[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl[6]
G02F 1/39

[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 99107386.X

[43]公开日 1999年10月20日

[11]公开号 CN 1232192A

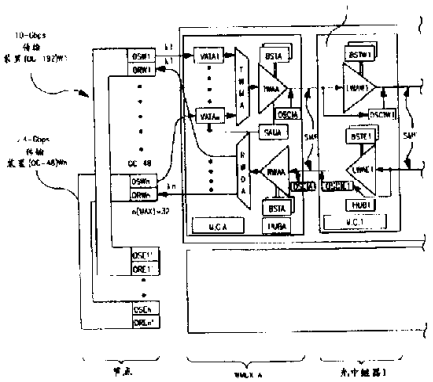
[22]申请日 99.2.26 [21]申请号 99107386.X
[30]优先权
[32]98.2.27 [33]JP [31]048454/98
[71]申请人 富士通株式会社
地址 日本神奈川
[72]发明人 木下进 尾中美纪 菅谷立青
大嶋千裕 近间辉美 伊藤洋之
冲山正 小林大喜
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 付建军

权利要求书2页 说明书38页 附图页数42页

[54]发明名称 光学放大器

[57]摘要

一个波分复用传输系统的光学放大器包括前级光放大单元和后级光放大单元。前级光放大单元具有掺稀土元素光纤和给该掺稀土元素光纤输入泵浦光的泵浦 光源。后级光放大单元具有第二掺稀土元素光纤和给该第二掺稀土元素光纤输 入泵浦光的泵浦光源。前级光放大单元和后级光放大单元被可分开的光耦合装 置光学连接。另外,设置在该光纤输出端的增益均衡单元补偿该光纤的与波长 有关的增益特性。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一个光学放大器，包括：

前级光放大单元，该单元包括掺稀土元素的光纤，该光纤用于传输具有多种不同波长的波长复用信号光；

增益均衡器，该增益均衡器设置在该前级放大单元输出端并根据该掺杂光纤的增益特性补偿波长；和

后级光放大单元，该单元设置在该增益均衡器输出端并包括掺稀土元素的光纤。

2. 一个如权利要求 1 的光学放大器，其中在所述前级光放大单元与所述后级光放大单元之间设置可拆开的光耦合器，光耦合器用于所述前级光放大单元与所述后级光放大单元之间的可拆卸连接。

3. 一个光学放大器，包括：

前级光放大器，该放大器包括掺稀土元素的光纤，该光纤用于传输具有多种不同波长的波长复用信号光、并输出放大的光信号；

色散补偿器，用于补偿被该前级光放大器所放大信号中的色散，并输出相应的信号；

后级光放大器，该放大器包括接收来自相应色散补偿器相应信号的第二掺稀土元素的光纤，并用于放大该相应信号；

增益均衡器，该增益均衡器位于该第二掺稀土元素的输出端，用于补偿该第二掺稀土元素光纤的与波长相关的增益特性，并输出光信号；

第三掺稀土元素光纤，位于该增益均衡器的输出端。

4. 一个如权利要求 3 的光学放大器，还包括位于该前级光放大器与该色散补偿器之间的第二增益均衡器。

5. 一个如权利要求 3 的光学放大器，还包括位于该前级光放大器与该色散补偿器之间的可变衰减器。

6. 一个如权利要求 3 的光学放大器，还包括：

连接器，该连接器位于该第三掺稀土元素光纤的上游和下游；

第一增强器，该第一增强器具有可与该下游连接器连接的连接器、并给第三掺稀土元素光纤提供反向泵浦光；和

第二增强器，该第二增强器具有可与该上游连接器连接的连接器、并给第

三掺稀土元素光纤提供正向泵浦光。

7. 一个如权利要求 6 的光学放大器，其中的第一和第二增强器均具有激光二极管和传感器机构，该传感器机构确定相应增强器是否连接，并在增强器不连接时减小相应激光二极管的功率输出。

说　明　书

光学放大器

1998年2月27日提出申请的日本专利申请No. 10-048454是本申请的基础和优先权申请，其内容在此引作参考.

本申请引用的参考文献是: 1998年2月6日申请的日本专利申请No. Heisei 10-26229，1996年5月28日申请的美国专利申请No. 08/655,027，和1997年4月28日申请的美国专利申请No. 08/845,847.

本申请涉及一种对多个不同波长的光信号实施波分复用（WDM），并经光纤传输线传输一个波分复用信号的波分复用光通信系统.

在建设未来的多媒体网络时，对建设这种未来多媒体网络所必需的更大容量的光通信系统的需求量将不断增加. 与因特网一样，宽带ISDN（B-ISDN）等越来越流行，而且由于在家欣赏动态图象通信需要处理几兆bps信息，所以不久将会需要一兆兆比特传输容量（Tpbs=1,000 Gpbs）的干线系统. 兆兆比特传输容量比当前电话网64kbps的通信容量大许多数量级. 所以，作为实现大通信容量的复用技术，时分复用（"TDM"），光时分复用（"OTDM"）和波分复用（"WDM"）等等其意义也更大了.

WDM技术利用掺铒光纤放大器（"EDFA"）宽的增益带宽直接以光的形式放大光信号，且该技术有可能是一种用于进行光交叉连接或分插(add/drop)操作，或用于实现光波网络的灵活的方法. 由于WDM技术研究与开发所取得的进展，在基于EDFA的波长复用光纤放大器领域中开发光纤放大器的设想也已经提出来.

波长复用光纤放大器是波分复用通信系统的关键部件. 波长复用光纤放大器通常用掺有诸如铒离子（Er^{3+}）等稀土离子的单模光纤来放大有多个波长的波分复用光信号. 最典型的掺铒光纤放大器具有宽达4THz的增益带宽，或者从1530nm至1565nm大约35nm的波长范围. 通过波长复用在该增益带宽内具有几十至一百不同波长的光信号可一步完成放大.

作为波分复用光通信系统主要部件之一的波长复用光纤放大器在同时放大多个具有不同波长的波长复用光信号时存在以下问题.

（1）放大一个多波长信号所需的宽带宽特性，

（2）在宽输入动态范围的增益波长曲线平坦化，

（3）各信道光输出的可控制性，

（4）色散补偿器的损耗补偿，及

（5）输入信道数波动时的光输出控制.

另外，波长复用光纤放大器应具有低噪声和高输出特性（或将泵浦光功率转变成信号光功率时具有高效率）.

当波长复用 EDFA 用作一个光信号放大中继器（在线放大器）时，在一个宽输入动态范围上增益波长曲线平坦化是严重的问题. 在一个宽的动态范围中，即使中继器的周期会引起不同损耗，但一个光学放大器已足够.

在保持良好质量的同时，在接收端必须接收每个波分复用信道，或每个波长. 为了实现这种接收，必须确定光放大中继器每个信道输出的上下限. 由于光放大中继器不能产生生成中继器的波形且不能抽取其时间标记，由此引起了与每个信道光输出可控制性有关的问题，并因此而使噪声积累起来. 确定出上限，以防止信号波形因发生在单模光纤或传输线上的诸如自相位调制（SPM），交叉相位调制（XPM），及四波混合（FWM）这些非线性效应而变差. 确定下限，以防止信噪比（“SNR”）因光纤放大器中放大的自发辐射（“ASE”）而变劣. 光纤放大器的每个信道（每个波长）的光输出必须在上限与下限之间.

色散补偿器的损耗补偿因在信号以例如 10 GHz 的高传输速率传输时波形失真而产生问题. 这是因为如果传输线是 1.3 μm 的零色散单模光纤（“SMF”），则处于EDFA的放大带宽中的具有 1.55μm 波长的光在传输线中产生约 18 ps/nm/km 的色散. 为了克服这一问题，应给各中继器提供一个与在中继器之间光纤中产生的色散相反的（负的）色散. 另外，应该用一个光纤放大器补偿色散补偿器的插入损耗.

当将一个波长复用光纤放大器装入一个光波网以形成交叉连接或分插操作(add/drop operation)时，与输入信道数波动的光输出控制有关的问题是一个严重的问题. 即，在工作期间，输入到该光纤放大器的信道数是变化的. 但是，各信道的输出必须保持在一个预定值.

为克服与输入信道书波动的光输出控制有关的问题，应设置一个光维护信道以用于控制该光纤放大器，并用该维护信道处理信道数的改变.

本发明的目的是提供一个能克服上述问题并适用于波分复用传输系统的光学放大器.

本发明的另一个目的是提供一个能减少制造、维修、和检验成本的光学放大器。

能实现本发明目的的光学放大器包括一个前级光学放大单元和一个后级光学放大单元。前级光学放大单元包括一个掺稀土元素的光纤和一个给该掺稀土元素的光纤输入泵浦光的泵浦光源。后级光学放大器包括一个第二掺稀土元素的光纤和一个给该第二掺稀土元素的光纤输入泵浦光的泵浦光源。一个可拆开的光耦合器连接该前级光学放大器和光学后级放大器。

能实现本发明进一步目的的光学放大器包括一个前级光学放大单元和一个后级光学放大单元。该前级光学放大单元包括一个用于传输具有多个不同波长的波长复用信号光的掺稀土元素光纤，该后级光学放大器包括一个第二掺稀土元素光纤。一个可拆开的光耦合器连接该前级光学放大器和光学后级放大器。一个增益均衡器设置在前级光学放大单元的输出端，以对掺杂光纤的与波长相关的增益特性进行补偿。

能实现本发明更进一步目的的光学放大器包括一个前级光学放大单元和一个后级光学放大单元。该前级光学放大单元包括一个用于传输具有多个不同波长的波长复用信号光、并输出一个放大光信号的掺稀土元素光纤。该后级光学放大器包括一个第二掺稀土元素光纤。一个色散补偿器用于补偿来自前级光学放大器的放大光信号的色散、并输出一个相应的信号。一个增益均衡器设置在第二掺稀土元素光纤的输出端，用于对第二掺稀土元素光纤的与波长相关的增益特性进行补偿，并向第三掺稀土元素光纤输出一个光信号。

下面结合附图详细说明本发明，附图中相同的字符表示相同的元件，其中：

图 1A 和 1B 是根据本发明优选实施例的波分复用传输系统的示意图；

图 2 是 SONET STS-1 帧的一个帧格式的示意图；

图 3 是 STS-1 帧格式的一个区段内务（SOH）和一个线路内务（LOH）的示意图；

图 4 是一个 STS-1 帧的内务字节分配示意图；

图 5 是 n 字节复用一个 STS-1 帧所得到的一个 STS- n 帧示意图；

图 6 是一个 OC-192(STS-192)的帧格式的示意图；

图 7 是具有图 1A 和 1B 的波分复用传输系统相应波长的光信号的波长分配(信道分配)表；

图 8 是波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMU B 基本结构的示意图；

图 9 是光在线放大器 LWAW 1-3 基本结构的示意图;

图 10 是用于根据图 6 信道分配方式转换现有传输装置的光信号波长的应答器基本结构示意图;

图 11 是光维护信道帧格式的示意图;

图 12 是插入光维护信道 OSC 每个时隙的字节信息内容的示意图;

图 13 是在一个光维护信道 OSC 的时隙 23 中多帧字节的多帧结构示意图;

图 14 是波长复用/解复用装置的光维护信道接口 OSCIA 的信号接收单元基本结构示意图;

图 15 是波长复用/解复用装置的光维护信道接口 OSCIA 的信号发射单元基本结构的示意图;

图 16 是光中继器的光维护信道接口 OSCI 基本结构示意图;

图 17 是设置在 RWAA、TWAA、和 LWAW1 中 OSC 接口 OSCIB、OSCIA、和 OSCIW1 之间的接口以及一个内务串行接口 OHS 的示意图;

图 18 是图 1A 和 1B 的波分复用传输系统中光信号源与噪声之间关系的示意图;

图 19 是一个光学放大器具体结构的示意图;

图 20 是另一个光学放大器具体结构的示意图;

图 21 是该光学放大器工作的示意图;

图 22 是该光学放大器工作的示意图;

图 23 是一个光学放大器工作的示意图;

图 24 是一个光学放大器工作的示意图;

图 25 是一个光学放大器工作的示意图;

图 26 是图 19 或图 20 的光学放大器控制单元的示意图;

图 27 是该光学放大器控制单元工作的示意图;

图 28 是该光学放大器控制单元工作的示意图;

图 29A 和 29B 分别是表示 DCM 损耗变化和输入功率变化的电平图;

图 30 是当信道数增加/减少时所用 OSC 监视/控制信息内容的示意图;

图 31 是当信道数增加/减少时所用 OSC 监视/控制信息内容的另一个可选示意图;

图 32 是当信道数增加/减少时各光学放大器操作顺序的另一个可选示意图;

图 33 是当信道数增加/减少时各光学放大器操作顺序的另一个可选示意图;

图 34 是当信道数增加/减少时各光学放大器操作顺序的另一个可选示意图;

图 35 是当信道数增加/减少时各光学放大器操作顺序的另一个可选示意图;

图 36 是当信道数增加/减少时各光学放大器操作顺序的另一个可选示意图;

图 37 是当信道数增加/减少时各光学放大器操作顺序的另一个可选示意图;

图 38 是当信道数增加/减少时各光学放大器操作顺序的另一个可选示意图;

图 39A－39D 共同表示当信道数增加/减少时各光学放大器操作顺序的另一个可选示意图;

图 40A－40D 共同表示当信道数增加/减少时各光学放大器操作顺序的另一个可选示意图.

下面将说明附图中所示的本发明的优选实施例，附图中相同标号代表相同的部件.

图 1A 和 1B 表示了本发明一个优选实施例的光学波分复用传输系统。按北美同步光学网（“SONET”）传输系统所约定的，在该光学波分复用传输系统中，不同波长（信道）被分配给 10Gbps 位速率的光信号帧 OC-192 和 2.4Gbps 位速率的光信号帧 OC-48. 例如，对多达 32 个信道实施波长复用并通过一个单模光纤 SMF 进行传输. 在说明中，假设各光信号从图 1A 左侧（西侧）输入并传输到图 1B 右侧（东侧），或从右侧输入并传输到图 1A 左侧（西侧）.

位于图 1A 西侧的 10-Gbps 传输装置 W1 包括一个光信号发射单元 OSW1 和一个光信号接收单元 ORW1. 该发射单元 OSW1 用符合 SONET STS-192 帧的 10-Gbps 电信号调制具有波长 λ 1 的光波，并输出具有符合 OC-192 光信号帧的波长为 λ 1（10Gbps）的光信号. 在下一级，该波长 λ 1 的光信号输出到设在波长复用/解复用装置 WMUX A 输出端的光可变衰减器 VATA 1. 光信号接收单元 ORW 1 接收符合 OC-192 光信号帧的波长 λ 1（10Gbps）的单波长光信号，该信号是从在波长复用/解复用装置 WMUX A 输出端上的光波长解复用器 RWDA 经单模光纤发送的，并且接收单元 ORW 1 再生一个符合 STS-192 帧的 10-Gbps 电信号. 位于图 1B 东侧的 10-Gbps 传输装置 E1 与位于西侧的 10-Gbps 传输装置 W1 具有相同结构，并包括一个光信号接收单元 ORE 1 和一个光信号发射单元 OSE 1. 光信号接收单元 ORE 1 接收来自在前级位于波长复用/解复用装置 WMUX B 输出端上的光波长解复用器 RWDB 的、符合 OC-192 光信号帧且波长为 λ 1 的单波长光信号，并再生一个符合 STS-192 帧的 10-Gbps 电信号. 发射单元 OSE 1 用符合 SONET STS-192 帧的 10-Gbps 电信号调制具有波长 λ 1 的光波并将具有符合 OC-192 光信号帧的

波长λ1（10Gbps）的单波长光信号输出到设在波长复用/解复用装置 WMUX B 输出端的光可变衰减器 VATB 1.

类似地，位于图 1A 西侧的 2.4-Gbps 传输装置 Wn 包括一个光信号发射单元 OSWn 和一个光信号接收单元 ORWn. 光信号发射单元 OSWn 用符合 SONET STS-48 帧的 2.4-Gbps 电信号调制具有波长λ1 的光波，并将具有符合 OC-48 光信号帧的波长λ1（2.4Gbps）的单波长光信号输出到设在波长复用/解复用装置 WMUX A 输入端的光可变衰减器 VATAn. 光信号接收单元 ORWn 接收来自前级位于波长复用/解复用装置 WMUX A 输出端上的光波长解复用器 RWDA 的、经单模光纤 SMF 发送的、具有符合 OC-48 光信号帧的波长λ1（2.4Gbps）的单波长光信号，并再生一个符合 STS-48 帧的 2.4-Gbps 电信号.

位于图 1B 东侧的 2.4-Gbps 传输装置 En 与位于图 1A 西侧的 2.4-Gbps 传输装置 Wn 具有相同结构，并包括一个光信号接收单元 OREn 和一个光信号发射单元 OSEn. 光信号接收单元 OREn 接收来自前级位于波长复用/解复用装置 WMUX B 输出端上光波长解复用器 RWDB、具有符合 OC-48 光信号帧的波长λ1（2.4Gbps）的单波长光信号，并再生一个符合 STS-48 光信号帧的 2.4-Gbps 电信号. 光信号发射单元 OSEn 用符合 SONET STS-48 帧的 2.4-Gbps 电信号调制具有波长λ1 的光波，并将具有符合 OC-48 光信号帧的波长λ1（2.4Gbps）的单波长光信号输出到设在波长复用/解复用装置 WMUX B 输入端的光可变衰减器 VATBn.

10-Gbps 传输装置 W1、E1 和 2.4- Gbps 传输装置 Wn、En 是构成现有 SONET 高速光通信网的光传输装置. 示于图 1A 和 1B 的光学波分复用传输系统从诸如图 1A 西侧的光传输装置 W1- Wn 接收波长复用（综合）光信号λ1-λn，利用波长复用/解复用装置 WMUX A 得到 32 个信道，并输出一个波长复用光信号（WDM 信号）. 该波长复用光信号输入一个现有单模光纤 SMF. 为了补偿该单模光纤 SMF 的损耗，包含作为光放大纤维的掺铒光纤的波长复用光纤放大器被用作一个光中继器，用该光中继器将波长复用光信号一起放大并传送到一个相对的光波长复用器 WMUX B. 光波长复用器（复用/解复用装置）WMUX B 将接收的波长复用信号波长解复用为与各信道对应的单波长光信号λ1-λn，并将波长解复用信号传送给图 1B 东侧的光传输装置 E1-En.

