ての
 前記Kチャンネルを含む第1のマルチ・チャンネル光信号および第2の伝送バンド中で全ての
 前記Mチャンネルを含む第2のマルチ・チャンネル光信号を伝送し、

WDM光増幅器(52)を前記の第1ノード(A)と前記の第2のノード(B)間で供給し、
 前記の光増幅器は第1及び第2のゲイン領域を含み、

前記の第1のマルチ・チャンネル光信号および第2のマルチ・チャンネル光信号を前記の第1
 及び第2のゲイン領域でそれぞれ増幅する。

ステップを備えたことを特徴とするマルチ・チャンネル光信号伝送方法。

【請求項2】

請求項1載の方法において、

前記第1および第2の伝送バンドを形成するステップは、

10

20

スペクトルの青領域で前記の第1の伝送バンドを選択し、
スペクトルの赤領域で前記の第2の伝送バンドを選択する
ことを特徴とするマルチ・チャンネル光信号伝送方法。

【請求項3】

請求項1記載の方法において、
前記第1および第2の伝送バンドを形成するステップは、
前記の第1の伝送バンドで第1のサブバンドを選択し、
前記の第2の伝送バンドで第2のサブバンドを選択し、
各サブバンドは実質的に一定のゲイン・チルトを有することを特徴とするマルチ・チャンネル光信号伝送方法。

10

【請求項4】

請求項3記載の方法において、
前記の第1のマルチ・チャンネルの光信号の全ての前記Kチャンネルは第1のサブバンド中
にあるように選択され、
前記の第2のマルチ・チャンネルの光信号の全ての前記Mチャンネルは第2のサブバンド中
にあるように選択されることを特徴とするマルチ・チャンネル光信号伝送方法。

【請求項5】

請求項1記載の方法において、
前記の増幅ステップは、さらに、
前記の第1のマルチ・チャンネルの光信号のおよび第2のマルチ・チャンネルの光信号のゲイ
ンを別々に制御することを特徴とするマルチ・チャンネル光信号伝送方法。

20

【請求項6】

請求項1記載の方法において、
前記第1の伝送バンドに対するゲイン・チルトのグラフを用意し、
前記グラフ上で、ほぼ同様なゲイン・チルト値を有する前記Kチャンネルに対応する前記第
1のバンド波長の間からK波長を選択することを特徴とするマルチ・チャンネル光信号伝送
方法。

【請求項7】

波長分割多重化を使ったマルチ・チャンネル通信用の双方向光再生装置において、
第1のマルチ・チャンネル光信号を波長に従って第1のバンド光信号と第2のバンド光信号
に空間的に分割する第1スプリッタ手段(44)と、
前記の第1のバンド光信号と第2のバンド光信号を第1スプリッタ手段から受信して、そ
れらを別々に増幅し、増幅された第1のバンド光信号と増幅された第2のバンド光信号を
供給する再生モジュール(40)と、
前記の増幅された第1のバンド光信号と増幅された第2のバンド光信号を第2のマルチ・
チャンネル光信号に再結合する第2スプリッタ手段(45)と、
光伝送リンクに接続され、双方向入力光信号を前記の第1のマルチ・チャンネル光信号に再
構成し、前記の第2マルチ・チャンネル光信号を双方向出力光信号に再構成するWDMスプリ
ッタ(41)と、
を備えたことを特徴とする双方向光再生装置。

40

【請求項8】

請求項7記載の再生装置において、
前記の再生モジュール(40)は、
前記の第1バンド光信号を増幅する第1の再生モジュール(青 Tx、Rx)と、
第2のバンド光信号を増幅する第2の再生モジュール(赤 Tx、Rx)とを備えたことを特
徴とする光双方向再生装置。

【請求項9】

請求項7記載の再生装置において、さらに、
前記の第1スプリッタ手段に接続され、前記の第1のマルチ・チャンネル光信号を前置増幅
する第1単方向光増幅器(42)と、

50

前記の第2スプリッタ手段に接続され、前記の第2のマルチ・チャネル光信号を後置増幅する第2単方向光増幅器(47)と、
を備えたことを特徴とする双方向光再生装置。

【請求項10】

光増幅と波長分割多重化を使った光マルチ・チャネル通信システムにおいて、
第1歳と(A)にあり、各々が第1の伝送方法の第1の伝送バンドから選択された波長を持つ光信号 $S1_k$ を発生するK個の第1のバンドの光送信機 Tx_k (ここで、kは1からKまでの整数であり、Kは2以上の整数である)と、第1サイト(B)にあり、各々が第2の伝送方向の第2の伝送バンドから選択された波長を持つ光信号 $S2_m$ を発生するM個の第2のバンドの光送信機 Tx_m (ここで、mは1からMまでの整数であり、Mは1以上の整数である)と、

10

第2のサイト(B)にあり、各々が第1のバンドの光送信機によって発生された光信号を受信するK個の第1のバンドの受信機 Rx_k と、
第1のサイト(A)にあり、各々が第2のバンドの光送信機によって発生された光信号を受信するM個の第2のバンドの受信機 Rx_m と、
第1のサイト(A)の第2のサイト(B)間の光送信パスを介して、第1のバンドの光送信機 Tx_k から前記第1のバンドの受信機 Rx_k にK個の第1のバンドの光信号を送り、前記第2のバンドの光送信機 Tx_m から前記第2のバンドの受信機 Rx_m にM個の第2のバンドの光信号を送る第1スプリッタ手段(2)と第2スプリッタ手段(6)と、
を備えたことを特徴とする光マルチ・チャネル通信システム。

20

【請求項11】

請求項10記載のシステムにおいて、
前記の光伝送パスは、第1および第2のWDM光増幅器モジュール(52,53)を含み、前記のK個の第1のバンドの光信号とM個の第2のバンドの光信号を増幅することを特徴とする光マルチ・チャネル通信システム。