图 1B 只表示出 10-Gbps 传输装置 E1 和 2.4-Gbps 传输装置 En. 但由于波长复用传输取决位速率，因此一个特定信道可分配给一个来自例如 600-Mbps 传输装置（该装置传输符合 OC-12 光信号帧的光信号）等传输装置的具有不同传

输速率（位速率）的光信号.

为进行波长复用传输，各光传输装置光传输所用的波长必须不同. 但是现有光传输装置并不总是传输不同波长的光信号. 因此，在光信号被输入到波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 之前，用转发器或波长转换器（未示出）将波长转换成适用于波长复用传输系统的波长. 假定转发器（未示出）设置在图 A 和 1B 中波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 各信道的输入和输出端. 从光传输装置 W1- Wn 和从 E1- En 输入到波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 的光波长代表各现有系统的不同波长 λ 1-λ n。

从现有单波长光传输装置 W1- Wn 和 E1- En 输入到波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 的具有波长 λ 1-λ n 的光信号被输入到为处理具有相应波长（信道）的相应光信号设置的光可变衰减器（VATA1-VATAn 和 VATB1-VATBn）. 由于光信号从相应光传输装置输入到光可变衰减器传输环境依据相应光信号而不同，因此光强度设置得不同. 通过给每个信道设置光可变衰减器并调整进入光波长复用器 TWMA 和 TWMB 的光信号的输入强度，在各光信号经过波分复用传输系统传输时各波长的强度差被消除. 经光可变衰减器调整强度的光信号输入到光波长复用器 TWMA 和 TWMB，经波长复用，并输出为一个光波长复用信号（WDM）.

而后，该光波长复用信号输入一个光学后级放大器（“TWAA” 或 “TWAB”），该信号被光学后级放大器放大并输出. 该光学后级放大器 TWAA 或 YWAB 是一个波长复用光学放大器，它包含一个用于光放大的掺铒光纤和一个通常给用于光放大的掺铒光纤提供能量的泵浦光源. 泵浦光源单元 BSTA 和 BSTB 可根据信道（波长）数的增长而增加扩充. 如果泵浦光提供给掺铒光纤并且要以预定增益放大各信道的输入光信号，则泵浦光功率应随该信道数按正比增加. 当泵浦光源提供的泵浦光功率不足时，光信号就不能以预定的增益放大，因此需增加扩展的泵浦光源单元 BSTA 和 BSTB 以提高泵浦光功率.

如图 1A 和 1B 所示，由光学后级放大器 TWAA 和 TWAB 放大的光波长复用信号被分开并输入光谱分析器 SAUA 或光谱分析器 SAUB. 光谱分析器 SAUA 和 SAUB 检测被放大后包含在光波长复用信号内的各信道光信号的功率电平，并确认该功率电平值是否适宜. 光谱分析器 SAUA 和 SAUB 将该确认结果经 VATA n 反馈到 VATA 1、经 VATB n 反馈到 VATB 1，各反馈用于对各信道的各个输入进行处理，调整各光可变衰减器的光衰减以使光学前级放大器的输出值适宜，从而调整各信道光信号电平.

处理装置MCA单元和包含在光波长复用/解复用装置WMUX A中的HUBA以及处理装置MCB单元和用于WMUX B中的HUBB均是由LSI构成的监控器. 该装置处理光谱分析器SAUA、SAUB的检测结果和报警信号等. 其详细内容将在下文说明.

光中继器1-3包括光在线放大器LWAW 1- LWAW 3和LWAE 1- LWAE 3,并用作对经过单模光纤时被衰减的光波长复用信号进行放大的中继站. 用于扩展的泵浦光源BSTW 1- BSTW 3和BSTE 1- BSTE 2附加到相应的光中继器1- 3和光在线放大器LWAW 1- LWAW 3和LWAE 1- LWAE 3. 同时, 光中继器1- 3包括HUB 1- HUB 3和处理单元MC 1- MC 3, 这些装置是用于扩展的泵浦光源单元的监控器.

图1A和1B示出三个光中继器. 但光中继器不限于三个. 所需光中继器的数目应根据传输距离设定.

从光中继器3或1输出的波长复用光被输入在波长复用/解复用装置WMUX B或WMUX A中排列的光前级放大器RWAB或RWAA. 两个光前级放大器RWAB和RWAA是类似其它光后级放大器和光在线放大器的波长复用光学放大器. 光前级放大器RWAB和RWAA包括给掺铒光纤提供泵浦光功率的泵浦光源. 用于扩展的泵浦光源单元BSTB和BSTA排列在波长复用/解复用装置WMUX B和WMUX A中, 因信道数增加造成的泵浦光功率不足可通过给光前级放大器RWAB和RWAA提供泵浦光源而增加. 光前级放大器RWAB和RWAA将放大的光波长复用信号输入光波长解复用器RWDB和RWDA, 在这里该信号被解复用(分解)为具有相应波长的光信号. 各信道的波长解复用信号被应答器转换成由10-Gbps传输装置E1和W1、2.4-Gbps传输装置En和Wn的现有传输装置发射的光波长.

在图1A和1B中, 具有波长λ1的10-Gbps光信号输入到光传输装置E1中的光信号接收单元ORE1、和光传输装置W1中的光信号接收单元ORW1, 而具有波长λn的2.4-Gbps光信号输入到光传输装置En中的光信号接收单元OREn、和光传输装置Wn中的光信号接收单元ORWn. 即, 来自光波分复用系统一侧上10-Gbps光传输装置W1的光信号输入到另一侧上的10-Gbps光传输装置E1, 而来自光波分复用系统一侧上2.4-Gbps光传输装置Wn的光信号输入到另一侧上的2.4-Gbps光传输装置En.

在图1A和1B中, 10-Gbps光传输装置W1和E1、2.4-Gbps光传输装置Wn和En是钥匙形的. 位于下部的光学波分复用系统(b)两侧(与位于上部的光波分复用系统(a)两侧具有相同结构)上光信号传输单元OSE 1'、OSE n'、OSW 1'、

OSW n'分别与光接收单元 ORE 1'、ORE n'、ORW 1'、ORW n'对应设置. 这是因为由光学波分复用系统(a)和(b)构成了一个具有回路形(环形)拓扑的 SONET 环形网. 在光学波分复用系统(b)的下部和左右两侧分别与图 1A 的东侧和图 1B 的西侧对应, 光信号在环形状态下发射. 不过, 光学波分复用系统也可不总处在环形状态, 也可使用一个线性网.

下面说明由 SONET 传输系统处理的传输帧, 它是在图 1A 和 1B 所示的光学波分复用传输系统中相应信道λ1-λn 上所传输光信号的格式. 图 2 表示由该 SONET 处理的基本(同步传输电平"STS-1")帧格式. 传输帧 STS-1 含有 9×3 字节的内务 10, 其中存有诸如帧同步信号、奇偶校验信号等维修操作(监视和控制)信息. 传输帧 STS-1 还含有 9×87 字节的有效负载 20, 其中存储实际通信数据. 内务 10 和有效负载 20 总共有 9×90 字节信息. 90×9 字节(=810 字节)帧由 SONET 以每秒 8000 次的速率传输, 从而产生一个传输速率为 90×9×8×8000=51.84 Mbps 的信号. SONET 传输系统是北美的标准同步复用传输系统, 它符合 ITU-T 提出的国际标准(同步数字结构"SDH"). 在 SDH 传输系统中, 与 STS-1 对应的帧被称作同步转送模块层次(Synchronous Transfer Module Level)0 "STM-0".

如图 2 和 3 所示, 内务 10 包含制备的区内务 SOH 11 和线内务 LOH 12. 当通信在 LTE 与 ADM 之间或在 ADS 之间进行时, 内务 SOH 11 被终止且其内容在线端设备("LTE")或分插复用器("ADM")替换; 当通信在 LTEs 之间进行时, 内务 12 被终止且其内容在各 LTE 替换. 在 SDH 中, 区内务被称作中继区内务("R-SOH"), 线内务被称作复用区内务("M-SOH"), 有时两者均称作区内务("SOH").

内务 10 包含各种维修、操作信息项. 如图 4 所示, SOH 11 包含用于建立帧同步的字节 A1 和 A2、在区 11A 中的传输误差监控(位交织奇偶校验"BIP")字节 B1、为监视和控制区 11A 进行通信的数据通信信道("DCC")字节 D1- D3 (192-Kbps 数据链路). LOH 12 包含 BIP 字节 B2、线路 12A 上的自动保护开关 K1 和 K2、线路 12A 上的 DCC 字节 D4- D12 (576-Kbps 数据链路). 在图 2 和 4 中, 指示器(pointer)字节(管理单元, "AU" 指示器) 13 用一地址指示储存在有效负载 20 中的传输帧相位与管理数据单元(虚拟从属单元"VT")帧相位之间的差异. 指示器字节 13 允许 VT 帧同步迅速建立.

在 SONET 中, 具有这种帧结构的基本传输帧(STS-1)是以"n"帧(n=3,

12, 48, 192, 等）以字节为单位时分复用的，从而构成如图 5 所示的一个 STS-n 帧。例如，若 3, 12, 48 和 192 个 STS-1 帧分别字节复用，则相应产生诸如 STS-3（51.84Mbps×3=155.52Mbps），STS-12（622.08Mbps），STS-48（2.488Gbps），或 STS-192（9.953Gbps）的高速信号。注意，STM-N(N = n/3)对应于具有的传输速率与 STS-N 的传输速率相等的信号。

如图 6 所示，使用图 1A 和 1B 中所说明的 STS-192（光信号帧 OC-192）为例，该帧包含 9×567（3×192）字节的内务和 9×16, 704（87×192）字节的有效负载 20。注意，该内务的所有字节不被复用。即，具体的信号（如 A1, A2, B2（BIP 字节）等被 n 字节复用。其它控制信号与复用数量无关而保持恒定。因此，该内务的大部分当前未被使用。

使用图 1A 和 1B 所示的光学波分复用系统，与上述 STS- 192 和 48 对应的 OC- 192 和 48（光载波电平 192 和 48）被波长复用为 32 个信道，该波长复用帧经一个单模光纤传输为一个波长复用信号。

在图 1A 和 1B 所示的光学波分复用系统中，包含光在线放大器 LWAW 1- LWAW 3 和 LWAE 1- LWAE 3 的光中继器 1-3 沿单模光纤传输线 SMF 的线路设置。在图 1A 和 1B 所示的光学波分复用系统中所用的光放大器包括光后级放大器 TWAA、TWAB 和光前级放大器 RWAB、RWAA，该光放大器基本只能在掺铒光纤的放大带宽（增益带宽）上放大光信号。但是，光中继器 1-3 安装在远距节点 W 和 E 处的无人值守站中。因此，需能用某些方法或其它方式监控光中继器 1-3。另外，图 1A 和 1B 所示的光学波分复用系统能波长复用至 32 个具有不同波长（信道）的光信号，并用一个单模光纤 SMF 传输该波长复用信号。

在最先建立该系统时，发射仅具有 4 个波长（信道）的光信号并在通信量增大时再增加信道数，将有更好的成本效率。人们希望能在不停止使用系统的条件下增加信道数。由于给掺铒光纤馈能的泵浦光源有时不能满足上述信道数增加的需要，所以当增加信道数时，必须逐渐增加扩展泵浦光源 BSTW 1 - BSTW 3、BSTE 1- BSTE 3、及 BSTB。于是提供了一种根据信道数的增加对光中继器 1-3 进行控制的能力。因此，使用图 1A 和 1B 所示的光学波分复用系统，用于传输监视/控制光中继器 1-3 的信号的光维护信道“OSC”用一个具有掺铒光纤增益带宽以外波长（通常约在 1530 nm 至 1560 nm 之间的波长范围内）的光信号进行传输。

如图 1A 和 1B 所示，波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 进一步波长复

用从光维护信道接口 OSCIA 和 OSCIB 输出的带有该波长复用光信号(包含用于 32 个信道的光信号)并被光前级放大器 TWAA 和 TWAB 放大的监视/控制光信号，并将该波长复用信号输出给单模光纤 SMF. 在各光中继器 1-3 中，监视/控制信号被分离并且被输入到在线光放大器 LWAW 1- LWAW 3 和 LWAE1- LWAE 3. 该分离信号被输入光维护信道接口 OSCIW 1- OSCIW 3 和 OSCIE 1- OSCIE 3,并转换成传输给 HUB 1- HUB 3 的电信号. 从 HUB 1- HUB 3 输出的监视/控制信号被光维护信道接口 OSCIW 1- OSCIW 3 和 OSCIE 1- OSCIE 3 转换成一个光信号，再用放大的波长复用光信号复用，被在线光放大器 LWAW 1- LWAW 3 和 LWAE1- LWAE 3 输出为一个监视控制光信号. 在波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 中，监视/控制信号根据光前级放大器 RWAB 和 RWAA 的输入信号被分离，该分离的信号输入光维护信道接口 OSCIA 和 OSCIB，该输入信号转换成一个电信号. 包含波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 的 HUBB 和 HUBA 分析该被转换成电信号的监视/控制信号从而监视控制光中继器 1-3.

图 7 是在图 1A 和 1B 所示的光学波分复用系统中举例说明信道(波长)分配的表格. 如图 7 所示，根据 ITU-T 建议的草案 Gmcs，1552.52 nm 光波长被指定为参考波长,信道按采用掺铒光纤的光学波分复用系统中的波长(信道)分配以 100-GHz 间隔的格栅(Grid)分配. 由于图 1A 和 1B 所示的光学波分复用系统遵守这个建议草案，所以当 4、8、16 和 32 波长复用时，相应波长(信道)分配在有叉号的格中. 光维护信道 OSC 被设定成掺铒光纤增益带宽(放大带宽)以外的 1510 nm 的光波长.

当然，这一信道分配只是一个例子. 按照图 7 所示的信道分配，多达 16 个波长能利用掺铒光纤的一半增益带宽复用和传输. 与使用掺铒光纤整个增益带宽(1530 nm - 1560 nm)相比，带有掺铒光纤的光学放大器所要求的宽带宽特性更好.

在 4 波-WDM 的信道设置中,该 4 信道每个之间的信道间隔是 400GHz(即,约 3.2nm)，该信道间隔是最小信道间隔 100GHz 的四倍. 类似地，在 8 波-WDM 的信道设置中，该 8 信道每个之间的信道间隔是 200GHz(即,约 1.6nm)，该信道间隔是最小信道间隔 100GHz 的二倍. 通常,当光学滤波器的带宽较窄时,光学滤波器的成本较贵. 因此，较便宜的光学滤波器可用于 4 波-WDM 或 8 波-WDM.

下面说明光维护信道 OSC 的传输格式. 图 1A 和 1B 所示的光学波分复用传输系统使用如 OSC 传输格式的 1.544-MbpsDS1 格式. 图 11 表示 OSC 传输格式,

其中子帧 Sub1- Sub24 在 OSC 传输格式中构成一帧. 1 位帧同步位 F_1- F_{24} 处在相应子帧之间, 帧同步通过检测由子帧 F_1- F_{24} 形成的特定比特图实现. 一帧的第一位被鉴别. 子帧“Sub”包含 24 时隙(位). 包括图 12 所示内容的字节信息插入各子帧. 时隙 23 的字节信息具有复帧结构. 如图 13 所示, 在子帧的每个时隙 23 中, 一个复帧结构包含字节信息 8×24 位(24 字节). 一个复帧中字节 1-8 的内容如下.

1〕 字节 1-4(32 位)

WCR1-WCR4: 波长信道率

各信道(波长)传输率(10Gbps 或 2.4Gbps)由 1 位显示.

2〕 字节 5-8(32 位)

WCS1-WCS4: 波长信道状态

各信道是否占用(在使用)或空闲(未使用)由 1 位指示.

3〕字节 9-24

备用(备用字节)

在该字节信息中, 时隙 9-10、13-16 和 19-24 包含控制光学放大器所需的控制信息、特别是用于增加/减少信道数的控制信息, 这些时隙终止于设置在波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 及光中继器 1-3 中的 OSC 接口 OSCIA. 其它字节信息在管理复合“MC”单元终止并受到分析. 在 OSC 接口终止的信息将在下文说明.

每个 OSC 字节信息是编码信号反转(“CMI”)-编码和传输的. 因此, 示于图 11 的 DS1 帧的时钟速率将变成 1.544×2Mbps.

图 8 表示图 A 和 1B 所示的光传输装置 W1 和波长复用/解复用装置 WMUX A 的详细结构. 图 8 表示通过综合图 1A 和 1B 所示的光学波分复用传输系统(a)的上级(从 WEST 到 EAST)和下级(从 EAST 到 WEST)得到的结构并表示出一格. 光传输装置 W1 的光信号传输单元 OSW1 包含一个窄带宽光传输装置 1-1. 窄带宽光传输装置 1-1 包括一个由半导体激光器 LD 构成的光源和一个用 10-Gbps STS-192 信号对该半导体激光器 LD 输出的直流光输出进行振幅调制的外部光调制器 Mod. 采用 $LiNbO_3$ 晶体的 Mach-Zehnder 光调制器可用作外部光调制器 Mod. 从外部光调制器输出的光信号具有窄的频谱宽度. 来自 OSW1 的光信号输入到为各输出信号设置的可变衰减器模块 VATA1. 该光信号的部分在可变衰减器模块 ATA1 中被光耦合器 2-5 分解, 该分解信号被监控器 2-2 接收. 监控器 2-2 监视 OC-192

信号是否从节点 W 的光传输装置 W1 的光信号传输单元 OSW1 中输出. 这个信号被转换成一个电信号并输入光维护信道接口 OSCIA 2-4.

同时, 没有被光耦合器 2-5 分解的光信号输入可变衰减器模块 VATA1 的可变光衰减器 2-1, 并调整电源电平. 来自衰减器 VATA 2-1 的信号输入光复用器模块 TWMA 中的光复用器 3-1. 该光信号输入光复用模块 TWAM 以与其它具有不同波长的光信号波长复用, 这些具有不同波长的光信号从为其它信道设置的可变光衰减模块 VATA 2-VATA n (未示出) 输入. 光复用器模块 TWAM 将波长复用光信号输入光后级放大器模块 TWAA. 输入到光后级放大器模块 TWAA 的该波长复用光信号被 CPU4-1 控制的光前级放大器 4-4 放大并输入到色散补偿模块 DCM 中的色散补偿光纤 DCF. 色散补偿光纤用于对因经过位于光前级放大器 TWAA 与光在线放大器 LWAW1 之间的单模光纤 SMF 而在波长复用光信号中各信道光信号中产生的色散进行补偿, 并将该色散值分配给各信道的光信号. 将适宜的色散值分配给各信道光信号的该波长复用光信号被后级光放大器 4-5 再放大并输入光耦合器 4-6. 被光耦合器 4-6 分解的波长复用光信号的部分输入到光频谱分析器单元 SAUA 中的频谱分析器 5-2, 在此, 具有包含在被光前级放大器 TWAA 放大的光信号中的各波长 (信道) 的光信号的波长差和功率电平被测量. 然后, 测量结果输入 CPU 5-1. CPU 5-1 处理从频谱分析器 5-2 得到的波长复用光信号频谱测量的结果, 并在该结果的 VTVA1 中通知 CPUA1 2-3. 基于该测量结果, CPUA1 控制可变衰减器 2-1 的光衰减量并进而控制具有波长 λ 1 光信号的功率电平. 例如, 如果经检测各信道光信号的波长与图 7 所示的格栅相差一预定值 (如 0.5nm) 或更大, 则判断为已出现错误. 于是, 衰减器 2-1 的衰减量设定一个信号关闭状态以避免该光信号传输.

光后级放大器模块 TWAA 中的 OSC 接口 OSCIA 4-3 被告知由 OSCIA 接口 OSCIA 2-4 从监控器 2-2 接收的监视/控制信号. OSCIA 4-3 检查所接收的监视/控制信号中故障的存在/消失. 例如, 如果被通知关闭该信号, 则可变衰减器 2-1 的衰减量被最大化以防止该光信号输入光复用器 TWMA. 从 OSC 接口 OSCIA2-4 接收监视/控制信号后, 接口 OSCIA 4-3 将该信号传送给电光转换器 EO 4-2, 在此, 该信号被转换成波长 1510 nm 的监视/控制光信号. 一个 WDM 耦合器 4-7 将这个信号与从光前级放大器 TWAA 放大输出的波长复用光信号组合.

在由 OSCIA 4-3 接收的监控信号 (OSC) 中未终接的时隙 1-7、11、12、17 和 18 内由系统操作员传达的信息, 如联络线信号 OW、数据通信信道 DCC 等被传

输给中枢单元（HUBA）8 的内务串行接口 OHS 8-3. 一个告警信号被告警检测单元 ALM 8-5 检测，同时，该传输信号在告警检测单元 ALM 8-5 与 HUB 8-2 之间被处理。例如，用 ATM 信元在 OSCIA 2-4、OSCIA 4-3 和 HUB 8-2 之间，在 OSCIB 6-3、OSCIB 7-2 和 HUB 8-2 之间进行通信。用串行数据在 OSCIA 4-3、OSCIB 6-3 和 OHS 8-3 之间进行通信. OSCIA 2-4、OSCIB 6-3、和 OSCIB 7-2 接收来自 HUB 8-2 的监视/控制 ATM 信元、分析该 ATM 信元的 VCI、并根据其内容控制各单元。另外，OSCIA 2-4、OSCIA4-3 、OSCIB 6-3 和 OSCIB 7-2 接收来自各单元的监视/控制信号、将该信号输入一个 ATM 信元、并将该信元输出到 HUB 8-2. HUB 8-2 终接相应的 OSCIs. 即，HUB 8-2 使从相应 OSCIs 发出的 ATM 信元相容。也就是，HUB 8-2 分析发出的 ATM 信元的 VCI，根据其内容选择输出到 OHS 8-3 或输出到每一个 OSCIs，并将所选择的输出. HUB 8-2 与用于监视/控制其自身单元的监控器 MON 8-4 连接. 告警 ALM 8-5 监控的信息包括诸如来自各单元告警信息的终端、带有管理装置 MCA 单元的接口误差的信息等. 监控器 MON 8-4 基于来自 MCA 单元的控制信息从 ATM 信元激励信息，该信息从 HUB 8-2 输出并进行控制. 另外，监控器 MON 8-4 将在该单元内检测的告警信息等输入一个 ATM 信元、并将 ATM 信元输出到 HUB 8-2.

各信息用光信号的 OC-3 信号（150 Mbps）经一个光电转换器 8-1 从 HUB 8-2 传输到一个管理装置（管理复合“MCA”单元）. 在 MCA 单元中，信号在电光和光电转换器（EO 和 OE）9-3 之间交换，监视/控制信息和内务信息被个人计算机接口 PCI 9-1 识别. 该内务信息传输到 OH-MTRX 9-2，在此，内务被处理。监视/控制信息传输到一个用作控制台的个人计算机并被终接. MCA 单元设置成许多格。例如. 该单元能控制 6 格.

在波长复用/解复用装置 WMUX A 的接收侧，根据经单模光纤 SMF 从光中继器 1 接收的波长复用光信号，用光前级放大器模块 RWAA 中的 WDM 耦合器 6-6 分解该监视/控制光信号（具有 1510 nm 的波长），用光电转换器 6-2 将分解信号转换成电信号，该转换信号被 OSC 接口 OSCIB 6-3 终接. 另外，OSCIB 6-3 从 OHS 8-3 得到内务信息，并基于由 HUB 8-2 传输的监视/控制信息经 CPU 6-1 控制前级光放大器 6-4 和后级光放大器 6-5.

用于补偿色散的色散补偿模块 DCM 设置在前级光放大器 6-4 和后级光放大器 6-5 之间. 因经过在光中继器 1 与波长复用/解复用装置 WMUX A 之间的单模光纤传播而在各信道中产生的色散由色散补偿模块 DCM 中的色散补偿光纤补偿.

被光前级放大器模块 RWAA 放大的波长复用光信号由包含在光解复用器模块 RWDA 中的光解复用器 7-1 分解成具有各自不同波长的光信号. 该分解信号被 PIN 光二极管(PINPD)10-2 接收, 该二极管是光传输装置 W1 中光信号接收单元(ORW 1)的光接收器. 该信号转换成 10-Gbps STS-192 信号.

图 9 表示光中继器 1 的结构. 来自单模光纤的波长复用光信号从 OPT-IN1-OPT-IN4 的任一个输入到图 9 所示中继器格中, 并输入设置在对应板上的在线放大器模块(LWAW1)31. 首先, 该监视/控制光信号被 WDM 中继器 31-7 分解. 该分解信号由光电转换器 31-3 转换成电信号, 并输入 OSC 接口(31-6). OSCIW1 3+6 终接包含在如上所述的监视/控制信号中用于控制光放大器所需的控制信息的时隙 8-10、13-16 和 13-24, 并将剩余信息传输给 OHS 32-3. 该终接信息传输给 HUB 32-2. HUB 1 模块和管理装置 MC 操作与图 8 所示工作的相同.

已接收到监视/控制信号的 OSCIW1(31-6)通过与 HUB 32-2 通信处理该信息, 并通过给 CPU 31-5 输出控制信号控制前级放大器 31-1 和后级放大器 31-2 的放大比例. 没有被 WDM 耦合器 31-7 分解的波长复用光信号由受 CPU 31-5 控制的前级光放大器 31-1 放大, 并由色散补偿模块 DCMW1 进行色散补偿. 该色散补偿信号再由也被 CPU 31-5 控制的后级光放大器 31-2 放大. 而后, 该放大的信号与被电光转换器 31-4 转换成光信号的该监视/控制信号组合, 并从 OPT OUT1-OPT OUT4 输出.

图 9 所示的光中继器包括一个作为一格的光在线放大器模块 LWAW1, 并显示出可包括多达四个模块. 一个易于操作的光学装置可通过如上所述在一格上安装一个光学部件而装配成.

图 10 是说明用于转换光信号波长的应答器结构的示意图, 图 1A 和 1B 中未示出该应答器. 一个 OC-48 光信号从该应答器的输入端输入. 这个光信号输入到光电转换模块 41 中的 2.4-Gbps 光电转换器 O/E. 2.4-Gbps 时钟从光电转换器 41-1 输出. 同时, 诸如图 2, 13 所示出的内务信息的信息输入一个内务接口 OHS 41-3, 且该信号传输到 HUB 42. 导线设置在用于未来升级的光电转换模块 41 电路板的反向侧, 以使内务信息输入 OHS 42-3.

如上所述, OHS 42-3 发射/接收该内务信息, HUB 42-2 终接来自 OHS 41-3 的信号. 该信息作为一个光信号从 HUB 42-2 经光电转换器 42-1 传输到管理复合单元中的 HED 模块 43, 该光信号由光电转换器 43-3 转换成电信号. 转换成电信号的该信息被 PCI 43-1 分成内务和监视/控制信息. OH-MTRX 43-2 处理该内

务，作为控制端的个人计算机PC处理控制信息.

通过控制电光转换器E/O 41-2， OHS 41-3产生一个2.4-Gbps OC-48光信号并输出产生的信号．在此时，这个光信号（OC-48）的波长转换成由波分复用系统分配的信道波长.

图10表明光电转换模块41的格1-16的内容.从处理该信息的HUB模块42的各格上 OHS 42-3 的收集该内务信息和监视/控制信息．为各格设置应答器并将其安装在一个机架上，以使含有光导线与含有电导线的格之间相连接．于是可制成具有良好可操作性的光学装置.

图14是说明设置在图8的RWAA中OSCIB 6-3结构部分的示意图．输入到O/E模块的监视/控制光信号转换成一个电信号．基于该转换数据产生一个时钟信号，且该光信号输入CMI解码器52．该数据由CMI解码器52解码并输入到帧同步单元53．同时，时钟信号也输入到帧同步单元53．帧同步单元53检查监视/控制信号的数据帧．这一检查结果输入保护单元55，保护单元55将其与帧产生定时进行匹配．如果发现有预定数目的匹配，保护单元55将指示帧已同步的信号传输给帧同步单元53．同时，PG 54从CMI解码前的信号激励时钟，接收帧产生定时，并提供用于建立同步的该时钟．产生的时钟输入到帧同步单元53，用于检查一个帧.

当帧被同步时，用于进行帧同步处理的数据和该时钟信号输入解复用器58，光放大器监视/控制信号（波长信道故障“WCF”，波长信道率“WCR”，和波长信道状态“WCS”）被激励．BIP计算单元56从帧同步单元53得到奇偶校验，并将该奇偶校验传输给比较器57．比较器57对传输的奇偶校验与从解复用器58输出的奇偶校验位进行比较．如果它们匹配，比较器57将监视/控制信号不加改变地输出而不在保持单元59保持该信号．如图8所示，从保持单元59输出的监视/控制信号直接传输给HUBA模块8．在同时，从保持单元59输出的监视/控制信号经一个三级保护单元60输入一个选择器．由操作员输入的诸如WCR、WCS的监控信号（注明为“预备”）输入到选择器61．选择器61选择和输出接收的监视/控制信号或选择和输出根据收到工作的员通过规定软件输出的优先信号而来自操作员的监视/控制信号，并将该选择的信号输出到控制TWAA的本地CPU 6-1.

如果比较器57进行奇偶校验检查时出现错误，在先状态中保持在保持单元59中的相应监视/控制信号例如WCF、WCR和WCS就不输出．如果等待错误消除

并完成。保持单元59将信号WCF、WCR和WCS传送到HUBA模块.

图15是说明设置在图8所示TWAA中的OSCIA 4-3结构部分的示意图。包含在TWM模块中的OSCIA 4-3接收来自VATA模块中OSCIA 2-4的监视/控制信号WCF、WCR和WCS，同时接收来自操作员的WCR和WCS。WCF1～WCF32是由监控其自身状态的硬件产生的信号，这些信号输入复用器72和检查单元71。检查单元检查接收到了哪个信号，对每个信号进行监控并完成奇偶校验等等。检查单元71根据检查内容控制该复用器而复用和输出WCF1～WCF32。一个19-Mbps ATM接口将WCR和WCS输入到一个预备单元73。预备单元73确认来自操作员的输入是否转换到从VAT模块的输入方式。该也对WCF进行模式设定。即要确认复用器的输入是来自VAT模块中的OSCIA 2-4还是来自操作员。

在这个方式中，复用器76具有从VAT模块中的OSCIA 2-4输入的监视/控制信号，或具有来自操作员的监视/控制信号。条件单元74监控哪一个信号是作为各自的监视/控制信号（WCF、WCR和WCS）输入的。

复用器76复用如WCF、WCR和WCS的监视/控制信号，并将该复用的信号输入一个帧产生单元79。BIP计算单元75从来自复用器76的信号阅读奇偶校验，将该奇偶校验反馈到复用器76的输入，并将该奇偶校验值分配给该奇偶校验位。

来自PG78的时钟输入一个帧发生单元79。这个时钟是通过用数字PLL 77控制从4-9MHz输出周波的相位并调节成的一个时钟信号。帧发生单元79将来自PG78的时钟信号输入到复用器76。复用器76根据这个时钟信号复用各信号。由帧发生单元79产生的数据帧与时钟信号一起输入CMI编码单元80并进行CMI编码。而后该数据帧与该时钟信号一起输入E/O模块81，并从电信号转换成光信号。之后，该光信号与由光放大器放大的主信号作为监视/控制信号混合。

图16是说明图9中所示中继器的LWAW1模块中包含的SOC接口OSCIW 31-6的结构示意图。

图16的OSCIW 31-6是通过将图14的OSCIA 2-4的输出与图15的OSCIB 6-3的输入连接构成的。即，被一个耦合器分解的监视/控制信号输入到O/E模块91，并转变成一个电信号。该电信号与时钟信号一起输出到CMI解码器92，并再与该时钟信号一起输入帧同步单元94。如上所述，保护单元95确定该帧同步是否达到预定的次数。PG 93从在前面被CMI解码的电信号阅读该时钟信号，将该时钟信号与来自保护单元95的帧同步信号混合，并将该帧同步建立时钟输入帧同步单元94.

实施帧同步的监视/控制电信号与 PG 93 产生的时钟信号一起输入一个解复用器 97，并解复用成相应监视/控制信号（WCF，WCR 和 WCS 等）。一个奇偶校验位输入比较器 98，在这里，该奇偶校验位与 BIP 计算单元 96 从实施帧同步的电信号读取的奇偶校验进行比较。如果它们匹配，该相应解复用的监视/控制信号不改变地通过保持单元 99，并输入复用器 104。如果该奇偶校验不匹配，该相应监视/控制信号留在保持单元 99 直到它们匹配。

从保持单元 99 输出的该相应监视/控制信号传输到一个三级保护单元 100，在这里它们经三级保护后输入一个选择器 102。操作员将一个指令经 19-Mbps AMT 接口输入一个预备单元 101，并将 WCR 或 WCS 输入选择器 102。由本地 CPU 接收的监视/控制信号或由操作员输入的监视/控制信号基于操作员输入的优先信号而传输。

预备单元 101 对于确定该接收的监视/控制信号或由操作员输入的监视/控制信号是否传输到输出端进行模式设定。根据这个模式设定，使接收的监视/控制信号或由操作员输入的监视/控制信号输入一个复用器 104 并进行复用。应注意，WCF 信号是一个操作员不能设定的参数，其模式不转换。BIP 计算单元 103 从复用器 104 输出的信号读取奇偶校验，将奇偶校验反馈到复用器 104 的输入端，并设定奇偶校验位。

通过数字地控制从振荡器 109（DPLL 107）输出的 49 MHz 周波的相位并将其调节成时钟信号（PG 106）而得到的信号被输入一个帧产生单元 105 并用于产生一个帧。如上所述，这个时钟信号也输入复用器 104 并为复用信号提供定时。装入一个帧的监视/控制信号由 CMI 编码单元 108 用时钟信号进行编码，基于时钟信号将电信号转换成一个光信号，与由光放大器放大的主信号混合，并输出到一个传输线。

图 17（A）-17（C）是说明图 14-16 所示 RWAA、TWAA 和 LWAW1 中位于 OSC 接口 OSCIB、OSCIA 和 OSCIW1 之间的接口以及内务串行接口 OHS 的示意图。

如图 17（A）所示，HUB 模块和 TWAA 中的 OHS LIS 与 TWAA、RWAA、LWAW1 中 OSC 接口 OSCI LSI 之间的通信经过一个 19-Mbps 串行数据电缆进行。因通信是双向的，所以使用两个电缆。

图 17(B)表示从 OHS 传输到 OSCI 的数据格式。该数据的第一位是起始位。检查起始位可识别输入的数据。起始位之后数据包含 32 位。接收数据时计算奇偶校验，并通过附加在数据后部的奇偶校验确认该数据是否被正确地接收。假定

图 17(B)中的奇偶校验是奇数. 奇偶校验之后有一个指示该数据结束的停止位.

图 17(C)表示从 OSCI 传输到 OHS 的数据格式. 在这里, 数据具有与图 17(B)基本相同的格式. 数据从一个起始位开始, 起始位之后是 32 位数据区, 数据在一个停止位结束. 与图 17(A)的方式类似, 在接收数据区时检查奇偶校验, 并用奇偶校验位的值与该奇偶校验比较. 如果它们匹配, 则确认该数据被正确接收. 如果它们不匹配, 则确认该数据没有被正确接收.

使用本发明优选实例的光波长复用放大器的光波分复用传输系统中的信号与噪声之间的关系示于图 18. 虽然图 18 表示一个设置了线性通信路径的系统, 但设置环形通信路径的系统也是类似的.

图 18 的光波长复用传输系统包含一个光后级放大器 TWAA、一个用于传输光信号的单模光纤传输线 SMF、和一个光前级放大器 RWAB. 光在线放大器 LWAW1-LWAW3 设置在传输线 SMF 和监视/控制光信号处理单元 OSCIA、OSCIW1、OSCIW2、OSCIW3 和 OSCIB 上. 待传输光信号的功率转换和光后级放大器 TWAA 引起的噪声(ASE 噪声等), 与距该光后级放大器 TWAA 的距离之间的关系示于图 18 下部.

由后级放大器 TWAA 放大的光信号通过传输线 SMFA. 当该光信号到达光在线放大器 LWAW1 时, 光信号功率变弱. 变弱的光功率被光在线放大器 LWAW1 放大和传输, 并被传输线 SMFW1 以类似方式衰减. 当光信号通过传输线传输时, 即直到该光信号转换成一个电信号且在被一个光接收单元接收后该信号再产生前, 该处理重复进行. 因传输线损耗减弱的该信号被一个光放大器重复放大并传输. 如果光信号被具有掺铒光纤的光放大器放大, 在光放大器中会产生噪声, 尤其是放大的自发发射噪声. 虽然通过传输线 SMF 时噪声被衰减, 但该噪声与光信号一起被光放大器放大.