【請求項12】

光増幅器を含む光伝送パスによって接続された第1のサイト(A)と第2のサイト(B)間でマルチ・チャネル光信号を伝送する方法において、
前記の光増幅器のゲイン領域を第1ゲイン領域と第2ゲイン領域に空間的に分離し、
第1ゲイン領域を第1の伝送バンドに対応させ、第2ゲイン領域を第2の伝送バンドに対応させ、
前記第1の伝送バンド内のK個(Kは、2以上の整数)のチャネルと前記第2の伝送バンド中のM個(Mは、1以上の整数)のチャネルとを選択し、全て前記Kチャネルはほぼ同様なゲイン・チルトを有し、
第1の伝送バンド中で第1のマルチ・チャネル光信号を伝送し、
第2の伝送バンド中で第2のマルチ・チャネル光信号を伝送するステップを備えたことを特徴とするマルチ・チャネル光信号伝送方法。

30

【請求項13】

光増幅器を含む光伝送パスを介して接続された第1サイトおよび第2サイト間でマルチ・チャネル光信号を伝送する方法において、
前記光増幅器のゲイン領域内で第1の伝送バンドおよび第2の伝送バンドを形成し、
前記の光増幅器のゲインの変化を入力電力と波長を用いて測定し、
前記の第1の伝送バンド内で少なくとも2つの第1のバンド波長を選択し、前記の第2の伝送バンド内で少なくとも1つの第2のバンド波長を選択し、前記の第1のバンド波長に対するゲイン・チルト値は互いにほぼ同じであり、
前記の少なくとも2つの第1のバンド波長を第1の伝送方法に対応させ、前記の少なくとも1つの第2のバンド波長を第2の伝送方法と対応させることを特徴とするマルチ・チャネル光信号伝送方法。

40

【請求項14】

マルチ・チャネル光伝送システム用光増幅器において、

50

前記の光増幅器のゲイン領域をフォワードパスとリバースパスに空間的に分離し、前記のフォワードパスとリバースパスを1つの伝送バンドに割り当てる手段と、少なくとも2つの第1のバンド信号を前記のフォワードパスを介して、および少なくとも1つの第2のバンド信号を前記のリバースパスを介して送信する手段とを備え、少なくとも2つの第1のバンド信号の波長はほぼ同様なゲイン・チルト値を有するように選択されることを特徴とするマルチ・チャネル光伝送システム用光増幅器。

【発明の詳細な説明】

発明の分野

本発明は、光ネットワークによって情報を伝送する光伝送システムおよび方法に関する。

特に、マルチ・チャネル光信号伝送方法およびマルチ・チャネル通信システムに関する。

10

背景技術

標準的な光の性能では、非分散シフト光ファイバまたは分散シフト光ファイバ上の回線終端装置(LTE)と再生装置間の距離は約80km(0.25dB/kmで20dB)と制限される。これは、光の分散と光の減衰があるため、伝送される光信号が物理的に弱くなるためである。この分散と減衰の限界はそれぞれ、分散シフト光ファイバおよび、光増幅器技術、波長分割多重化(WDM)技術を使った外部変調を導入することによって80km以上に伸ばすことができる。

マルチバンド伝送システムを設計する時に考慮すべき3つの重要な項目は、(1)必要な増幅器の数、(2)ゲイン・チルト、(3)保護である。以下にそれぞれを説明する。

(1) 光増幅器は高価なユニットなので、所定のデータ接続を実行するために必要なユ

20

ニットの数とタイプは、光ネットワーク設計においては重要なパラメータである。一般的な光増幅器には、3つのタイプがある。送信機を接続し、出力電力を増幅する後置増幅器、ルートに沿って増幅するライン増幅器、および光受信機の感度を向上する前置増幅器の3種類である。これらの3種類の増幅器はそれぞれ、異なる出力電力を提供し、異なる入力レベルを使い、一般的には、異なる雑音指数要件を有する。

光増幅器の数を減らす方法の1つとして、波長分割多重化(WDM)技術がある。WDM技術を使うと通信リンクを確立するために必要な光ファイバ・ケーブルが減少し、既存のファイバ・リンク上の容量を拡大することができる。信号送信の潜在的性も同様に重要である。たとえば、WDMフィルタはポンプ・ソース・レーザ波長をエルビウム・ドープ・ファイバに結合する機能を実行する。現在、多くの波長を伝送ファイバに多重化しまたは分離する

30

ために3ポートのWDMフィルタが使用されている。1995年9月19日に特許され、ウィリアムズ通信グループに譲渡されたベーカー(Baker)の米国特許5,452,124は、単方向の光増幅器を使った双方向の光増幅器モジュールを実行するための4ポートWDMカプラを開示している。

アイソレータもWDMシステムで使われる装置であり、光信号を一方向的に通過させる機能を有する。もし光アイソレータが光増幅器の内部で使われると、増幅器は本質的に単方向のデバイスになる。アイソレータを光増幅器の内部ゲイン領域として使用することが知られている。1994年1月18日に特許され、カナダ国立開発会議に譲渡されたバーナード(barnard)等の米国特許5,280,549は、信号を1方向だけに通過させ、2つの信号を周波数に従って分離する周波数依存光アイソレータを開示している。

40

(2) エルビウム・ドープ・ファイバ増幅器(EDFA)をマルチ・チャネルで使う場合、現在は双方向伝送が一般的である。ネットワーク応用においては、光増幅器の構成と、ポンプ波長との関連で使う信号波長が非常に重要である。増幅器はゲインはすべての入力に対して完全にフラットというわけではないので、使われる正確な波長は使用できる異なるポンプのゲイン変化の関数となる。ゲイン・チルト(詳細は、後述する)は、多チャネル伝送システムを設計するときに考慮すべき重要な点となる。ゲイン・チルトは、増幅器が設計されたときの公称ゲイン値でのゲインプロファイルに関して、増幅器モジュールのゲインの実際の値における各伝送チャンネルのゲインのプロファイル中の変化を測定する。つまり、ゲイン・チルト関数はリンクの損失と共に変化する。この関数はホスト側の光ガラス内にあるドーパントの物理的特性のみに依存し、1以上のチャネルまたは方向の信号が

50

同じファイバを共有している場合にだけ重要となる。

ゲイン・チルト問題を化学的に解決する方法はまだ見つかっていない。ドーパント、フッ化物などはゲイン・プロファイルを平らにする役に立つが、チルトは解決しない。電氣的な解決法が現在模索中である。