由于由不同制造商提供和不同年代制造的传输线均在使用, 因此传输线的损耗特性不一致. 即, 当光放大器间的距离(SMF 的长度)变化时, 如果使用了低透明度光纤 SMF 或使用了断开后被修复(接合)的光纤 SMF 被使用, 光放大器 LWAW1LWAW3 和 RAWB 必须吸收不同光输入功率之间的差别、将光信号放大到一个预定输出、并输出该信号.

采用 WDM 光通信系统, 一个具有多个信道的光信号(主信号)被波长复用和传输, 同时, 借助一个用于监视控制传输状态的光维护信道对一个监视/控制信号(监控信号“SV”信号)进行类似的波长复用和传输. 在光在线放大器 LWAW1-LWAW3 和光前级放大器 RWAB 中, 该主信号被放大. SV 信号被 SV 信号处

理单元 OSCIW1-OSCIW3 单独解复用和单独处理，再用该主信号波长复用 SV 信号并传输.

图 19 和 20 是说明用于图 1A 和 1B 中的波分复用传输系统的波长复用光放大器（TWAA、LWAW1-LWAW3、和 RWAB）的示意图. 图 19 和 20 的光放大器用于复用和传输图 1A 和 1B 中所示的多达 32 个信道的不同波长. 除了携带该主信号（OC-48 或 OC-192）的具有 32 个波长的该光信号外，用一个不同于该光信号的 32 个波长并因而在掺铒光纤（1510 nm）增益带宽之外的波长（光维护信道：在掺铒光纤 1510 nm 增益带宽之外的该波长）对用于监视和控制该系统的一个监视/控制信号（SV 信号）进行复用和传输.

当一个波长复用信号输入一个光在线放大器时，先由一个 WDM 光耦合器（WDM 1）抽取 SV 信号. 抽取的 SV 信号输入一个 WDM 2 光耦合器（WDM 2），在此，该 SV 信号再被抽取. 由于当 SV 信号只通过一个 WDM 耦合器时没有很好的波长分解，且存在该主信号的部分波长，因此该 SV 信号通过设置在两级的两个 WDM 光耦合器（WDM 1 和 WDM 2）. 其结果，该信号被接收，该 SV 信号的 SN 比（信号对噪声的比）通过完全滤除该主信号的波长分量而改善. 分解的 SV 信号输出到图 19 和 20 主信号光在线放大器的外侧，并被一个 SV 信号处理单元（OSCI）处理. 而后，该 SV 信号再与主信号混合，并输出到传输线 SMF.

从第一 WDM 耦合器（WDM 1）输出的信号到达一个分束器 BS1. 分束器 BS1 以例如 10 对 1 的比例分解整个主信号的功率，以使光信号的 10/11 输出到一个 隔离器 ISO1.

被分束器 BS1 分解的光信号的 11/1 输入 WDM 3，WDM 3 是一个光输入监控器. 不包含在该主信号中的波长成份被除去，该信号被一个光二极管 PD 1 接收. 作为放大介质 EDF（掺铒光纤）EDF 1 的输入端功率电平，被二极管 PD 1 接收的主信号的电平输入到一个自动增益控制/自动功率控制模块 AGC/APC. EDF 1 是一个位于第一级或前级的光放大单元.

传输到隔离器 ISO 1 的光信号不改变地输入 EDF 1 并被放大. 具有 980nm 输出波长的激光二极管 LD 1 提供用于放大光信号的能量（泵浦光功率）. 分别具有 1460nm 输出波长的激光二极管 LD 2 和 LD 3 也提供能量. 来自激光二极管 LD 1 的泵浦光经 WDM 耦合器输入 EDF 1. 当用 WDM 耦合器混合时，如果传输到 EDF 1 的泵浦光受到很大损耗，激光二极管 LD 1 的大多数输出将被消耗. 因此，应使用损耗极小的 WDM 耦合器.

激光二极管 LD 1 的输出波长利用掺铒光纤“EDF” 980nm 的吸收带宽激发掺铒离子的能级，并根据掺铒光纤中产生的受激发射而放大一个输入的波长复用光。由于该 EDF 的 980- nm 放大带宽的工作带宽（波长宽度）窄，所以应使激光二极管 LD 1 的振荡波长稳定化。精确的 980 nm 的泵浦光应使用一个光滤器激励。同时，激光二极管 LD 2 和 LD 3 的泵浦光应分别在垂直和水平方向偏振。但是，来自 LD 2 和 LD 3 的偏振光被一个偏振分束器（PBS）混合。因此，两泵浦光能量无损失地混合。

一个 WDM 耦合器将该偏振混合的泵浦光传输给 EDF。将来自激光二极管 LD2 和 LD3 的泵浦光传输到 PBS 的传输线是一个用 PANDA 光纤保持从激光二极管 LD 2 和 LD 3 输出泵浦光（激光束）偏振的偏振保持光纤。如上所述，在激光二极管 LD 2 和 LD 3 的泵浦光用于反向激励的同时，激光二极管 LD 1 的泵浦光用于正向激励。因此，激光二极管 LD 1 的泵浦光沿着与主信号传输方向相同的方向前进。同时，激光二极管 LD 2 和 LD 3 的泵浦光在光在线放大器输入端沿着主信号传输方向的反向前进。

隔离器 ISO 1 防止激光二极管 LD 2 和 LD 3 的泵浦光沿该反方向前进。但是，由于激光二极管 LD 2 和 LD 3 的泵浦光不能被完全隔离，所以光二极管 PD 1 可接收到激光二极管 LD 2 和 LD 3 的一些泵浦光。当光二极管 PD 1 接收到一些泵浦光时，主信号的实际功率电平不能检测，AGC/APC 控制产生问题。因此，以分束器 BSI 10 对 1 比率分解的用于监控的波长复用光的 1/11 再通过一个长波通过滤波器（LWPF）。这样可避免激光二极管 LD 2 和 LD 3 的泵浦光反向前进，使光二极管 PD 1 只能接收主信号（波长复用光）。

激光二极管 LD 1（振荡频率 = 980 nm）和激光二极管 LD 2 和 LD 3（振荡频率 = 1460 nm）用于给 EDF 1 提供放大的泵能量。激光二极管 LD 1- LD 3 用于给 EDF 1 提供足够的放大能量。即，由于只用一个激光二极管难以提供足够的泵浦光功率，因此在这个实施例中使用多个激光二极管（当然，如果一个激光二极管能够提供足够的泵浦光功率，则使用一个二极管）。另外，激光二极管 LD 1 用于正向激励，并在主信号刚进入 EDF 1 时对已衰减主信号进行放大。当主信号输入 EDF 1 时，由于主信号通过一个长的光传输线 SMF 传输，主信号的光功率被减小。如果这个光信号用 EDF 放大，则会产生噪声。

但当主信号在 EDF 的 980 nm 频带被放大时产生的噪声可被抑制（约 3 dB，接近达到的理论极限），该主信号不会埋在噪声中。但应注意，将泵浦光能量转

换成 980nm 频带的主信号能量的效率略低于转换成 1480nm 频带的主信号能量的效率. 因此, 放大光信号时, 在前级用 980nm 频带放大, 在后级用激光二极管 LD 2、LD 3 等的 1480nm 频带放大. 即, 一个反向激励方法用于激光二极管 LD 2、LD 3 等的激励, 其中, 在用激光二极管 LD 1 不降低 SN 地放大到某种程度之后, 已通过 EDF 的光信号由激光二极管 LD 2 和 LD 3 的泵浦光放大. 尽管在与激光二极管 LD 2 和 LD 3 振荡频率相对应的 1480nm 频带的放大特性引起噪声, 但泵浦光功率以较高的效率转换成主信号. 于是得到较强的主信号输出。应注意, 可用例如具有 980nm 波长的一个激光二极管代替所述的三个激光二极管 (LD 1、LD 2 和 LD 3).

图 21 是概括 EDF 激励频带特性的表。如图 21 所示, EDF 具有两个实际激励频带. 一个是激励频带 980nm 频带, 另一个是 1480nm 频带. 980nm 激励频带 (EDF 的吸收带) 约等于从 970 到 985nm 的 15nm. 对于放大器的 NF (噪声系数) 可达到约 3dB, 该值是低噪声的理论极限. 但是, 将泵浦光功率转换成光信号功率的效率是 63%, 这是较低的.

1480nm 激励频带约是从 1450 到 1500nm 的 50 nm, 它是较宽的. 注意, 1480nm 频带包括在 1460nm (1450nm 至 1470nm) 和 1480nm (1470 nm 至 1500 nm) 的两个子频带. 由激光二极管 LD 2 和 LD 3 进行的反向泵浦位于 1460nm 子频带内. 所以, 既使泵浦光波长略有偏移仍可得到放大作用. 一个放大器的 NF 是 4.5 dB, 这是较大的. 但将泵浦光功率转换成光信号功率的效率等于或大于 95%, 这是很高的. 为得到有效的放大操作, 应使用 1480nm 频带.

再参看图 19 和 20, 由 EDF 1 放大的光主信号通过隔离器 ISO 2, 并输入到增益均衡器 GEQ 1. 设置隔离器 ISO 2 是为关断从增益均衡器 GEQ 1 和连接器 1 返回的光. 如果存在从增益均衡器 GEQ 1 和连接器 1 返回的光, EDF 1 易受到反作用, 并开始振荡. 于是 EDF 1 的工作变得不稳定, 导致光放大器的性能变差. 所以设置隔离器 ISO 2 以避免 EDF 1 的工作变得不稳定. 另外, 上述隔离器 ISO 1 还防止激光二极管 LD 2 和 LD 3 的返回光振荡, 该返回光到达设在光在线放大器 LWAW 1 的输入单元中的连接器, 并产生反射.

增益均衡器 GEQ 1 是一个使 EDF 的增益特性平直的滤波器. 如图 22 (A) 所示, 在 1530nm 和 1560nm 之间, EDF 的增益特性具有一个波动形的特性. 因此, 如果被复用各信道的波长 (主信号) 处在这个波长范围, 则波峰放大率高而波谷放大率低. 所以, 如果波长复用主信号被 EDF 放大, 则具有不同波长的各信号

的放大增益不同。其结果，在放大的波长复用光的不同波长之间产生电平差。在传输线中传输的光信号的功率应较高以便不埋没在噪声中。但是，如果功率太强，则诸如自相位调制、交叉相位调制、四波混合等非线性作用变强，使波形变差。因此，在传输线中传输的光信号对于各波长具有光功率的上下限制，具有每一波长光信号的功率应在这些上下限之内。如果各波长的功率电平不同，则应设定具有最高电平的波长的光信号以便不超过该上限。尽管希望具有高功率，但具有其它波长光信号的功率不能达到该上限。结果，各波长的信噪比下降，使得传输系统的工作情况变差。如果具有相应波长的所有光信号的功率强度相同，所有光信号可放大到该上限，就可改善传输系统的工作状况。因此应利用增益均衡器 GEQ 1 消除由 EDF 增益的波长变化引起的波动。

如图 22（B）所示，增益均衡器 GEQ 1 被制造成在 EDF 增益大的部分其透过率低、在 EDF 增益小的部分其透过率高。使被 EDF 1 放大的波长复用光通过一个滤波器，可得到一个如图 22（C）所示的具有基本平直的增益特性。

如图 19 所示，一个增益特性平直的光输出被分束器 BS 2 分解，该输出光被光二极管 PD 2 接收。被光二极管接收的该光的结果作为输出光电平被输入 AGC/APC 模块。AGC/APC 模块对先前在 EDF 1 输入端被 PD 1 接收的功率与在 EDF 1 输入端被 PD 2 接收的功率进行比较，并控制激光二极管 LD 1-LD 3 的泵浦光功率以使放大率（增益）变为常数。在这种情况下，EDF 1 的自动增益控制由 AGC/APC 模块执行。APC 用于控制相应泵浦光源 LD 1-LD 3 的输出光功率以使它们变成常数。通常，自动功率控制通过监控激光二极管 LD 1-LD 3 的返回光或偏置电流进行控制，以使输出光电平变成常数。

由于相应波长功率散射的缘故，即使反馈的是增益不平直的输出，来自 EDF 1 的光也要通过增益均衡器 GEQ 1 并反馈到 AGC/APC 模块，而且当通过增益均衡器 GEQ 1 之前输出被反馈时，由于增益均衡器 GEQ 1 引起增益损失，将不能实现精确的 AGC/APC。

图 19 和 20 所示的波长复用光放大器放大具有 32 个波长的波长复用光。但是，如果不使用该 32 个波长，则使用具有哪些波长的光信号将取决于购买和建立该系统的用户所作的选择。因此不知道具有哪些波长的光信号被使用。不过，如果增益不平直，系统状况基于所用波长而变化。这就不能实现稳定的传输特性。

用增益均衡器整平了 EDF 的特性，则即使所用光信号具有任意波长，光在线放大器的放大增益也几乎是一个常数。因此，系统可实现稳定地工作。

如上所述，由于输入到光在线放大器的光信号功率基于光在线放大器的安装位置而变化，因此，AGC/APC 在光在线放大器的前级实施。即，用于传输线的光在线放大器之间的光纤长度可依据系统结构而改变。此外，如果使用目前制造的光纤，则传输率高而损耗低。而过去制造光纤的传输率低、损耗大。因此，输入到光在线放大器的光信号的功率电平不是常数。

不过，尽管输入波长复用光信号的功率电平不同，但光在线放大器是否安装在任何条件下都正确操作或以相同方式操作很重要。即使输入波长复用光信号的功率电平不同，但 AGC/APC 使增益恒定。于是，各信道的光信号可用几乎相同的增益放大。但是，虽然增益是常数，如果输入波长复用光的电平不同，出自 EDF 的放大波长复用光的输出电平就会不同。

当系统使用标准的光在线放大器时，不同的输入电平会使光在线放大器的输出电平产生波动。因此，已通过分束器的主信号（波长复用光）输入到一个可变衰减器 VATT。如果输入功率增加或泵功率已达到最大，则 APC 转换到 AGC。在这种状态下，如果 EDFs（EDF1，EDF 2-1 和 EDF 2-2）的总增益是常数，则可得到有关增益的所需波长特性。该总增益是重要的。EDF 2-1 或 EDF 2-2 能补偿 EDF 1 中的增益下降以保持 EDF1，EDF 2-1 和 EDF 2-2 的总增益恒定。

设置的可变衰减器 VATT 能根据施加的电压值调节光衰减量。可变衰减器能用 AGC/APC 调节放大的波长复用光信号的输出功率电平。已通过该可变衰减器的光信号被分束器 BS 3 分解。一个分解信号被光二极管 PD 3 接收。PD 3 接收的光信号功率电平输入 ALC 模块，并调整为恒定。该光信号功率被调节以将适当功率的波长复用光信号输入到与连接器 1 和 2 相连的色散补偿模块 DCM 中的色散补偿光纤，以稳定该可变衰减器的状态。为了增加输出功率，可用 AGC 提高增益或用 APC 降低衰减器损耗。

色散补偿模块 DCM 补偿因光信号通过光传输线产生的色散所造成的波形变差。为了用色散补偿模块 DCM 中的色散补偿光纤 DCF 有效地补偿光信号的波形变差，输入信号的功率电平必须高到不被噪声埋没，当该功率电平不够高时色散补偿模块中产生非线性作用。具体地，色散补偿光纤 DCF 的芯径（约 3-4μm）小于普通 SMF 的芯径，并集中光功率。所以易产生非线性光作用。为避免色散补偿光纤 DCF 的非线性光作用，输入光信号功率电平的上限必须严格监视。因此，在分束器 BS 3 中通过实施 ALC 调节光信号的功率电平。

如图 20 所示，输入色散补偿光纤 DCF 的光信号被色散补偿并从连接器 2 再

输入到构成后级（第二级）光放大单元的 EDF 2. 这个光信号被分束器 BS 4 分解，该分解信号由光二极管 PD 4 接收. 光二极管 PD 4 接收的分解信号用于确定色散补偿模块 DCM 是否与光连接器 1 和 2 相连. 如果色散补偿模块 DCM 断开，EDF 1 放大的光信号不改变地向外输出，导致危险状态. 因此，光二极管 PD 4 接收光以便确定来自 EDF 1 的光信号（波长复用光）是否已通过色散补偿模块 DCM. 该光接收的结果传输给 AGC/APC 模块. 如果该光信号已传输，则不进行处理. 如果该光信号的输入电平等于或小于预定值，则确认连接在色散补偿模块 DCM、前级光放大单元、和后级光放大单元之间的连接器 1 和 2 中的一个或两个未插接. 因此，EDF 1 的放大率（增益）降低且光信号强度设定成一无害电平，或放大作用因来自激光二极管 LD 1-LD 3 的泵浦光停止而被延迟. 结果，当色散模块 DCM 断开时，从连接器 1 输出的光信号的功率电平变低. 既使操作员靠近该光放大器也可避免受到伤害.

如图 20 所示，光二极管 PD 4 接收该光信号的结果也输入到 AGC 模块，该光信号的功率电平提供给 AGC 的输入端. 已通过分束器 BS 4 的主信号输入到光隔离器 ISO 3，该主信号通过 ISO 3 传输. 光隔离器 ISO 3 确定光的传输方向，以使 EDF 2-1 不因来自连接器 2 的反射光而振荡. 通过隔离器 ISO 3 的光信号输入到 EDF 2-1 并被放大. EDF 2-1 的泵浦光从激光二极管 LD 4 提供，其振动波长是 980 nm. 来自激光二极管 LD 4 的泵浦光通过 WDM 耦合器与该光信号混合，并传输到 EDF 2-1.

WDM 耦合器能以小损耗与光信号混合. 只用 980 nm 频带的泵浦光在 EDF 2-1 进行放大. 如上所述，由于在 980 nm 带宽中噪声的产生可抑制到一个理论极限，所以这个带宽对微弱光信号的放大有效. 即，输入到 EDF 2-1 的光信号能通过长约 10 km 的色散补偿光纤 DCF. 相应地，光信号功率被衰减. 色散补偿光纤 DCF 的损耗大于 SMF 的损耗. 假定约 1，000 ps/nm 的损耗需要补偿，色散补偿光纤 DCF 的损耗将变到约 10 dB. 由于输入到 EDF 2-1 的波长复用光受到这样大的衰减，所以用 980- nm 频带的泵浦光进行抑制噪声的放大. 激光二极管 LD 4 由 AGC 反馈控制并改变功率输出以调节 EDF 2-1 的增益.