1つの解決法が「ゲイン・クランプ」であり、これは増幅器のゲインをアイドルまたはレーザ放射中のすべてのチャンネル上で一定に保つことを意味している。しかしながら、この解決法では必要な光量子を供給するために2倍のレーザ・ポンプ数が必要である。

もう1つの解決法は「損失挿入」であり、これは、各スパンの損失を調整して増幅器の公称値に一致させる、つまり、リンクのすべての増幅器を、公称ゲインで動作させることを意味する。この解決法は、各スパン内に減衰器を置くために、時間と温度に関して、システム内の損失や光電力の変化に対してあまり強固ではないという欠点がある。

「ゲイン・クランプ」方法と「損失挿入」方法を組み合わせると、システムはいくらか強化されるが、ポンプ・レーザがますます高価なものになってしまう。

ゲイン・チルト問題を解決するもう1つの方法は、調整可能な光ファイバを使うことである。異なる波長間の相対的な損失は、機械的または電氣的な制御で調節できるようになる。そのようなフィルタは、増幅器の中にあることが最も望ましい。フィルタは現場で調整可能であることが望ましく、さらに、各波長の電力レベルを測定することによって連続的に制御されればもっと望ましい。これらのフィルタは数年の内にもっと安くなると思われるが、現在は非常に高価であるため、使われていない。

先行技術は、双方向マルチ・チャンネル光信号の増幅に対して、コストの安い解決法を提供できなかった。さらに、4ポートWDMフィルタを効果的に実行することは、フィルタ、ゲイン・チルト、保護などの問題によって損失が生じるため、困難である。既存の解決法と構成はゲイン・チルトの制御や、マルチ・チャンネル増幅器における伝送の保護に関係していない。

(3) 所望のネットワーク接続が確実に行われるために、通信業界では冗長装置を使って、1つのユニットがダウンしても別のユニットにすぐに切り換えられるようにするのが一般的である。これは保護切換と呼ばれる。置き換えユニットとして維持する必要のある増幅器の数とタイプも重要である。ネットワーク内の装置の異なるタイプの数が減ると、予備ユニットの種類も減り、ネットワーク業者が購入しいつも手元においておく標準的な予備ユニットの合計が大きく減少する。

保護切換としては一般的に4つのタイプが知られている。「1+1」保護では、一組の装置が同じペア単位で他の一組の装置を保護する。「1:N」保護では、一組の装置が別のN組の装置を保護する。その他に「リング」保護、「クロス接続」保護がある。

保護プロトコルは、「双方向切換」と「単方向切換」として構成することができる。保護プロトコルはファイバ上の伝送の方向には関係がなく、ただの切換プロトコルタイプである。通信トラフィックは音声回路などの場合は元々双方向的であり、CATV信号などの場合は単方向的である。双方向トラフィックとは、データが両方の方向に伝送されることを意味する。また、双方向は、所定の回路が1方向で中断されても、同じ回路の他の方向は最低限の損失で済む。

単方向保護スイッチは回路の一方、つまり1つの方向のみが劣化した場合には、保護を必要とする方向だけを切り換える。これとは異なり、双方向保護切換は、どの場合でも両方向を一緒に切り換える。

「1+1」保護のリング・トポロジはリニア、つまり「1:N」トポロジと比べ、大きな利点がある。「1:N」システム内のように、1以上の波長が1つの光増幅器で運ばれ、一度に一つの信号が保護される場合、その増幅器が故障したときは、いくつかの信号は保護されない。このため、これらの信号内で運ばれる回路の使用が著しく損なわれる。以下に示す方法では、多数の波長を持つ信号を1つの増幅器を通過させる場合、効果的に保護される。

電氣的な(将来は光による)クロス接続は上記の保護およびさらには一般的な保護または復旧トポロジを実行することができる。しかしながら、クロス接続は上記の3つの保護方

10

20

30

40

50

法を実行する伝送装置よりも必ずしも高速ではないので、一般的には保護より復旧を実行するために使われている。

発明の概要

本発明の目的は、光増幅器および波長分割多重化を用いて先行技術におけるさまざまな欠点を減少または緩和する多波長伝送システムを提供することにある。

さらに、本発明の目的は、増幅される多波長が同じ光増幅器によって増幅され、同じ光ファイバを通して伝送される改良されたマルチ・チャンネル伝送システムを設計する方法を提供することにある。

さらに、本発明の目的は、増幅器および分散補償モジュールのような光コンポーネントの数を減らし、外側のファイバ・ケーブルからの損失に耐えられる多波長システムを提供することにある。

10

さらに、本発明の目的は、保護装置用の予備コンポーネントを含む光コンポーネントの数を減らす多波長システムを提供することにある。

従って、本発明の一側面によれば、本発明は、第1および第2ノード(A,b)間の伝送リンクを介してマルチ・チャンネル光信号を伝送する方法において、

第1の伝送方向に関する第1の伝送バンドおよび第2の伝送方向に関する第2の伝送バンドを形成し、第1の伝送バンド内でKチャンネル(Kは、以上の整数)を選択し、第2の伝送バンド内でMチャンネル(Mは、1以上の整数)を選択し、Kチャンネルはほぼ同様なゲイン・チルトを有し、第1ノード(A)と第2のノード(B)間で、第1の伝送バンド中で全てのKチャンネルを含む第1のマルチ・チャンネル光信号および第2の伝送バンド中で全てのMチャンネルを含む第2のマルチ・チャンネル光信号を伝送し、WDM光増幅器(52)を第1ノード(A)と第2のノード(B)間で供給し、光増幅器は第1及び第2のゲイン領域を含み、第1のマルチ・チャンネル光信号および第2のマルチ・チャンネル光信号を第1及び第2のゲイン領域でそれぞれ増幅するステップを備えるように構成される。

20

さらに、本発明の他の側面によれば、本発明は、波長分割多重化を使ったマルチ・チャンネル通信用の双方向光再生装置において、第1のマルチ・チャンネル光信号を波長に従って第1のバンド光信号と第2のバンド光信号に空氣的に分割する第1スプリッタ手段(44)と、第1のバンド光信号と第2のバンド光信号を第1スプリッタ手段から受信して、それらを別々に増幅し、増幅された第1のバンド光信号と増幅された第2のバンド光信号を供給する再生モジュール(40)と、上記で増幅された第1のバンド光信号と増幅された第2のバンド光信号を第2のマルチ・チャンネル光信号に再結合する第2スプリッタ手段(45)と