由 EDF 2-1 放大的光信号通过光隔离器 ISO 4，并输入到增益均衡器 GEQ 2. 增益均衡器 GEQ 2 的工作与参照图 22 所作的说明相同. 增益均衡器 GEQ 2 用于使 EDF 2-1 和 EDF 2-2 的增益特性平直. 隔离器 ISO 4 不使来自增益均衡器 GEQ 2 的反射光输入 EDF 2-1，这也避免旋转光使 EDF 2-1 振荡.

因为增益均衡器 GEQ 2 设置在 EDF 2-1 和 EDF 2-2 之间，所以可得到低噪声系数，并能始终高效地将泵浦光功率转换成信号功率.

已通过增益均衡器 GEQ 2 的光信号通过 WDM 耦合器和一个光隔离器 ISO，并输入到 EDF 2-2. 来自如图 19 所示的泵浦光源的增强器 BST 2 的泵浦光从 WDM 耦合器输入. BST 2 的内部结构在下文说明. 分束器 BS 5 位于连接器 3 和 WDM 耦合器之间. 标号 1 指示图 19 的 BST-2 如何连接到图 20 的 EDF 2-2. 用于分解来自使增强器 BST 2 扩展的泵浦光源单元的泵浦光的路径确定该来自增强器 BST 2 的泵浦光是否正常地输入. 分束器 BS 5 分解的泵浦光功率电平调节后，该功率电平由光二极管 PD 5 接收.

光二极管 PD 5 得到表明来自连接器 3 的泵浦光是否被正常接收的结果，将结果通知增强器 BST 2，但不显示. 如果该结果表明，尽管增强器 BST 2 的泵浦光源发射，但光二极管 PD 5 不接收该泵浦光，则确认连接器 3 未插接、并且泵浦光源的泵浦光可能泄漏，这时如果任何人靠近该光放大器是危险的. 因此应关闭增强器 BST 2 的泵浦光源.

用正向激励法将来自增强器 BST 2 的泵浦光提供给 EDF 2-2. 反向激励法也用于放大该光信号输出. 即，提供振荡波长是 1460 nm 的激光二极管 LD 5 和 LD 6. 激光二极管 LD 5 和 LD 6 是内泵浦光源，它们根据来自 AGC 模块的控制调节 EDF 2-2 的增益. 用于扩展泵浦光源的增强器 BST 1 与连接器 4 连接以获得大输出的光信号. BST 1 的内部结构将在下文与扩展的增强器 BST 2 一起说明.

应注意，泵浦光源的数量、例如增强器 BST 1 和 BST 2 中的 LD 5、LD 6 和 LDs 只是一个说明例. 如果以较少 LDs 可得到所需的泵浦功率，则可减少泵浦光源 LDs 的数量.

为了监控连接器 4 的连接和断开，用与分束器 BS 5 类似的方式设置分束器 BS 6. 分束器 BS 6 分解来自增强器 BST 1 的泵浦光，该分解光经衰减器 ATT 2 被光二极管 PD 6 接收. 这一经传输线指示给增强器 BST 1 的光接收结果未示于图 20. 尽管泵浦光源发射，如果确认连接器 4 未插接，则应关闭增强器 BST 1 的泵浦光源.

EDF 2-2 在泵浦光能量转换成光信号的转换效率高的 1480nm 频带工作，以增强光信号输出. 为使总增益平直，增益均衡器 GEQ 2 设置在 EDF 2-1 的输出端. 即，由于构成增益均衡器 GEQ 2 的滤波器引起 30％的大损耗，所以增益均衡器 GEQ 2 设置在 EDF 2-1 和 EDF 2-2 之间. 如图 23 所示，当该增益均衡器设

置在 EDF 2-2 输出端时，利用 EDF 2-2 得到的光信号输出大（例如，如果输入光在线放大器 1mW，则输出约 300mW）. 因此，如有 30％损耗，损耗绝对值也变大，将浪费单泵浦光源激光二极管的能量.

如果该增益均衡器插在光信号输出不很大的一级，例如，与输出 100 mW 时损失 10mW 相比、在输出 10mW 时仅损失 1mW. 因此，该增益均衡器设置在 EDF 2-1 和 EDF2-2 之间. 两个增益均衡器 GEQ 1 和 GEQ 2 设置在光在线放大器中的两个位置，以使在输入到色散补偿光纤 DCF 之前、使各波长的输出电平基本相等. 对于各波长的允许输入到 DCF 的最大功率电平被得到，而后各波长以该允许的最大功率电平输入 DCF.

由于 EDF 1 侧（前放大器部分）的增益与 EDF 2 侧（后放大器部分）的增益相等，所以便于分开制造放大器部分的 EDF's，而后再组合它们. 即，增益均衡器 GEQ 1 使 EDF 1 侧的输出变得平直，因此具有相应波长的主光信号对于各波长具有均匀的特性. 与 EDF 2-1 和 EDF2-2 相应的侧端接收、放大、均匀、和输出一个均匀的光信号. 所以均匀光信号能被交换，易于在 EDF 2-1 和 EDF2-2 之间转接. 在上述位置设置增益均衡器 GEQ 1 和 GEQ 2 可得到制造便利. 由于波分复用放大器的结构变得复杂，所以构成模块的光放大器单元（包括 EDF 1 的前放大部分和包括 EDF 2 的后放大部分）和色散补偿模块 DCM 被制成用光连接器可连/可断的部件，这样可进行局部维修和检测、部件更换、并显著降低操作费用.

从 EDF2-2 输出的光信号经过用以混合在反向激励中使用的泵浦光的 WDM 耦合器，然后通过隔离器 ISO 5. 隔离器 ISO 5 挡住从光在线放大器输出端反射和返回的光，避免 EDF2-2 因返回光引起的振荡. 通过隔离器 ISO 5 的信号光再通过 WDM 耦合器. WDM 耦合器不混合具有不同波长的光信号，并经只使主信号通过而避免 EDF 2-1、 EDF2-2 的泵浦光或 EDF 1 中的 EDF 输出到光在线放大器的输出端. 即，在与主信号传送方向相反方向的光传送被隔离器 ISO 5 隔离，在与主信号传送方向相同方向的光传送不被隔离器 ISO 5 隔离. 因此，用 WDM 耦合器作为只使主信号传递的滤波器能防止泵浦光输出到光在线放大器的输出端.

通过 WDM 耦合器的光信号被分束器 BS 7 分解. 一个分解信号导向用作光谱分析器的光 SPA 的输出端. 当需要时，光 SPA 连接到这个端部，并检查具有相应波长（信道）的波长复用光信号的功率电平是否相同. 由于假定只有一个光 SPA 用于当前状态，且假定其大小几乎与图 19 或 20 所示的光在线放大器的大小相

同，所以如果光 SPA 被连接，光在线放大器就变得比所需的大．因此，在波长复用信号数目增加期间，具有相应波长的波长复用光信号的功率是否相同被检查、并在需要时由光SPA进行调整．

被分束器BS 7分解的光主信号输入到分束器BS 8，并被分解输入到一个直线传送的主光信号和一个传送到OUT PD 7的信号．也连接到分束器的结点PD 8监控从光在线放大器输出端（光连接器5）反射的光，经传输线给激光二极管LD 4、LD 5、LD 6、增强器 BST 1、和增强器 BST 2 提供控制信号．结点 PD 8 通过识别监控反射光，如果反射光强度变得较高，则拔下输出端的连接器 5、降低输出并减小 EDFs 2-1 和 2-2 的增益．控制 EDFs 2-1 和 2-2 的增益，使从光在线放大器输出端输出的光信号功率约等于或小于 10 mW．

从分束器 BS 8 输出到 OUT PD 7 的光信号强度转换成一个电信号．该电信号反馈到AGC模块，在AGC模块中AGC操作与来自光二极管PD 4的光信号一起进行，该电信号也反馈到 ALC 模块，在 ALC 模块中 ALC 操作通过控制可变 ATT 的衰减量进行．ALC 操作使光在线放大器的输出功率保持恒定．如上所述，从光二极管PD 3和OUT PD 7的反馈提供给ALC模块．

从 OUT PD 7 到 ALC 模块的反馈与从 PD 4 的反馈混合，并检测增益．因而激光二极管LD 4、LD 5、LD 6和增强器BST 1、BST 2的泵浦光源被控制．

未被分束器BS 8分解的主光信号（放大的波长复用光）通过WDM耦合器WDM 4与单独处理的SV信号混合，并从在线放大器的输出端输出．连接器3和4可分别与增强器BST 2和BST 1连接，增强器BST 2和BST 1是附加的泵浦光单元、并在内激光二极管 LD 的泵浦光功率不足时使用．例如，如果复用波长数在1和8之间，泵浦光用内激光二极管可得到足够的功率．但如果复用波长数在9和16之间，则需要连接和使用增强器BST 1．如果复用波长数在17和132之间，则需要连接和使用增强器BST 1和BST 2．

具有1480nm振荡波长且偏振不同的激光二极管LD 7和LD 8被用作增强器BST 1的泵浦光源．因此，从激光二极管LD 7和LD 8输出的泵浦光具有不同的偏振，且激光二极管 LD 7 和 LD 8 被偏振分束器 PBS 偏振合成，并经尾光纤线输出增强器 BST 1．作为偏振合成的结果，具有不同偏振波的激光二极管泵浦光输出的功率将具有“1＋1＝2”的近似关系．所以通过设置多个激光二极管所产生的优点可有效地利用．

增强器BST 1中激光二极管LD 7和LD 8的振荡波长与内激光二极管LD 5

和 LD 6 的振荡波长不同，激光二极管 LD 7 和 LD 8 被 WDM PBS 中的 WDM 耦合器混合（波长复用）. 类似地，如果要混合具有相同波长的泵浦光，由于泵浦光相位不同，该混合光的输出并不总能变成该总功率. 但如果用 WDM 耦合器混合原具有不同波长的泵浦光，该总功率在理论上将具有“1 + 1 = 2”的关系. 因此，得到的泵浦光功率基本与来自激光二极管 LDs 所有光的功率相等.

激光二极管 LD 5 和 LD 6 的振荡波长与激光二极管 LD 7 和 LD 8 的振荡波长不同，EDF 2-2 具有如上所述在 1480nm 中的宽吸收带. 因此，1460nm 和 1480nm 两泵浦光在同一频带被吸收，并可用作泵浦光. 如上所述，具有不同波长的泵浦光被 WDM 耦合器混合，故可得到大输出的泵浦光. 同时，如图 24 所示，光信号的放大可在一个 EDF 工作频带获得.

如图 20 所示，激光二极管 LD 7 和 LD 8 的输出光被偏振分束器 PBS 混合后，该混合光被分束器 9 分解. 该分解光经衰减器 ATT 3 被光二极管 PD 9 接收. 光二极管 PD 9 监测增强器 BST 1 中激光二极管 LD 7 和 LD 8 的电平输出是否正常，监测由激光二极管 LD 7 和 LD 8 混合得到的泵浦光功率电平是否约小于 10nm，以便确定增强器 BST 1 尾光纤线的连接器 4 是否断开. 如果从光接收结果确定连接器 4 被断开，则从 AGC 模块向相应激光二极管发出一个指令以降低它们的输出. 所以，APC 工作的用于泵浦光源 LD 1-LD 3，以降低 LD 1-LD 3 的输出电平.

在增强器 BST 1 中，具有相同振荡波长（1480 nm）的泵浦光源 LD 7 和 LD 8 被偏振分束器 PBS 偏振合成，并提供泵浦光. 为了简化结构，激光二极管 LD 7 和 LD 8 只在 ON 和 OFF 之间转换. AGC 和 ALC 操作不执行. 如果具有 1480nm 振荡波长的半导体激光器的输出功率低，该振荡波长移到短波长端. 例如，该振荡波长移到约 1469nm，WDM PBS 模块中的 WDM 耦合器不能将它与具有 1460nm 波长的激光二极管 LD 5 和 LD 6 混合. 因为 WDM 耦合器被设计成要将 1480nm 的泵浦光从增强器 BST 1 输入到 EDF 2-2，如上所述，来自增强器 BST 1 的具有 1460nm 波长的泵浦光不能有效地输入 EDF 2-2. 所以，激光二极管 LD 7 和 LD 8 的振荡频率固定在 1480nm. 如果信道数在 9 和 12 之间，只有激光二极管 LD 7 以最大功率工作. 如果信道数在 13 和 16 之间，激光二极管 LD 7 和 LD 8 以最大功率工作. 用 AGS 模块通过控制内激光二极管 LD 5 和 LD 6 的输出功率可调节该激励功率.

增强器 BST 2 包括振荡波长为 1460nm 的激光二极管 LD 9 和 LD 10 和振荡

波长为 1480nm 的激光二极管 LD 11 和 LD 12。激光二极管 LD 9 和 LD 10 的偏振与激光二极管 LD 11 和 LD 12 的偏振不同。激光二极管 LD 9 和 LD 10 被偏振分束器 PBS 合成。偏振合成的激光二极管 LD 9 和 LD 10 的输出和偏振合成的激光二极管 LD 11 和 LD 12 的输出由 WDM 耦合器混合并输出。该混合的泵浦光在增强器 BST 2 中被分束器 BS 10 分解，并经衰减器 ATT 4 由光二极管 PD 10 接收。然后，根据光二极管 PD 10 接收光的结果确定相应激光二极管是否正常工作。

绝大多数不被分束器 BS 10 分解的泵浦光经连接器 3 传输给 EDF 2-2。光二极管 PD 5 确定连接器 3 是否正确连接。如果确认连接器未插接，则用光二极管 PD 10 检测增强器 BST 2 的输出功率，控制激光二极管 LD 9-LD 12，以使从 BST 2 输出的泵浦光功率减小到不危害操作者眼睛的功率电平。在 BST 2，从 WDM 耦合器输出的总泵浦光功率由光二极管 PD 10 监测，使得 LS 9-LD 12 总能在同一时刻驱动。BST 2 不具有与所讨论的 BST 1 相同的技术问题。

如果增强器 BST 1 或 BST 1 和 BST 2 两者被连接，AGC 模块保持增益不变。但增强器 BST 1 和 BST 2 只通过调节激光二极管的“接通”和“关闭”控制激光二极管。精细调节通过改变内激光二极管 LD 4、LD 5 和 LD 6 的输出进行。

另外，由于多个增强器例如 BST 1 和 BST 2 可容放在一个板上、并连接到光在线放大器，因此很容易使光在线放大器具有不同的电线连接和泵浦光连接。在这种情况下，增强器 BST 1 和 BST 2 初始的泵浦光输出小，它不危害操作员的眼睛。如果增强器例如 BST 1 和 BST 2 连接到光在线放大器，这一连接由光二极管 PD 5 或 PD 6 检测，并且识别出连接器 3 和 4 以被插接。而后，从 AGC 模块发出进一步增加泵浦光输出电平的指令。如果泵浦光连接和电线连接是从同一增强器到达同一在光线放大器，若在这一级该泵浦光电平取最大值则不产生问题。如果连接出错，用于提高泵浦光输出的指令就发给泵浦光不输出的在光线放大器的增强器。如果经电线得到该指令的增强器的泵浦光不与同一在光线放大器连接，泵浦光将输入另一在光线放大器，这将导致错误状态。因此，尾光纤线无论在何处不连接都会使高强度泵浦光泄漏出来，操作员的眼睛如受到该光照射就很危险。

所以，如果光在线放大器检查增强器 BST 1 和 BST 2 的连接，即使泵浦光泄漏出来，泵浦光功率也会略有提高（例如，达到安全光的电平）。如果泵浦光功率基于提高泵浦光功率的指令各有增加，光在线放大器端确认尾光纤线耦合和

电线正确实施，并给增强器发出使泵浦光最大的指令.

如上所述，通过在两级中将泵浦光功率设定在不危害操作员（在安全光状态）的功率范围内、检查光在线放大器端上的连接正确实施、而后使泵浦光功率最大化，可避免大功率有害泵浦光的泄漏或泵浦光输出到错误的光在线放大器.

图 19 和 20 所示的光在线放大器用光二极管监控光信号输出总功率. 如果复用波长数增加会产生以下问题. 假定在光传输线传送的光信号各波长功率具有上下限，在初始调整级，四个波长被复用和传输. 在这一状态下，具有四个不同波长的各信号被传输，以使功率在传输线上下限之内. 如果复用的波长数达到八个，光在线放大器随着波长复用光信号总功率的增加将光信号功率减低. 这是由于光在线放大器监控该波长复用光信号的总功率.

于是，具有各波长的复用光信号的功率将变得等于或小于传输线的下限. 因此，传输系统的性能不能保持. 所以如果复用波长数增加，SV 信号通知各光在线放大器. 收到该通知后，当波长数增加时，光在线放大器暂停 ALC. 因为该光在线放大器也用作 AGC 放大器，即使波长数增加该光在线放大器也用不变的增益放大光信号. 该光在线放大器恢复 ALC，并将光信号功率电平重调到预定值. 为新的波长复用数设定的整个光信号的功率电平被限定以便经 SV 信号在 ALC 模块中设定. 在这种方式中，对波长数增加的处理可不设置新结构.

随着复用波长数的增加，泵浦光功率必须增加. 对于这个光在线放大器首先在 980nm 频带进行放大、其噪声特性或噪声系数（NF）良好，如果需要大功率泵浦光、则再在高效的 1480nm 频带进行放大. 这种状态示于图 25. 图 25 的水平轴对应始于 EDF 的入点到其出点的距离，其垂直轴表示放大光信号的功率. 图 25 表示 980nm 频带和 1480nm 频带的泵浦光. 由于 980nm 频带的泵浦光是正向激励，该泵浦光从 EDF 的入点输入并在反向传输时消耗. 由于 1480nm 频带的泵浦光是反向激励，该泵浦光从 EDF 的出点输入并在正向传输时消耗. 同时，光信号从该入点向该出点传送. 所以，当信号接近出点时光信号功率逐渐放大. 如上所述，具有较好噪声特性的光信号在 980nm 频带放大，再在 1480nm 频带作充分放大.

参照图 19 和 20 说明的光在线放大器的结构也应用于光前级放大器和光后级放大器. 但应注意，光后级放大器不包括用于分解来自输入端波长复用光信号的 SV 信号的 WDM 1 和 2，光前级放大器不包括将输出端的波长复用光信号与 SV 信号混合的 WDM 4.

下面参照图 19 和 20 对所述的波长复用光放大器进行说明，光在线放大器 LWAW 1 的具体控制电路参照图 26. 下面的监控信号输入光信号监控电路 120.

（1）用光二极管 PD 1 检测到达该前级光放大单元的光输入电平，

（2）用光二极管 PD 2 检测出自该前级光放大单元的光输出电平，

（3）用光二极管 PD 3（到达色散补偿模块 DCM 的光输入电平）检测该可变光衰减器 VATT 的光输出电平，

（4）用光二极管 PD 4（出自色散补偿模块 DCM 的光输出电平）检测到达该后级光放大单元的光输入电平，

（5）用光二极管 PD 8 检测出自该光连接器的反射电平，

（6）用 OUT PD 7 检测出自该前级光放大单元的光输出电平，和

（7）用光二极管 PD 6 和 PD 10 检测出自该泵浦光源单元 BST 1 和 BST 2 的泵浦光。

如图 26 所示，光信号监控电路 120 将这些监控结果送到构成 AGC/APC 模块的控制电路 132，并用偏压控制电路 122 控制泵浦光源模块 121 中相应激光二极管 LD 1-LD 3 的偏压，以控制激光二极管 LD 1-LD 3 的输出功率. 温度控制电路 123 控制相应 LD 1-LD 3 的温度使温度恒定. 光信号监控电路 120 检测到的前级放大单元和衰减器 VAT 的监控信号经模/数转换电路 125 输出到 CPU 131. 偏压值和外界气温信息分别从偏压控制电路 122 和外界气温传感器 124 输入 A/D 转换器电路 125. 类似地，后级光放大单元中的 AGC 模块以相似的方式工作. CPU 131 处理从 I/O 端口输入的各项监控信息，并将运行状态、告警信号、监控信息等作为监控信号输出给光维护信道接口 OSCIW 1. CPU 131 分析从光维护信道接口 OSCIW 1 接收的监控信息，并输出一个用于激励偏压控制电路 122、127 和温度控制电路 123、128 的信号以调节泵浦光源模块 121 和 126 的接通和断开.

下面参照图 27 和 28 的状态转换图说明控制光在线放大器 LWAW 1 的 CPU 131 的工作.

如上所述，WDM 光放大器能对具有 32 个信道的波长复用信号进行放大. CPU 131 控制 WDM 光放大器的状态，执行各种监控处理，并进行外部通信（具体地，经过 OSC 的监控信息的通信）. 在图 1A 和 1B 所示的波分复用传输系统中，不同类的信息（例如，OC-192，OC-48 等）由波分复用的多个波长（信道）运载，该复用波长由一个单模光纤传输. 这个系统能使传输量明显提高. 用于该系统的光放大器必须以相同的增益放大每一个波长. 当通信需求增加时，该光放大器必须

能使波长数（信道）遥控地增加/减少（例如，当各信道传输量从 2.4 Gbps 增加到 10 Gbps 时，信道数必须增加），并随着使用该信道数必须能增加/减少（运行中的可升级性）. CPU 131 所能实现的运行状态/转变将参照图 27 和 28 进行说明.

如图 27 所示，电源断开状态 A 是光放大器的电源被关闭的状态. 在输入关闭状态 B，光放大器的输入等于或小于输入恢复阈值，电源不提供给前级和后级放大单元的泵浦光源激光二极管 LD 1-LD 3 和激光二极管 LD 4-LD 6.

在前级安全光状态 C，前级放大单元的 EDF 模块 1 的增益达到设定值（AGC 设定电压），该输出是安全光电平. 后级放大单元的输入电平小于输入恢复阈值，后级放大单元中的泵浦光源激光二极管 LD 4-LD 6 因色散补偿模块 DCM 断开、或光连接器 1 和 2 的不适当连接而处于暂停状态. BST 1 和 BST 2 也处于暂停状态.

在安全光状态 D，光放大器的连接器 5 输出端处在拆开状态，光输出功率控制在对人体无害的水平. 如果激光安全能力调整为接通，光放大器就处在安全光状态 D. 如果“激光器安全抑制”在初始设定被接收，该状态就不转移到安全光状态 D. 当安全光状态改变到 ALC 状态 E1 时，安全光“断开”（激光器安全抑制）的状态转移图与安全光“接通”（激光器安全接通）的状态转移图中不检测输出连接器 5 的插接/未插接时安全光状态改变到正常光状态的转移相对应. BST 1 和 BST 2 也处于暂停状态. 即使在安全光状态或在正常光状态，EDF 1 和 EDF 2 工作的均根据安全光“接通”/“断开”指令被控制.

通信可在 ALC 状态 E1 中实现（正常光状态）. 在 ALC 状态 E1 中，基于波长数信息和光放大器数，用一个暂停可变光衰减器(halt variable optical attenuator)执行（总）输出恒定控制.

在 AGC 状态 E2 中，可变光衰减器 ATT 的衰减量是固定的，AGC/APC 模块和 AGC 模块分别进行控制，以使前级 EDF 模块 1 和后级 EDF 模块 2 的增益恒定. 在 ALC 状态 E1 中，可变光衰减器 ATT 的状态受控制，以使输出端波长复用光信号的总输出恒定. 同时，在 AGC 状态 E2 中，总输出固定到一平均值（这个状态被称作冻结状态）. 如果波长数（信道数）以小于 AGC 控制速率的速率增加/减小，由于增益恒定，当前信道的输出不受影响（信道连续提供服务）. 这个状态是一个正常光状态.

在 AGC 状态 E2 中，用于扩展增强器 BST 1 和 BST 2 的泵浦光源模块被增加

/减少. 增加该模块数的方法与参照图 19 和 20 所述的方法相同. 相应状态和状态指令将在下面具体说明.

如图 26 和 28 所示, 在从电源断开状态到输入关闭状态的转移中, 电源提供给光放大器单元, 来自 OSC 的“预备(provisioning)”(操作信息)、“调整”(条件设定)被接收, 并进行初始化设定. 由于在泵浦光源 LD 的温度达到预定值之前需要很多时间, 所以这个控制在这一阶段启动.

输入关闭状态是输入到光放大器的输入功率(光二极管 PD 1 的输出功率)等于或小于由硬件设定的输入恢复阈值, 输入关闭信号从光信号监控电路 120 输入到 CPU 131. 在该输入关闭状态, 偏置电流不施加到前级和后级光放大单元的泵浦光源激光二极管 LD 1-LD 4 和激光二极管 LD 3-LD 4.

如果 CPU 131 检查该输入关闭状态, CPU 131 向 OSCIW 1 输出一个报警信号 LOL. 注意, 输入恢复阈值依赖信道数. 如果在输入关闭状态中信道读数是“0”, CPU 131 保持在输入关闭状态. 从输入关闭状态向前级安全光状态的转移包括以下步骤:

(1) 检查从光二极管输入的光等于或大于输入恢复值;

(2) 开始向前级放大单元中的泵浦光源 LD 1-LD 3 供给偏置电流. 设定 AGC/APC 模块的时间常数, 以使前级 EDF 模块的增益慢慢地接近该预设值.

(3) ALC 模块进行控制, 以便通过适度减少可变衰减器 ATT 的衰减量使可变衰减器 ATT 的波长复用光输出逐渐变为安全光电平. 由于可变衰减器 ATT 的输出电平(衰减量)设定成对人体安全的电平, 所以即使不连接色散补偿模块 DCM 也不用考虑光电平对人的危害. 在这个转移中, 偏置电流不施加给后级放大单元的泵浦光源 LD 4-LD 6.

在前级安全光状态中, 虽然前级 EDF 模块 1 的增益达到预设值(AGC 设定电压), 但通过 ALC 模块使 EDF 模块 1 的输出电平控制到安全光电平. 在前级安全光状态中, 由于色散补偿模块断开或不适当的连接使到达后级 EDF 模块 2 的输入电平小于输入恢复阈值, 并且后级 EDF 模块 2 中泵浦光源 LD 4-LD 6 的工作暂停.

从前级安全光状态到安全光状态的转移包括:

(1) 用光二极管 PD 4 检查到达后级放大单元的输入电平变得等于或大于输入恢复阈值.

(2) 用 ALC 模块调节可变衰减器 ATT 的衰减量, 以补偿色散补偿光纤 DCF

的损耗。

具体地，控制 ATT 的衰减量，使到达后级放大器部件的输入电平（用 PD 4 监控）等于该后级放大器部件的输入电平参考值（dBm/ch，例如 -12 dBm/ch）。如果波长数是四，该参考值设定为-6 dBm/ch(=-12+6(四波长))。

（3）用 AGC 模块开始给后级 EDF 模块 2 中的泵浦光源 LD 4-LD 6 供给偏置电流。AGC 模块慢慢增加后级 EDF 模块 2 的增益。预置安全光电压，以使后级 EDF 模块 2 的输出电平保持为安全光电平。AGC 模块有两个参考值、即安全光预置电压和 AGC 预置电压，并通过模拟最大电路控制泵 LDs 的驱动电压。

从安全光状态到 ALC 状态的转移包括：

（1）如果 OUT PD 7 检测的输出光功率与光二极管 PD 8 检测的反射光功率之比超过预定值（如果反射光功率减小），则检查输出端上光连接器 5 的连接。

（2）慢慢增加 AGC 设置电压到一预定值。

（3）释放该安全光设置电压。

ALC 状态与 AGC 状态之间的转移包括：

（1）接收来自光维护信道的用于开关 AGC 模块的信号。

（2）当用模块 ALC 接收该开关信号时，固定可变衰减器的衰减量。光放大器以 AGC 模式工作（恒定增益控制模式）。

（3）接收来自 OSC 的波长数（信道数）。检查用于扩展增强器 BST 1 和 BST 2 的光源数是否增加或减少。由 OSC 通报增强器 BST 1 和 BST 2 的连接。

（4）检查用于开关 AGC 模块的信号是否基于由 OSC 通报的波长数（信道数）的增加/减少而切断。

（5）根据波长数（信道数）更新 ALC 设置电压的值，并从 ALC 模块输出该电压。另外，根据该波长数更新输入和输出电平阈值，并由 ALC 模块启动 ALC 控制。

从 ALC 状态到安全光状态的转移包括：

（1）如果 OUT PD 7 检测的输出光功率与光二极管 PD 8 检测的反射光功率之比等于或小于预定值（如果反射光功率增加），则检查输出端上光连接器 5 被断开。

（2）接通后 EDF 2 的 AGC 模块的安全光设置电压。

（3）减小后级 EDF 的 AGC 模块的 AGC 设置电压（切断 AGC 设置电压）。

从 AGC 状态到安全光状态的转移包括：

（1）如果 OUT PD 7 检测的输出光功率与光二极管 PD 8 检测的反射光功率之比等于或小于预定值（如果反射光功率增加），则检查输出端上光连接器 5 被断开.

（2）接通后 EDF 2 的 AGC 模块的安全光设置电压.

（3）减小后级 EDF 2 的 AGC 模块的 AGC 设置电压（切断 AGC 设置电压）.

从每个状态向输入关闭状态的转移包括:

（1）如果来自光二极管 PD 1 的输入电压等于或小于阈值，则检查该输入关闭.

（2）设定 AGC 模块的 AGC 设置电压为“0”

（3）设定 ALC 模块的 ALC 的安全光设置电压为“0”

（4）设定 AGC/APC 模块的 AGC 设置电压为“0”

（5）设定 ALC 模块的 ALC 设置电压为“0”

图 29A 是表示 DCM 中变化的电平图. 图 29B 是输入功率变化的电平图. 图 29A 和 29B 表示在不管色散补偿损耗或输入功率电平的变化情况下，达到相同的输出功率需用多少衰减. 参照图 29A，如果没有 DCM 损耗，应增加衰减. 反之如果 DCM 损耗增加，应减少衰减. 类似地，在图 29B 中，如果进入衰减器的输入功率较大，应增加衰减以平衡该功率. 如果输入衰减器的功率减小，衰减也应减小.

下面参照图 30 到 40 说明用图 1A 和 1B 所示波分复用系统中的光维护信道 OSC 增加/减少信道数的程序.

在图 1A 和 1B 所示波分复用系统中，用具有 1510 nm 波长的光维护信道 OSC 的 DS 1 帧（示于图 11）以在线状态（运行状态）控制信道的增加/减少. 用 DS 1 帧的 OSC-AIS 字节（时隙 9）传输增加/减少信道数的控制信号. OSC-AIS 字节的内容示于图 30 和 31. 另外，当信道数增加/减少时，相应光放大器（TWAA，LWAWs 1-3 和 RWAB）工作的程序示于图 32-37. 操作流程示于图 38-40.

操作员首先用波长复用/解复用装置 WMUX A 的操作台输入指示信道 1-32 的位速率是否是 2.4Gbps 或 10Gbps 和信道 1-32 是否在运行状态（“IS”）或非运行状态（“OOS”）的预备信号（使用信息），并且当信道数增加/减少时，更新被增加/减少信道的使用信息（见图 38 的 S1 和图 32）.

该使用信息传输到波长复用/解复用装置 WMUX A 的 OSC 接口（OSCIA）. OSC 接口 OSCIA 将各信道的位速率信息（WCR）和 IS/OOS（WCS）传输给光中继器 1-

3、OSCIWs 1-3、和在相对的波长复用/解复用装置 WMUX B 中在 OSC 中以时隙 23 的多帧字节使用 WCR 和 WSCR OSCIB，并用 OSC-AIS 字节的命令“c”报告 WCR 和 WCS 字节的变化。

而后，操作员经操作台输入一个将各放大器（TWAA，LWAWs 1-3 和 RWAB）模式从 ALC 转变成 AGC 的命令。该命令传输到 OSC 接口 OSCIA 和 TWAA 的 CPU。光后级放大器 TWAA 从 ALC 模式变化到 AGC 模式。OSC 接口 OSCIA 以 OSC 的 DS1 帧中的 OSC-AIS 字节的预定格式设置 b2 至 b5 的位，并将该位传输给相应光放大器（LWAWs 1-3 和 RWAB）中的光维护信道接口 OSCIWs 1-3 和 OSCIB（见图 33 和图 38 至 40 的 S2）。

光维护信道接口 OSCIWs 1-3 和 OSCIB 报告 OSC-AIS 字节中 b2 至 b5 位内容的相应光放大器中的 CPUs。如果该 CPUs 检查从 ALC 模式到 AGC 模式和转换命令，CPUs 就控制从 ALC 模式到 AGC 模式的转换。当光在线放大器 LWAWs 1-3 和光前级放大器 RWAB 完成向相应光中继器 1-3 和波长复用/解复用装置 WMUX B 中 AGC 模块的转移时，模式转移完成的报告用 OSC 的时隙 5 和 6 中的 DCC 字节传输到 WMUX A（见图 34 和图 38 到 40 的 S3 ）。

MCA 单元确定当信道数增加/减少时是否需要给相应光放大器中的增强器 BST 1 和 BST 2 增加/减少泵浦光源。如果“是”，MCA 单元指令相应光中继器 1-3 和波长复用/解复用装置 WMUX B 用 OSC-AIS 字节命令“d”确定增强器 BST 1 或 BST 2 是否连接。另外，MCA 模块指令光后级放大器 TWAA 检验其自身装置（WMUX A）用于扩展光后级放大器 TWAA 增强器 BST 1 和 BST 2 的泵浦光源的连接状态。例如，如果信道数在 1 和 8 之间，则只使用来自内泵浦光源 LD 1-6 的泵浦光功率。如果信道数在 9 和 16 之间，则除内泵浦光源激光二极管 LD 1-6 外还需通过操作扩展增强器 BST 1 的泵浦光源增加泵浦光功率。如果信道数在 17 和 32 之间，则必需使两个增强器 BSTs 1 和 2 工作。如图 38-40 的 S4 所示，相应光中继器 1-3 中光在线放大器 LWAW 1-3 的增强器 BST 1 和 BST 2 的连接检验信息用 OSC 的 DCC 字节传输、并由波长复用/解复用装置 WMUX A 中管理装置 MCA 检验（见图 38-40 的 S4）。

接着，如图 35 和图 38-40 的 S5 所示，信道被实际增加/减少。之后，波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 中频谱分析器 SAUA 和 SAUB 的 CPUs 根据新的信道信息更新该设定值。任何相应信道被增加/减少，CPUs 最大化光可变衰减器 VATA 1-32 和 VATBs 1-32 的衰减量，并用 SAUA 检验该信道处在输入关闭状

态. 如图 38-40 的 S6-S9 所示，检验后，波长复用/解复用装置 WMUX A 和 WMUX B 的可变衰减器 VATA 1-32 和 VATBs 1-32 的衰减量由频谱分析器 SAUA 和 SAUB 的 CPUs 和光可变衰减器 VATA 和 VATB 调节，并调节成最佳值.

MSA 单元将指示更新波长（信道）信息的命令传输给相应的光中继器 1-3 和波长复用/解复用装置 WMUX B. 这个命令用 OSC 中的 OSCIA 以 OSC-AIS 字节的“g”命令传输. 除波长复用/解复用装置 WMUX A 之外，波长复用/解复用装置 WMUX B 用 WCR 和 WCS 字节信息更新信道信息. 另外，如图 38-40 的 S11 所示，被光放大器 CPU 使用、并在参照图 26-28 说明的相应阈值和设定值根据更新的信道数而改变.

如图 38-40 的 S12 所示，相应的光中继器 1-3 和波长复用/解复用装置 WMUX B 将转移的准备确认的 MCA 单元用 OSCR DCC 字节通知 ALC 模块. 接着，管理装置 MAC 指令所有该转移的光放大器从 AGC 模块到 ALC 模块. 从 AGC 模块到 ALC 模块转移的通知用 OSC 的 OSC-AIS 字节的“h”命令 执行. 当各光放大器的 CPU 从 OSC 接收命令“h”时，CPU 执行控制操作使转移从 AGC 模块到 ALC 模块. 图 36 和图 38-40 的 S13 所示，当到 ALC 模块的转移完成时，相应的光中继器 1-3 和波长复用/解复用装置 WMUX B 用 OSC 的 DCCs 通知 MCA: 向 ALC 模块的转移已完成，即相应的光放大器在正常光状态下工作. 如果相应的光中继器 1-3 检测到光维护信道的故障（监视/控制光信号关闭（光的损耗）、未连接监视/控制信号信道（设备损坏）、和用奇偶校验位接收错误，则在 OSC-AIS 字节的 b1 位设置标记. 而后，将该错误检测通知下游端.

如以上的具体说明，本发明提供一个波分复用光通信系统的光放大器，该波分复用光通信系统能克服前述的问题、并能用光维护信道在线（当运行时）控制该光放大器.

以上用波长复用光信号所作的说明提供了一个实例. 本发明的光放大器完全可用于单波光信号.