30

、光伝送リンクに接続され、双方向入力光信号を第1のマルチ・チャンネル光信号に再構成し、第2マルチ・チャンネル光信号を双方向出力光信号に再構成するWDMスプリッタ(41)とを備えるように構成される。

さらに、本発明の他の側面によれば、本発明は、光増幅と波長分割多重化を使った光マルチ・チャンネル通信システムにおいて、第1サイト(A)にあり、各々が第1の伝送方向の第1の伝送バンドから選択された波長を持つ光信号 $S1_k$ を発生するK個の第1のバンドの光送信機 Tx_k (ここで、kは1からKまでの整数であり、Kは2以上の整数である)と、第1サイト(B)にあり、各々が第2の伝送方向の第2の伝送バンドから選択された波長を持つ光番号 $S2_m$ を発生するM個の第2のバンドの光送信機 Tx_m (ここで、mは1からMまでの整数であり、Mは1以上の整数である)と、第2のサイト(B)にあり、各々が第1のバンドの光送信機によって発生された光信号を受信するK個の第1のバンドの受信機 Rx_k と、第1のサイト(A)にあり、各々が第2のバンドの光送信機によって発生された光信号を受信するM個の第2のバンドの受信機 Rx_m と、

40

第1のサイト(A)と第2のサイト(B)間の光送信パスを介して、第1のバンドの光送信機 Tx_k から第1のバンドの受信機 Rx_k にK個の第1のバンドの光信号を送り、第2のバンドの光送信機 Tx_m から第2のバンドの受信機 Rx_m にM個の第2のバンドの光信号を送る第1スプリッタ手段(2)と第2スプリッタ手段(6)とを備えるように構成される。

さらに、本発明の他の側面によれば、本発明は、光増幅器を含む光伝送パスによって接続

50

された第1のサイト(A)と第2のサイト(B)間でマルチ・チャンネル光信号を伝送する方法において、光増幅器のゲイン領域を第1ゲイン領域と第2ゲイン領域に空間的に分離し、第1ゲイン領域を第1の伝送バンドに対応させ、第2ゲイン領域を第2の伝送バンドに対応させ、第1の伝送バンド内のK個(Kは、2以上の整数)のチャンネルと第2の伝送バンド中のM個(Mは、1以上の整数)のチャンネルとを選択し、全てのKチャンネルはほぼ同様なゲイン・チルトを有し、第1の伝送バンド中で第1のマルチ・チャンネル光信号を伝送し、第2の伝送バンド中で第2のマルチ・チャンネル光信号を伝送するステップを備えるように構成される。

さらに、本発明の他の側面によれば、本発明は、光増幅器を含む光伝送パスを介して接続された第1サイトおよび第2サイト間でマルチ・チャンネル光信号を伝送する方法において、光増幅器のゲイン領域内で第1の伝送バンドおよび第2の伝送バンドを形成し、光増幅器のゲインの変化を入力電力と波長を用いて測定し、第1の伝送バンド内で少なくとも2つの第1のバンド波長を選択し、第2の伝送バンド内で少なくとも1つの第2のバンド波長を選択し、第1のバンド波長に対するゲイン・チルト値は互いにほぼ同じであり、少なくとも2つの第1のバンド波長を第1の伝送方向に対応させ、少なくとも1つの第2のバンド波長を第2の伝送方向と対応させるように構成される。

さらに、本発明の他の側面によれば、本発明は、マルチ・チャンネル光伝送システム用光増幅器において、光増幅器のゲイン領域をフォワードパスとリバースパスに空間的に分離し、フォワードパスとリバースパスを1つの伝送バンドに割り当てる手段と、少なくとも2つの第1のバンド信号をフォワードパスを介して、および少なくとも1つの第2のバンド番号をリバースパスを介して送信する手段とを備え、少なくとも2つの第1のバンド信号の波長はほぼ同様なゲイン・チルト値を有するように選択されるように構成される。

本発明による光伝送システムの最大の利点は、ゲイン・チルトの影響をあまり受けずに、多波長がエルビウム・ドープ・ファイバ増幅器(EFDA)のバンドの1550nmウィンドウで実行されることである。ネットワーク内の装置のタイプ数が減ると、予備ユニットのタイプの数も減り、標準の予備部品を通して、ネットワーク業者が購入しいつも手元においておく予備ユニットの合計が大幅に減る。

例えば、本発明によれば、各方向ごとに4つのチャンネルが空間分割とWDM波長選択を使った構成でサポートすることができる。

本発明による光伝送システムのもう1つの大きな利点は、このようなシステムの配置に必要なファイバ数が減ることである。これは所定のルート上でファイバが少なくなった場合、特に重要な利点である。その結果、本発明による伝送システムでは、各増幅器で2つより多い波長を増幅する場合、システムのコストが下がる。他の光コンポーネントの損失から受ける影響が減少するため、システムは外付けファイバ・ケーブルからの損失に対する耐性が強くなる。