尽管已结合优选实施例和示例叙述了本发明，但不难理解本领域的技术人员在不脱离本发明构思和范畴的前提下对本发明的上述基本方案作出改进是显而易见的. 因此，本发明不限于所述的优选实施例和示例，本发明将包括上述的改进.

说 明 书 附 图

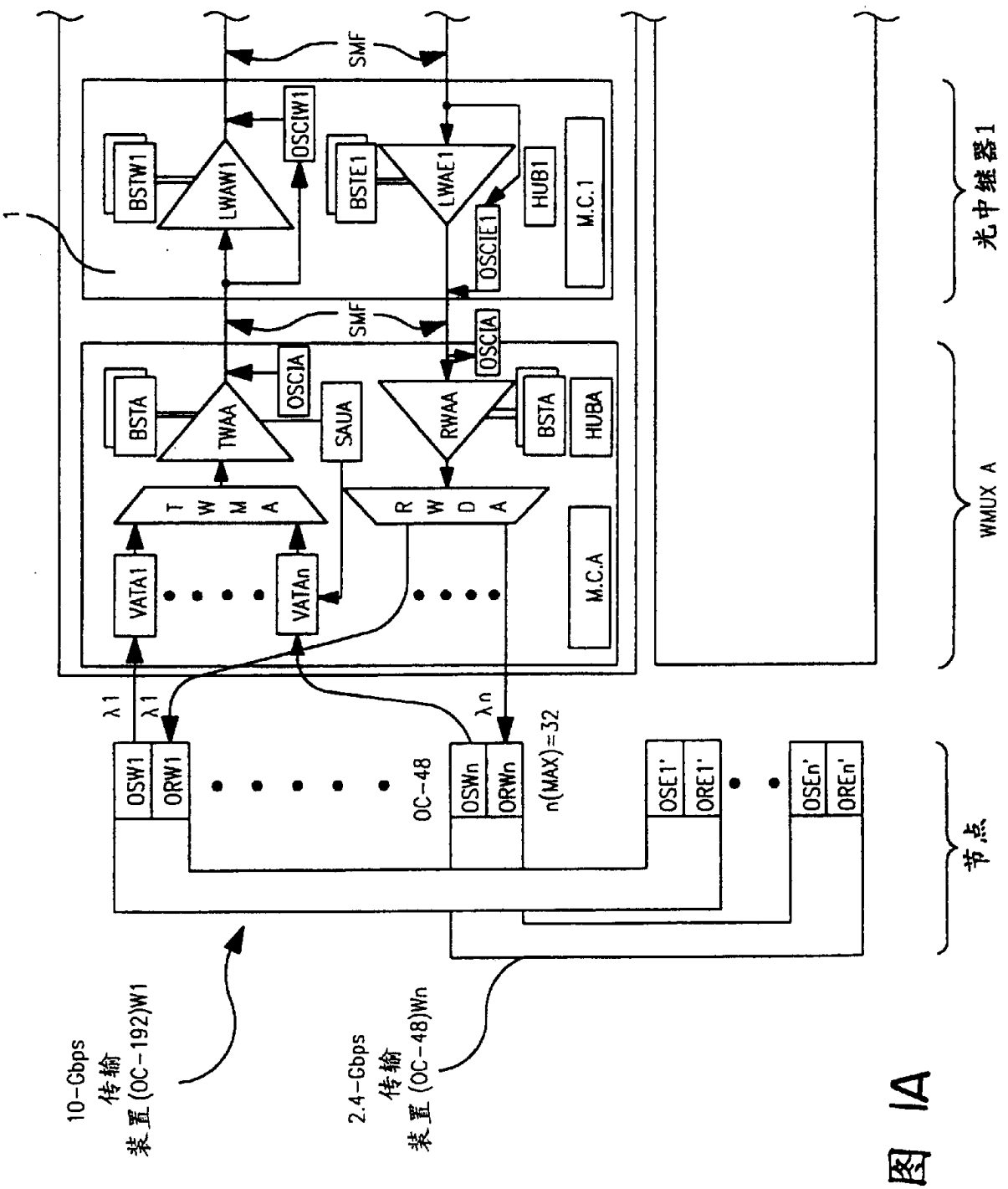

SMF
SMF
BSTW1
LWAW1
OSCIW1
BSTE1
LWAE1
HUB1
M.C.1
OSCIE1
1
BSTA
TWAA
OSCIA
SAUA
RWAA
OSCIA
BSTA
HUBA
T W M A
R W D A
M.C.A
VATA1
VATAn
λ1
λ1
λn
OSW1
ORW1
OC-48
OSWn
ORWn
n(MAX)=32
OSE1'
ORE1'
OSEn'
OREn'
光中继器1
WMUX A
节点
10-Gbps
传输
装置(OC-192)W1
2.4-Gbps
传输
装置(OC-48)Wn

图 1A

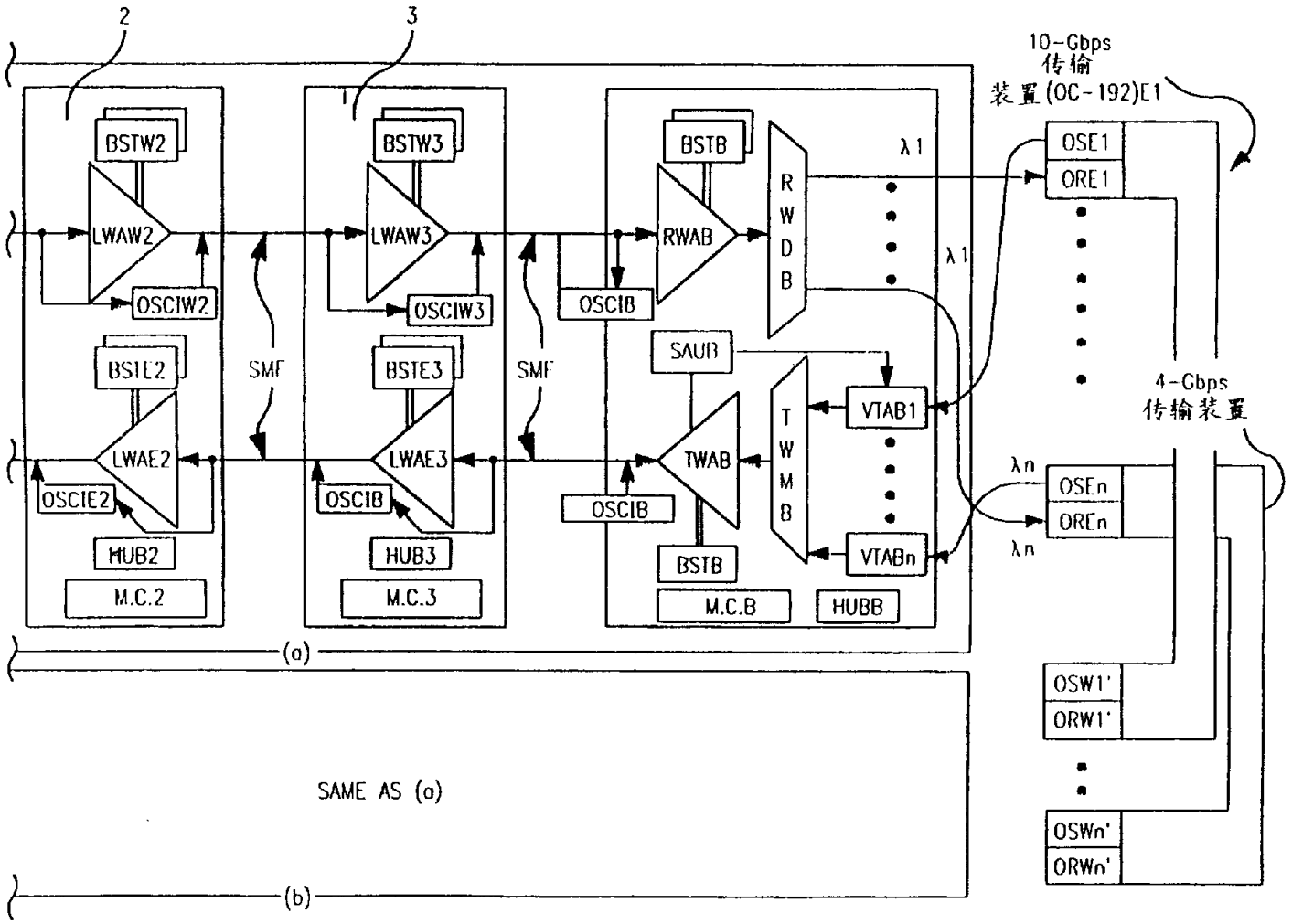

2
3
1
10-Gbps
传输
装置(OC-192)E1
BSTW2
LWAW2
OSCIW2
BSTE2
LWAE2
OSCIE2
HUB2
M.C.2
SMF
BSTW3
LWAW3
OSCIW3
BSTE3
LWAE3
OSCIB
HUB3
M.C.3
SMF
OSCIB
BSTB
RWAB
RWDB
λ1
λ1
SAUB
TWAB
TWMB
VTAB1
VTABn
OSCIB
BSTB
M.C.B
HUBB
OSE1
ORE1
4-Gbps
传输装置
λn
λn
OSEn
OREn
OSW1'
ORW1'
OSWn'
ORWn'
(a)
SAME AS (a)
(b)
光中继器2
光中继器3
WMUX B
节点

图 IB

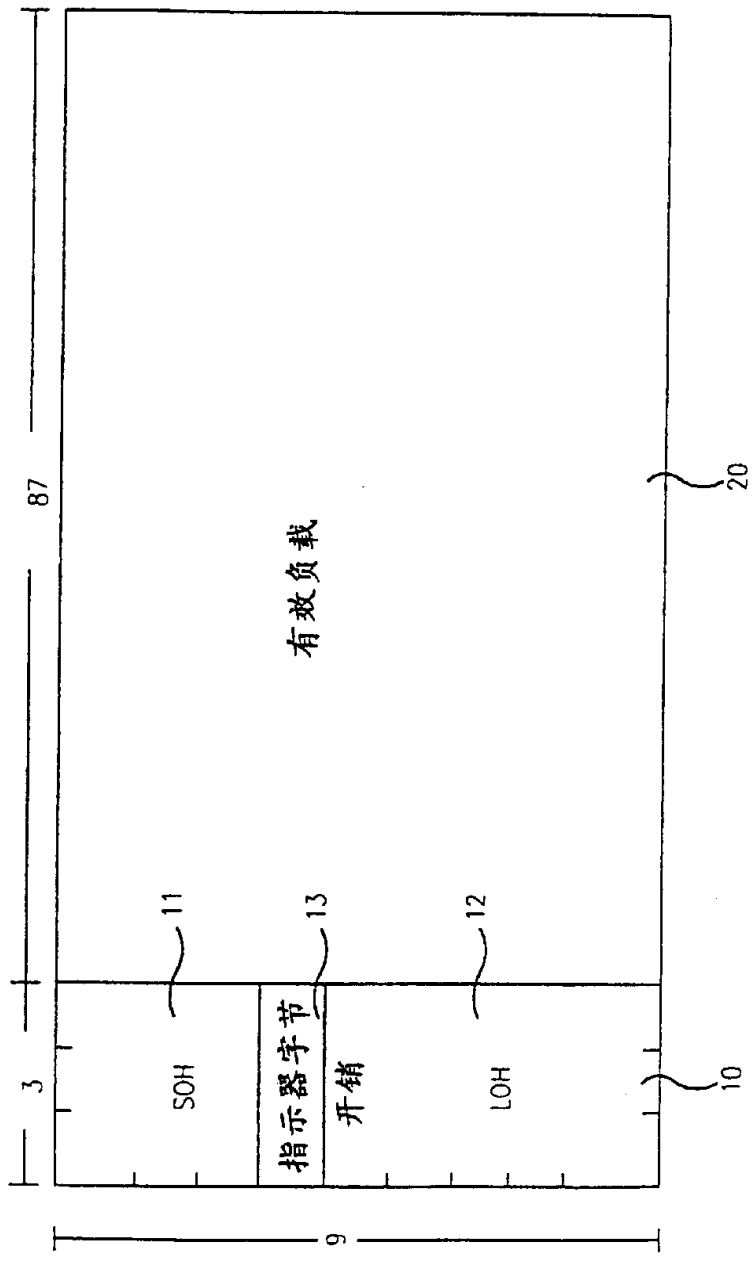


图 2

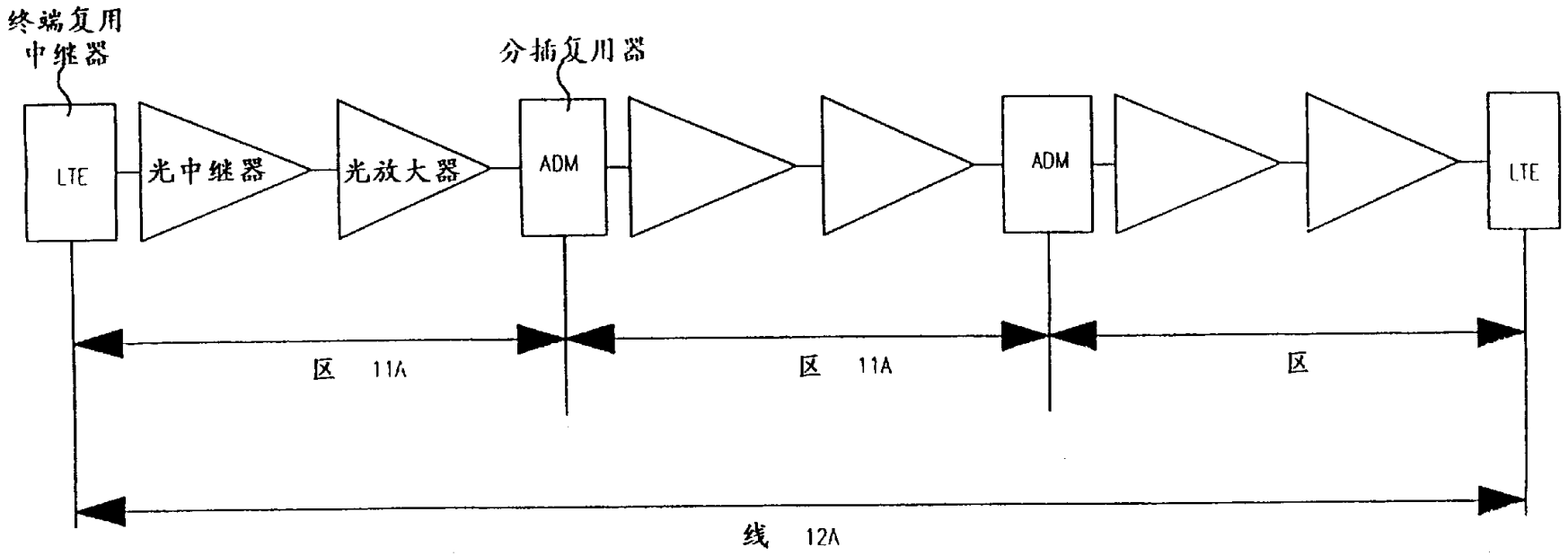


图 3

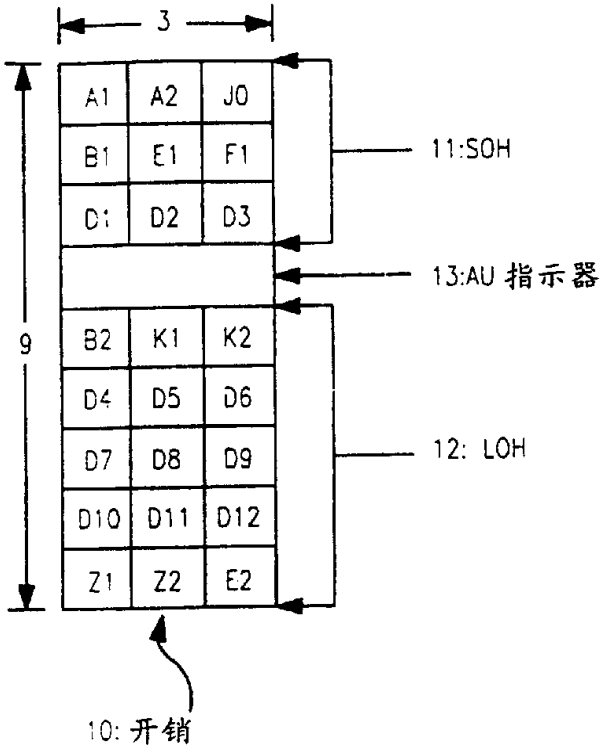

3
9
A1
A2
J0
B1
E1
F1
D1
D2
D3
11:SOH
13:AU 指示器
B2
K1
K2
D4
D5
D6
D7
D8
D9
12: LOH
D10
D11
D12
Z1
Z2
E2
10: 开销

图 4

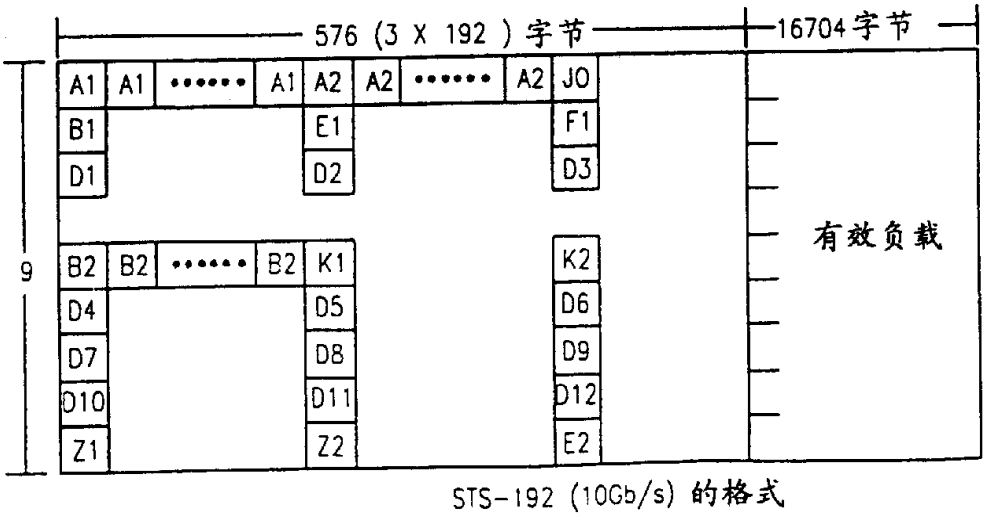

576 (3 X 192) 字节
16704字节
9
A1
A2
J0
B1
E1
F1
D1
D2
D3
B2
K1
K2
D4
D5
D6
D7
D8
D9
D10
D11
D12
Z1
Z2
E2
有效负载
STS-192 (10Gb/s) 的格式