【図面の簡単な説明】

上述された本発明の目的、特徴、利点は添付の図面および説明から理解される。

図1Aは、3ポートのWDMスプリッタを使った伝送システムの構成図である。

図1Bは、4ポートのWDMスプリッタを使った伝送システムの構成図である。

図2Aは、増幅器が公称ゲインで動作している時の2チャンネルに対するゲインを示す図である。

図2Bは、図1Aの増幅器モジュールが公称ゲインより低いゲインで動作している時の、2チャンネルに対するゲインを示す図である。

図2Cは、対象となるバンドのゲイン変化のdB当たりのゲイン・チルトを示す概念グラフを示す図である。

図3は、空間分離を使った光増幅器のブロック図である。

図4は、双方向再生装置のブロック図である。

図5は、マルチ・チャンネル伝送システム用に波長を選択した3つの例を示す図である。

図6は、共通前置/後置WDM増幅モジュールを使った多スパン光伝送システムの構成を示す図である。

10

20

30

40

50

図7Aは、ファイバ・スパン中で動作するペアの光伝送システムおよび1:1リニア構成の保護リンクを示す図である。

図7Bは、WDM増幅モジュールを使ったペアの2スタック、2ファイバ・リングを示す図である。

図7Cは、WDM増幅器モジュールを使ったペアの4ファイバ・リング構成を示す図である。
発明の実施の形態

WDMカプラまたはスプリッタは、光信号をその波長に従って分離したり組み合わせたりするために使われるフィルタである。たとえば、WDMカプラは、レーザ源からの光をEDFAのゲイン領域に結合することができる。これらのカプラはマルチ・チャンネル光システムでは非常に有効であるが、スプリッタの分離が完全ではないのでマルチパス干渉が起こり、WDM内の分離要件が重大な問題となる。既存の3ポートWDMカプラを使った構成例が図1Aに示されている。図1Aでは、サイトAとサイトB間の双方向接続を示しており、波長1と2のチャンネルは同じファイバ1を使っている。サイトAにあるWDMスプリッタは、ポート4と3を通じて送信機Tx1をファイバ1に接続し、波長1の光信号S1をファイバ1上で伝送する。WDMスプリッタ2は、また、ポート3と5を通じてファイバ1を受信機Rx2に接続し、ファイバ1からの波長2の光信号S2を受信機Rx2の方向に送る。同様に、WDMスプリッタ6はポート7をファイバ1に接続し、ポート8を送信機Tx2に接続してファイバ1上で光信号S2を伝送する一方、ポート9は受信機Rx1に接続され、ファイバ1からの光信号S1を受信機Rx1の方向に送る。

前述の米国特許5,452,124 (Baker) に開示される4ポート・フィルタを使って、単方向増幅器を使った双方向増幅を実行することもできる。このような4ポートWDMスプリッタを使った双方向システム構成は図1Bに示される。サイトAとサイトBは、図1Aと同じ構成を有する。波長1の光信号S1はサイトAからサイトBに伝わり、波長2の光信号S2は逆方向、つまりサイトBからサイトAに伝わる。4ポートWDMスプリッタ10と、単方向増幅器15がサイトCで供給される。スプリッタ10は、増幅器15のゲイン部分で両方のチャンネルが同じ方向になるように、トラフィックを送る。このように、それぞれポート11と12で受信される信号S1とS2は同じ方向に送られ入力、ポート13に出力され、ポート13は増幅器15の入力ポートに接続される。増幅された信号S1とS2は同じ伝送方向でWDMフィルタ10のポート14に到着し、波長1または2に従って、適切な方向に送られる。

光伝送システムにおいては、チャンネルの数と各チャンネルの波長は重要な設計パラメータである。入力点での電力が、増幅器の設計公称電力と異なる場合（低かったり高かったりする場合）、光増幅器のゲインは変わることが知られている。この入力電力のゲイン変化は「ゲイン・チルト」と定義され、チャンネル波長によって変わる。例えば図2Aは増幅器モジュールが公称ゲインで動作した場合の伝送チャンネル1と2のゲインを示している。図2Bはゲインの実際の値が公称値よりも低い場合のチャンネル1と2のゲインが変化を示す図である。高いゲインでの動作によって、反対の傾斜でプロフィールを生じる。

今日の光増幅器技術においては、単一波長増幅の機能は優れている。しかしながら、設置された非分散ファイバの1550nmパスバンドに渡るゲイン・カーブは、特1530nmから1542nmの範囲ではフラットではない。図2Cは、1545nmにおけるゲインが1dB増加した場合の各波長におけるゲインの変化を示している。例えば、1545nmにおけるゲインが1.0dB変化すると、1532nmにおけるゲインは1.8dB増加する。これが、スパン損失における1.8 - 1.0 = 0.8 dBのチルト/dBの変化である。

1530nmから1542nmの範囲では、通常WDMは使われない。複数の増幅器が縦続接続された場合、シリカを使ったEDFAのゲイン・ピークによって、各チャンネルの出力電力がこの範囲では大きく変化し、この範囲の外にある信号ゲインに深刻な影響を与えるためである。この問題を解決するために、各チャンネルの入力電力を選択的に変えたり、フラットなゲインの領域を使うという方法が現在使われている。第1の解決法では各チャンネルの出力電力が大きく減少し、スパンの処理が難しくなる。第2の解決法では多重化できるチャンネルの数が制限される上、高価な波長アダプタを使わないと、大きな埋め込みベースのOC-48送信機を再利用できなくなる。

10

20

30

40

50

本発明では、約1528nmから1560nmの光増幅器ゲイン領域は2つのバンドに分割される。「青」は1528nmから1543nmであり、「赤」は1547nmから1560nmである。2つのバンドは空間的に分離され増幅される。バンド内の波長は同様のゲイン・チルトの領域内にあるように選択されるか、各「赤」バンドまたは「青」バンド内のゲイン・チルト/bBの変化が最小限になるように選択される。図2Cが示すように「青」ゲイン領域ではゲイン・チルトに大幅な変化があるので、この領域は特に重要である。

図3は双方向ファイバ増幅器のブロック図であり、本発明の空間分離を使ったエルビウム・ドープ・ファイバ増幅器(EDFA)15の例である。この明細書では、「アクティブ光ファイバ」と「ゲイン部」という言葉は、希土類でドープされ、光信号を増幅するための結合波長でポンプされた光ファイバを示す。

図3に示すように、光増幅器15の中央部分を伝わる光信号は、2つのバンドにグループ分けされ、この例では各バンドは方向を示している。赤バンドと青バンド中のトラフィックは、最初の3ポートWDMスプリッタ21を使ってファイバ17と19に物理的に分離される。ファイバ17と19上の信号はそれから3ポートWDMスプリッタ23によって再組み合わせされる。この結果、増幅器は2つの周辺ゲイン・スパン25と29、および2つの中央ゲイン部27と31を有する。信号はゲイン・スパン25と29内の増幅器の周辺部においては双方向に伝わり、中央ゲイン部27と31においては単方向に伝わる。アイソレータ33,35,37も、バンド間で双方向の動作を得るような方向に供給される。「赤」ゲイン長と「青」ゲイン長は空間的に分離されているので、好ましくは、ゲインの分離飽和度と分離ポンプ電力制御を通じて、方向ごとに電力制御が使われる。本実施の形態の増幅モジュール15では、同じ方向に伝

わる信号はバンドごとに分離制御または共通制御が使われるように設計される。このアーキテクチャによって2つのバンド間のゲイン・チルト効果と、2つのスプリッタの不完全な分離から生じるマルチパス干渉が大幅に減少する。EDFAの中央領域で別の方向を使い、2つの空間的に分離されたバンドを使ったため、WDMスプリッタ21と23内の分離要件は達成可能なものになった。さらに、増幅器内でバンドを分離し、分離の外側にゲイン段階を供給したため、WDMカブラの損失から生じるノイズ指数と出力電力の損失も減少する。

この光ファイバは伝送に使われる波長に応じて異なる分散特性を示す。標準の単一モード・ファイバでは、対象となる2つの主伝送ウィンドウは、非分散シフト光ファイバの場合は1310nm、分散シフト光ファイバの場合は1550nmである。非分散シフト光ファイバを使っ

ている場合、送信機が分散補償モジュール(DCM)を備えて、高いビット・レートにおける著しい伝送の低下を減少することが好ましい。図4は、本発明の空間分離方法に従って組み込まれた双方向再生装置を示すブロック図である。4ポートのWDMスプリッタ41を双方向WDM信号を運ぶファイバに挿入し、入力信号を伝わる方向に従って分離する。例えば「青」バンド内の信号はファイバ1'のポート11に到着し、「赤」バンド内の信号はファイバ1上のポート12に到着する。これらの信号はポート13から出力され、ポート13からWDMスプリッタ41によって前置増幅器42の入力に向けて同じ方向に送られ、次に分散補償モジュール43に送られる。3ポートWDMスプリッタ44は信号をその波長に従って分離し、ブロック40の受信機Rx1とRx2に送られる。ブロック40で再生機能またはアッド・ドロップ多重化機能が実行されると、信号は2つの送信機Tx1とTx2に送られる。信号は2つの送信機から3ポートWDMスプリッタ45に組み合わせられ、必要に応じてもう1つの分散補償モジュール46を通過して後置増幅器47で増幅される。4ポートWDMスプリッタ41は増幅された信号をポート14で受信し、これらの信号を適切な方向にある2つのファイバに挿入する。

図4は、この構成が現在使用可能なWDMカブラとDCMによって発生する損失を補償できるかを示す図である。

さらにゲイン・チルトを減少するため、赤バンドと青バンド内の波長の選択はマルチ・チャンネル・システムでは同じように重要である。図5は、1つのバンド内で波長を選択する例を3つ示し、最高8つまでの波長が2つの方向で等しく分割される。最初の例では、「青」バンド内の2つのチャンネルと「赤」バンド内の2つのチャンネルが選択される。第1の

10

20

30

40

50

「青」チャンネルの波長は $\lambda_1 = 1533\text{nm}$ 、第2の「青」チャンネルの波長は $\lambda_2 = 1541\text{nm}$ である。第1の「赤」チャンネルの波長は $\lambda_3 = 1549\text{nm}$ 、第2の「赤」チャンネルの波長は $\lambda_4 = 1557\text{nm}$ である。2つの「青」チャンネル間にあるゲイン・チルトの違いは比較的大きく図2Cでは0.65であり、2つの「赤」チャンネル間にあるゲイン・チルトの違いは0.1である。0.65ものゲイン・チルトがあると、システム内で問題が起きる。

第2の例は「青」バンド内に2つのチャンネルがあり「赤」バンド内にも2つのチャンネルがあるもう1つの選択を示す。「青」チャンネルの波長は $\lambda_1 = 1528.7\text{nm}$ と $\lambda_2 = 1533.5\text{nm}$ であり、ほぼ同じ1.75のゲイン・チルトを有する。「赤」チャンネルの波長は $\lambda_3 = 1552.5\text{nm}$ と $\lambda_4 = 1557.4\text{nm}$ の波長で、ゲイン・チルトの違いは約0.1で、その差は非常に小さい。この例ではゲイン・チルトが小さいので、チャンネルの波長はマッチしたゲイン・チルトを有するように選択されるので、システム内に問題は起きない。

第3の例は、8つのチャンネルを持つシステムを示し、4つのチャンネルは「青」バンド、もう4つのチャンネルは「赤」バンドにある。「青」チャンネルの波長は $\lambda_1 = 1528.7\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 1530.3\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 1531.9\text{nm}$ 、 $\lambda_4 = 1533.5\text{nm}$ で、ゲイン・チルトの最大変化は0.1である。「赤」チャンネルの波長は $\lambda_5 = 1550.1\text{nm}$ 、 $\lambda_6 = 1552.5\text{nm}$ 、 $\lambda_7 = 1554.9\text{nm}$ 、 $\lambda_8 = 1557.4\text{nm}$ でゲイン・チルトの差は約0.1である。

この伝送チャンネルの波長を選択する方法によって、ゲイン・チルトの大きな影響を受けることなく、多数の波長をエルビウム・ドープ・ファイバ増幅器の青バンドの中で増幅することができる。

さらに、伝送電力を調節し、およびインライン等化デバイスが使える時にそのデバイスを供給することによって、波長間のアクティブ等化が得られる。

多数チャンネルが1つのファイバ・スパン上で伝送され、同じモジュールまたは複数のモジュール内で増幅される場合、2つの端末間にある増幅器、ファイバ・スパン、他の光コンポーネント数は最低で済む。伝送の方向に応じて空間的に伝送バンドを分離し、信号の波長を適切に選択することによって、ファイバ・スパンと増幅器の数を減らす方法がいくつかある。以下に、その例を示す。

受信機は一般的に -5dBm の光電力を必要とし、および 0dBm においては過負荷となり、送信機は一般的に外付けファイバに $+7$ または $+10\text{dBm}$ で伝送することが必要である。これらの設計パラメータがあるため、前置増幅器および後置増幅器として同時に動作する光増幅器を設計することは困難または不可能であった。さらに、ゲイン・チルトがあるため、これらの要件はますます厳しいものとなる。これらの電力レベルを得るために、現在の送信機は後置増幅器として構成された光増幅器を備え、受信機は前置増幅器として構成された光増幅器を備えている。

しかしながら本発明は、方向ごとに分かれた電力制御を提供し、チャンネル波長を選択してゲイン・チルトを最小化するので、単一のファイバ増幅器が同時に前置増幅器と後置増幅器として動作できる。

図6は、ライン増幅器として、前置増幅器および後置増幅器を結合したものとして動作する双方向増幅器の構成を示す図である。この構成では「赤」バンドには λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 の4つの信号があり、「青」バンドには λ_5 の1つの信号がある。サイトAにあるDCM43とWDMスプリッタ2は、前置/後置増幅器60のゲインによって光ケーブル62から分離される。同様に、サイトBにあるDCM45とWDMスプリッタ6は前置/後置増幅器61のゲインによって光ケーブルスパン63から分離されている。これによって、これらのコンポーネントの光損失がノイズや電力レベルに与える影響が減少される。

光増幅器60と61は方向によって異なる電力制御を行うので、増幅器60は送信機Tx1からTx4に対しては後置増幅器として動作し、受信機Rxに対しては前置増幅器として動作する。同時に、増幅器61は受信機Rx1からRx4に対しては前置増幅器として動作し、送信機Txに対しては後置増幅器として動作する。

本発明によれば、チャンネルの空間的な分離によって結合された波長を適切に選択することにより、マルチ・チャンネル・システムの構造をさらに簡単にすることができる。このように、ある方向の伝送チャンネルの数が、反対の方向のチャンネルの数と同じ場合、保護リンク

10

20

30

40

50

の数を減らすことによって、コスト高価の高いネットワークを形成することが可能になる。

図7A、7B、7Cは両方のバンドに同じ数の信号があるシステムを示し、ここでは双方向ペアリングと呼ぶことにする。このように、1つの方向の各送信機・受信機パスに対し、反対方向の受信機・送信機パスが存在する。この構成には大きな利点があり、保護リンクの数が減る。図3に示すように、適切な平坦フィルタを使うと、WDM増幅器モジュールはどちらの方向でも同じ数の波長をサポートするように設計することができる。動作グループと保護グループを別々の増幅器を介して供給し、1つの増幅器がダウンしても影響がないようにすることが望ましい。

図7Aはバランス方双方向光伝送システムで1:1システムのリニア構成における動作リンクと保護リンク用のファイバパンを節約した例を示している。増幅器52と53の1セットを備え、ファイバ1上の動作トラフィックを収容する。保護トラフィックは、増幅器54,55,56,57を使って、別のルート20上で送られる。増幅器は2つの「赤」バンド波長と2つの「青」バンド波長をサポートしているので、第2の1:1システムをサポートする追加の増幅器は必要がない。さらに、適切な波長が使用可能でリンク予算が許せば、同じファイバと増幅器を使うシステムを供給することも可能である。

10

単一方向WDMシステムのようなペアリングを使っていないシステムに比べると、ペアリングにした双方向システムは、一定量のデータを伝送し保護するために必要とするチャンネルの数が少ない。チャンネル数が少ないということは、同じデータを伝送する場合は、ファイバの数も増幅器の数も端末の数も少なく済むということである。

20

図7Bは、図3に示されたWD増幅器モジュールを使った2スタックおよび2ファイバ・リングの構成である。増幅器は双方向の性質を持っているので、基本システムを実行するためには、スパン毎に必要なファイバは1つだけである。

第2のシステムを実行するために、さらなる増幅器は必要ではない。さらに、図2Cと図5で説明したように、適切な空間分離とペアの波長選択が使われ、リング予算が合えば、リング・システムを供給して同じファイバおよび増幅器を使うことができる。

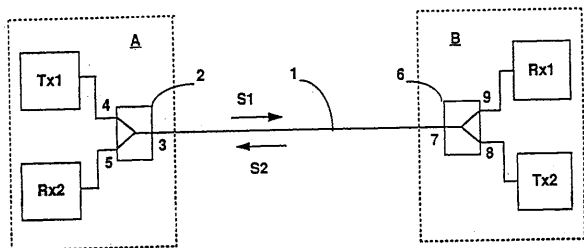
図7Cは4ファイバ・リング構成で、WDM増幅器モジュールを使っている。分離・リングは「スパン切替を有する2ファイバ・リング」と入れ替えてもよい。これは、分離・リング・プロトコルが実行されているという点で通常の2ファイバ・リングとは異なり、スパン切替という機能が可能になる。

30

当業者であれば、本発明の特許請求の範囲から逸れることなく、本発明の実施の形態に対して、さまざまな修正、変更、応用が可能である。

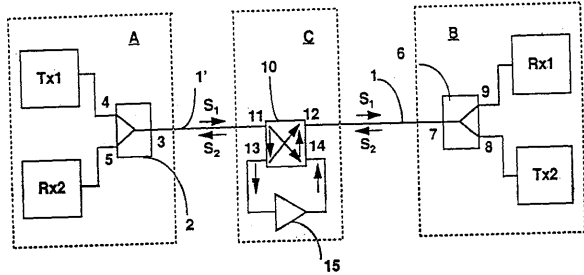
【 図 1 A 】

(Prior Art)

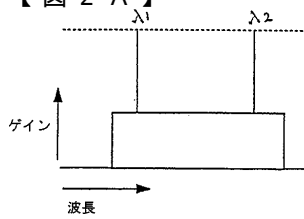


【 図 1 B 】

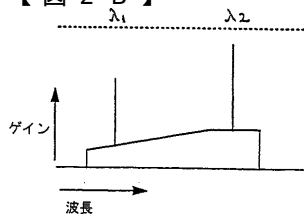
(Prior Art)



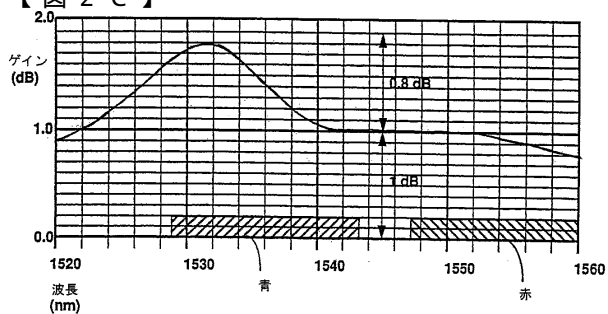
【 図 2 A 】



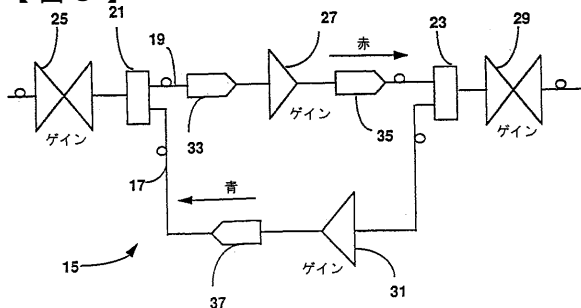
【 図 2 B 】



【 図 2 C 】



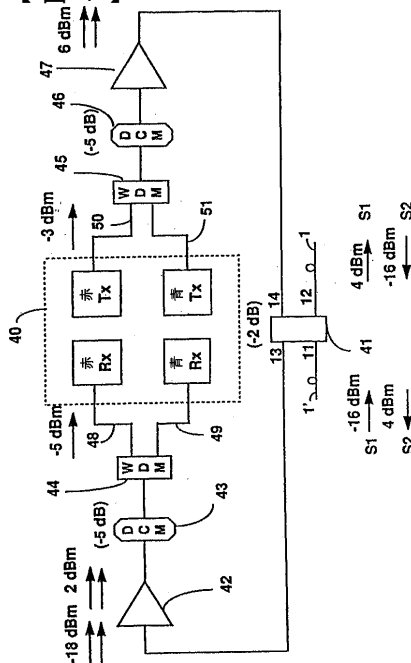
【 図 3 】



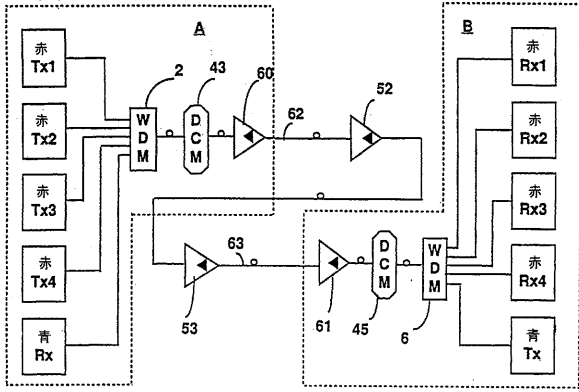
【 図 5 】

	1528 nm	1542.5	1547.5	1560
例 1	青		赤	
	1533 ±2.0	1544 ±1.5	1549 ±1.5	1557.0 ±2.5
例 2	1528.7 ±0.5	1533.5 ±0.5	1552.5 ±0.75	1557.4 ±0.75
例 3	1528.7 ±0.5	1530.3 ±0.5	1550.1 ±0.75	1554.9 ±0.75
	1531.9 ±0.5	1533.5 ±0.5	1552.5 ±0.75	1557.4 ±0.75

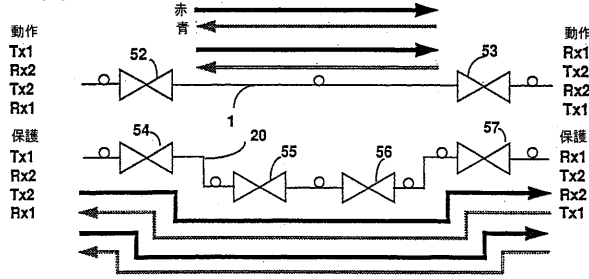
【 図 4 】



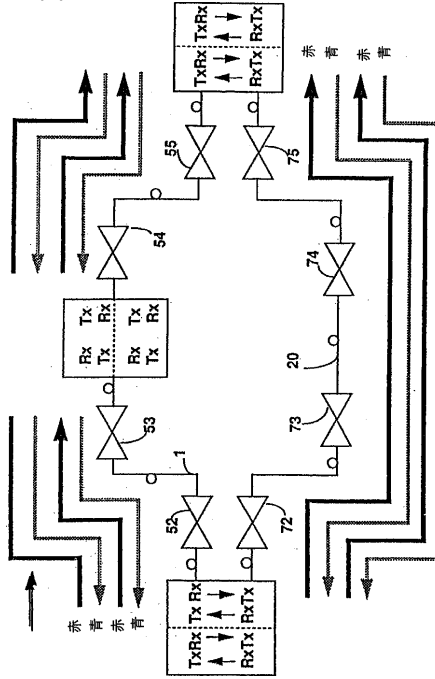
【 図 6 】



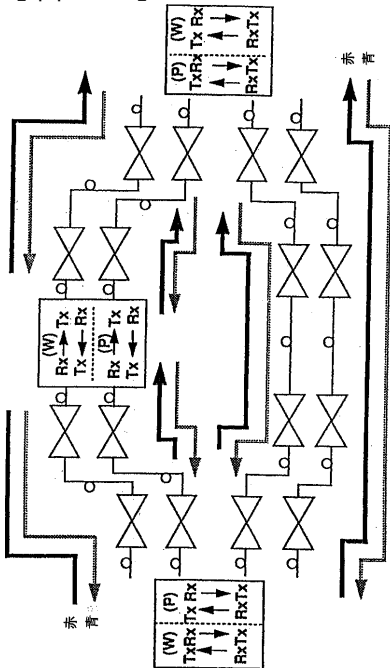
【 図 7 A 】



【 図 7 B 】



【 図 7 C 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷ F I
H 0 4 J 14/02

(72)発明者 オスリバン・モーリス・スチープン

カナダ国, ケイ1ワイ 0ティ-9, オンタリオ, オタワ, ハーマー アベニュー 84

(72)発明者 メイ・グレゴリー・ディーン

カナダ国, ケイ2ピー 0エイチ9, オンタリオ, オタワ, サマーセット ストリート ウエスト
9 0 7 1 3 0

審査官 柏崎 康司

(56)参考文献 特開平06-090051(JP, A)

特開平06-224506(JP, A)

特開平06-188494(JP, A)

特開平06-090051(JP, A)

特開平06-224506(JP, A)

特開平06-188494(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G02B 6/293