图 6

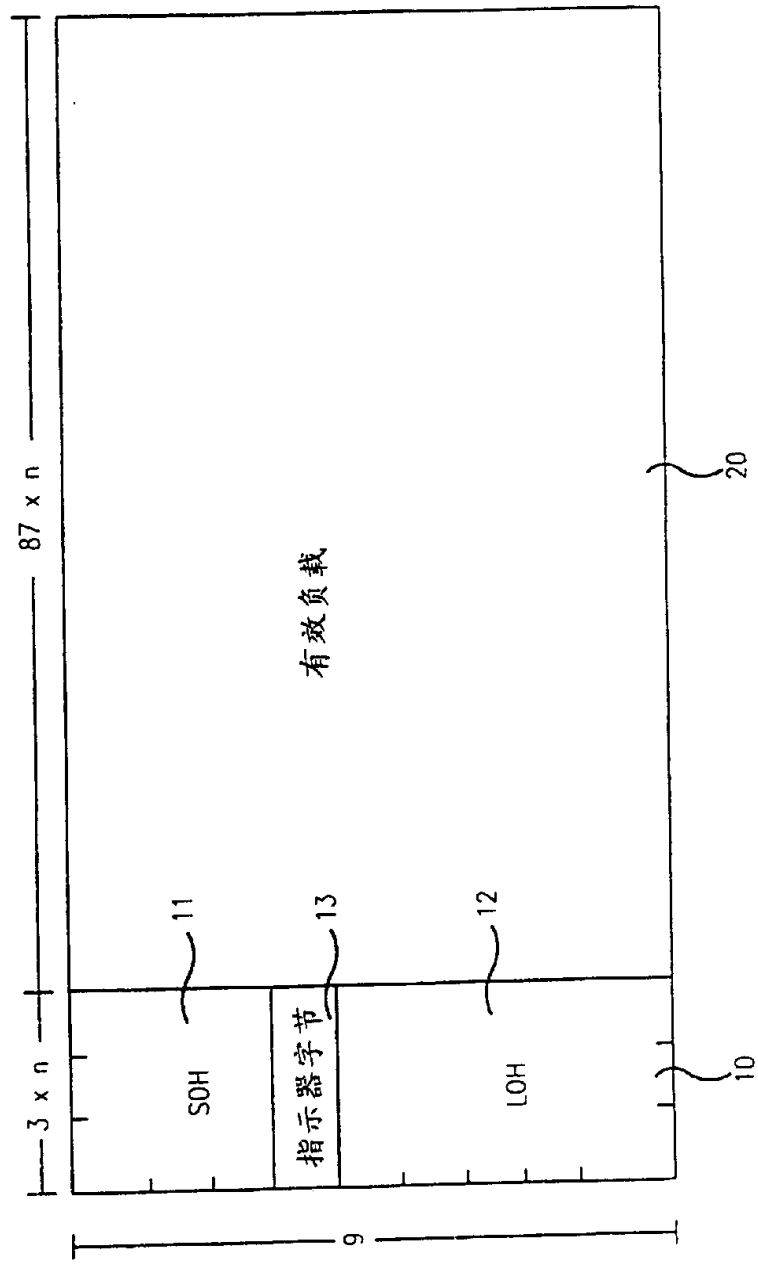


图 5

<通信量>

信道号	频率 (THz)	波长 (nm)	格栅 (nm)	4-波 WDM	8-波 WDM	16-波 WDM	32-波 WDM	备注
1	195.2	1535.82					X	
2	195.1	1536.61					X	
3	195.0	1537.40					X	
4	194.9	1538.19					X	
5	194.8	1538.98					X	
6	194.7	1539.77					X	
7	194.6	1540.56					X	
8	194.5	1541.35					X	
9	194.4	1542.14					X	
10	194.3	1542.94					X	
11	194.2	1543.73					X	
12	194.1	1544.53					X	
13	194.0	1545.32					X	
14	193.9	1546.12					X	
15	193.8	1546.92					X	
16	193.7	1547.72					X	
17	193.6	1548.51		X	X	X	X	
18	193.5	1549.32				X	X	
19	193.4	1550.12			X	X	X	
20	193.3	1550.92				X	X	
21	193.2	1551.72		X	X	X	X	
22	193.1	1552.52				X	X	参考频率
23	193.0	1553.33			X	X	X	
24	192.9	1554.13				X	X	
25	192.8	1554.94		X	X	X	X	
26	192.7	1555.75				X	X	
27	192.6	1556.55			X	X	X	
28	192.5	1557.36				X	X	
29	192.4	1558.17		X	X	X	X	
30	192.3	1558.98				X	X	
31	192.2	1559.79			X	X	X	
32	192.1	1560.61				X	X	

< 光维护信道 >

号	频率 (THz)	波长 (nm)	格栅 (nm)	x4	x8	x16	x32	备注
1		1510.00	-	X	X	X	X	EDF增益带宽输出

图 7

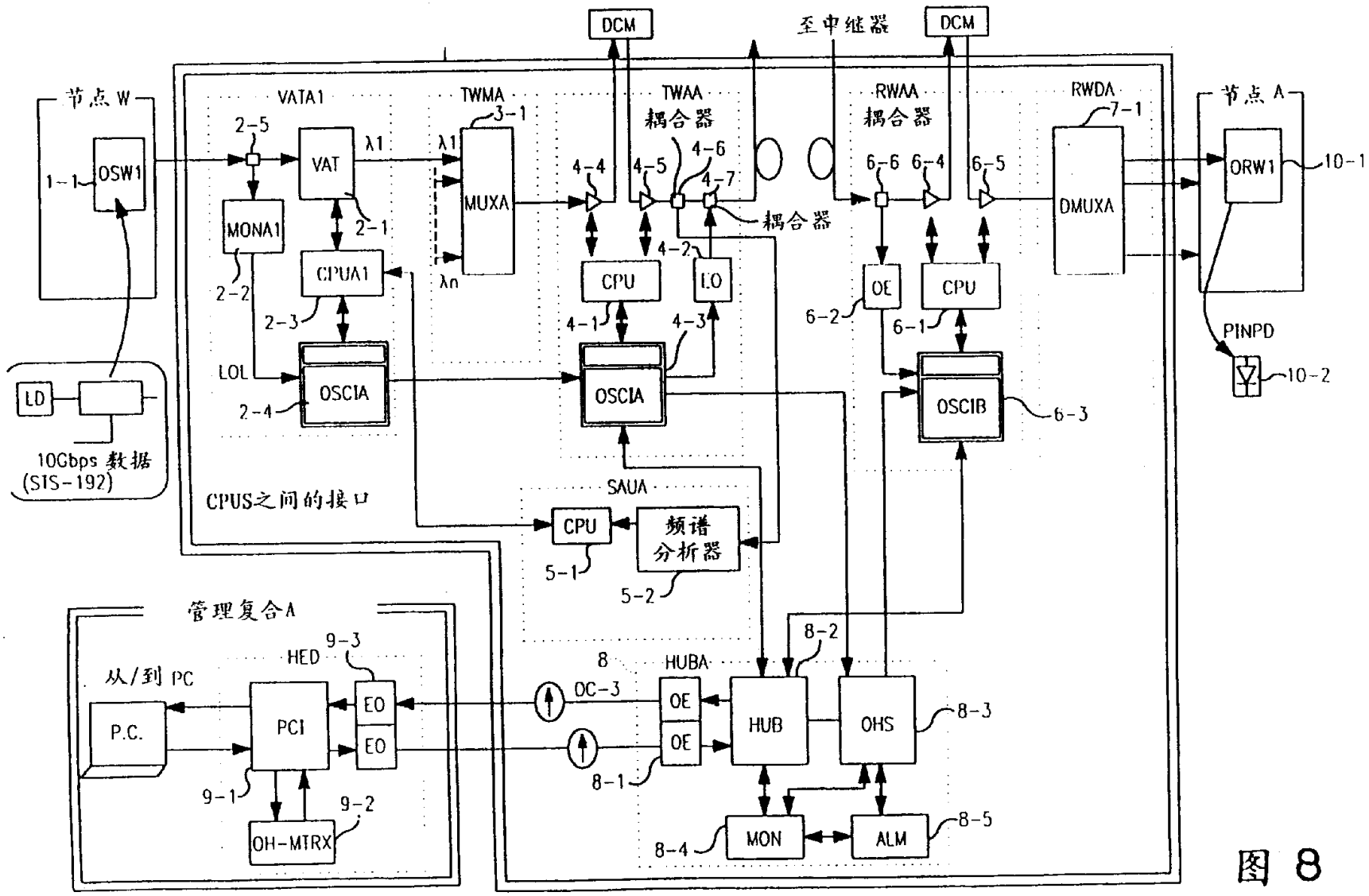

DCM
至中继器
DCM
节点 W
VATA1
TWMA
TWAA
耦合器
RWAA
耦合器
RWDA
节点 A
1-1
OSW1
2-5
VAT
λ1
λ1
3-1
MUXA
4-4
4-5
4-6
4-7
耦合器
6-6
6-4
6-5
7-1
DMUXA
ORW1
10-1
MONA1
2-1
2-2
CPUA1
2-3
λn
CPU
4-2
LO
4-1
4-3
OE
6-2
CPU
6-1
PINPD
10-2
LOL
OSCIA
2-4
OSCIA
OSCIB
6-3
LD
10Gbps 数据
(SIS-192)
CPUS之间的接口
SAUA
CPU
5-1
频谱
分析器
5-2
管理复合A
从/到 PC
HED
9-3
8
HUBA
8-2
P.C.
PCI
EO
EO
OC-3
OE
OE
HUB
OHS
8-3
9-1
9-2
8-1
OH-MTRX
8-4
MON
ALM
8-5

图 8

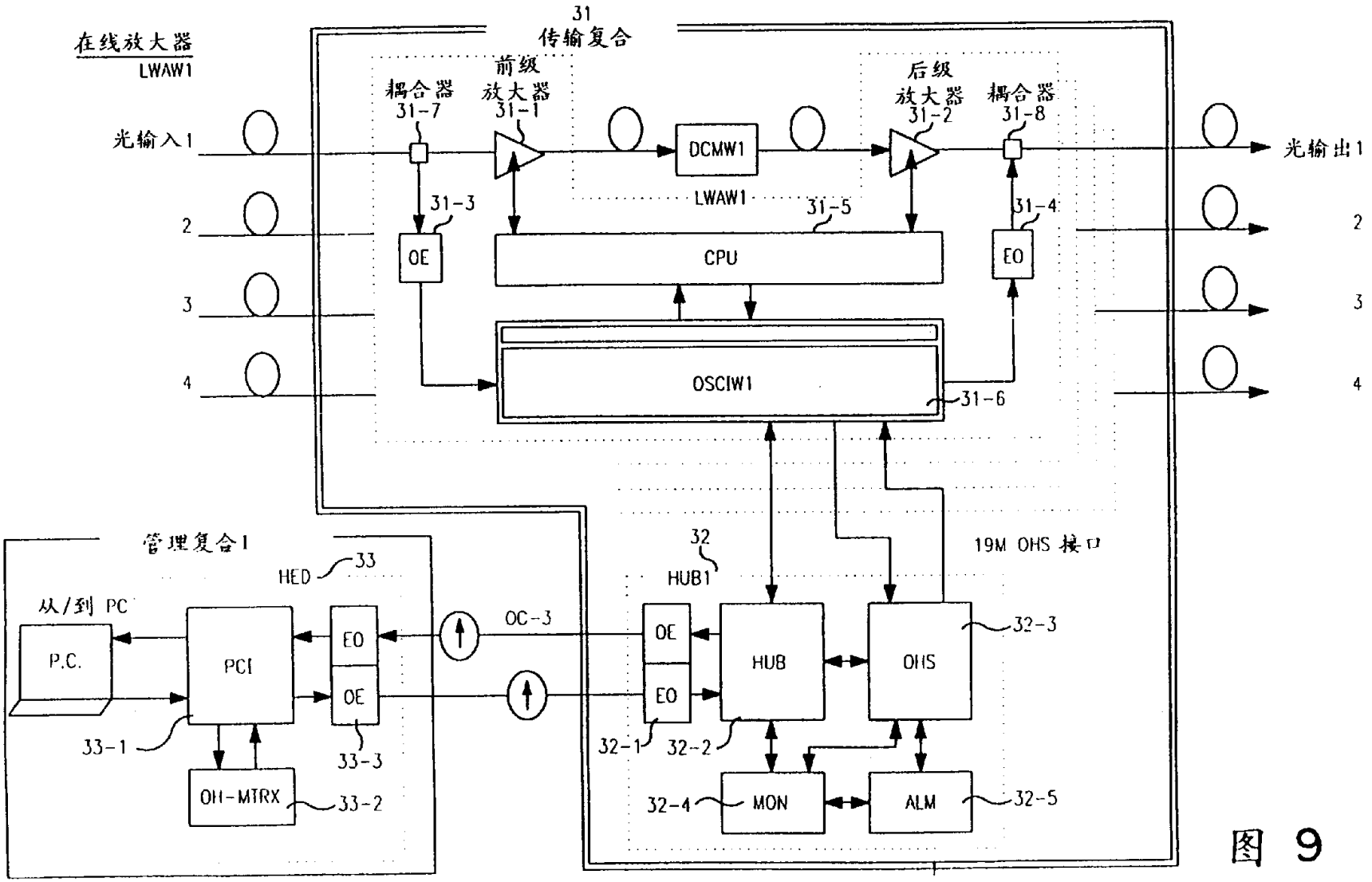

在线放大器
LWAW1
31
传输复合
前级
放大器
31-1
耦合器
31-7
后级
放大器
31-2
耦合器
31-8
光输入1
2
3
4
DCMW1
LWAW1
31-3
31-5
31-4
OE
CPU
EO
OSCIW1
31-6
光输出1
2
3
4
管理复合1
HED
33
从/到 PC
P.C.
PCI
EO
OE
OC-3
33-1
33-3
OH-MTRX
33-2
32
HUB1
19M OHS 接口
OE
EO
HUB
OHS
32-3
32-1
32-2
32-4
MON
ALM
32-5

图 9

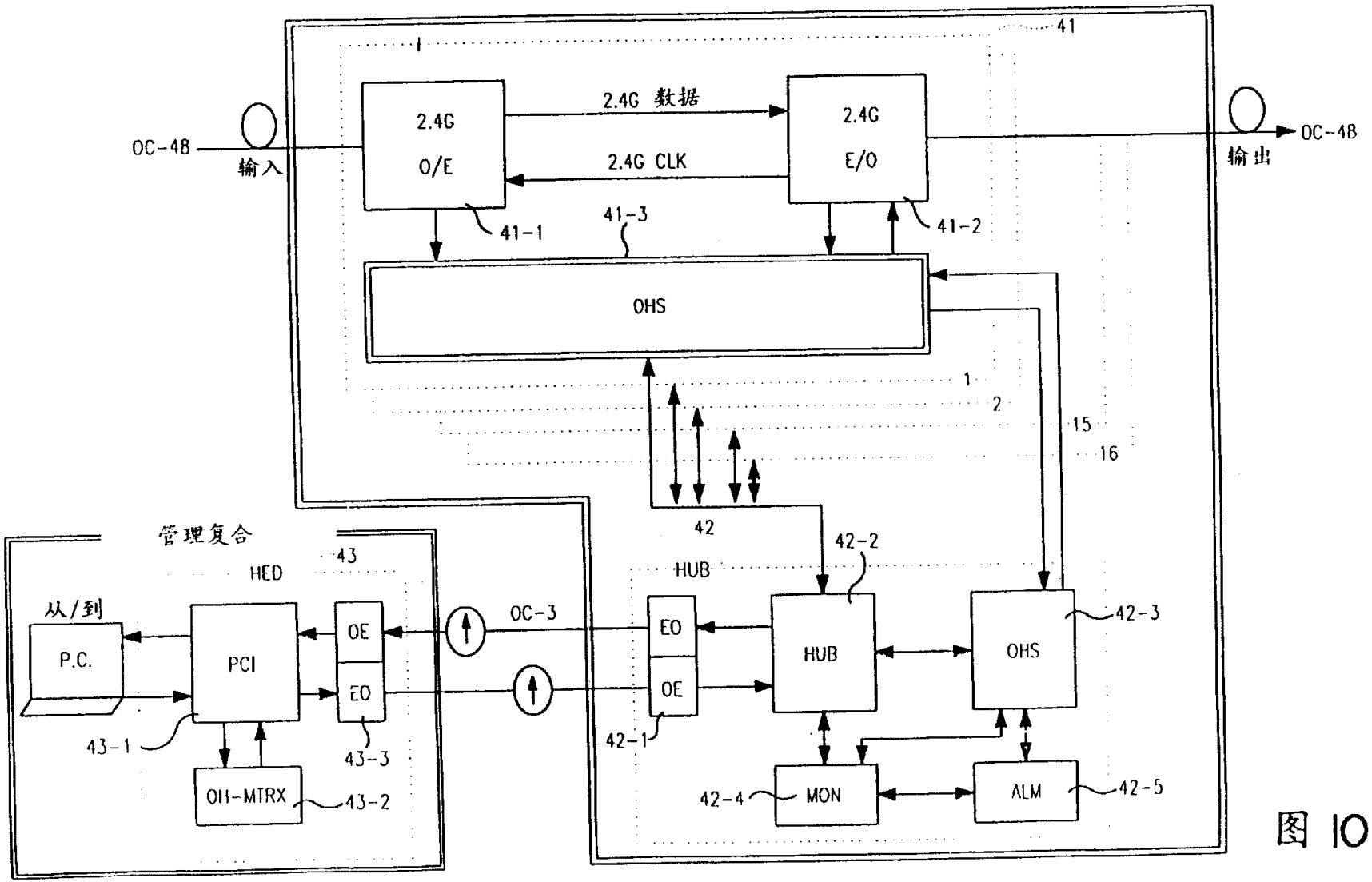

41
OC-48
输入
2.4G
O/E
2.4G 数据
2.4G CLK
2.4G
E/O
OC-48
输出
41-1
41-3
41-2
OHS
1
2
15
16
42
42-2
管理复合
43
HED
HUB
从/到
P.C.
PCI
OE
EO
OC-3
EO
OE
HUB
OHS
42-3
43-1
43-3
42-1
OH-MTRX
43-2
42-4
MON
ALM
42-5

图 10

OSC数据传输格式

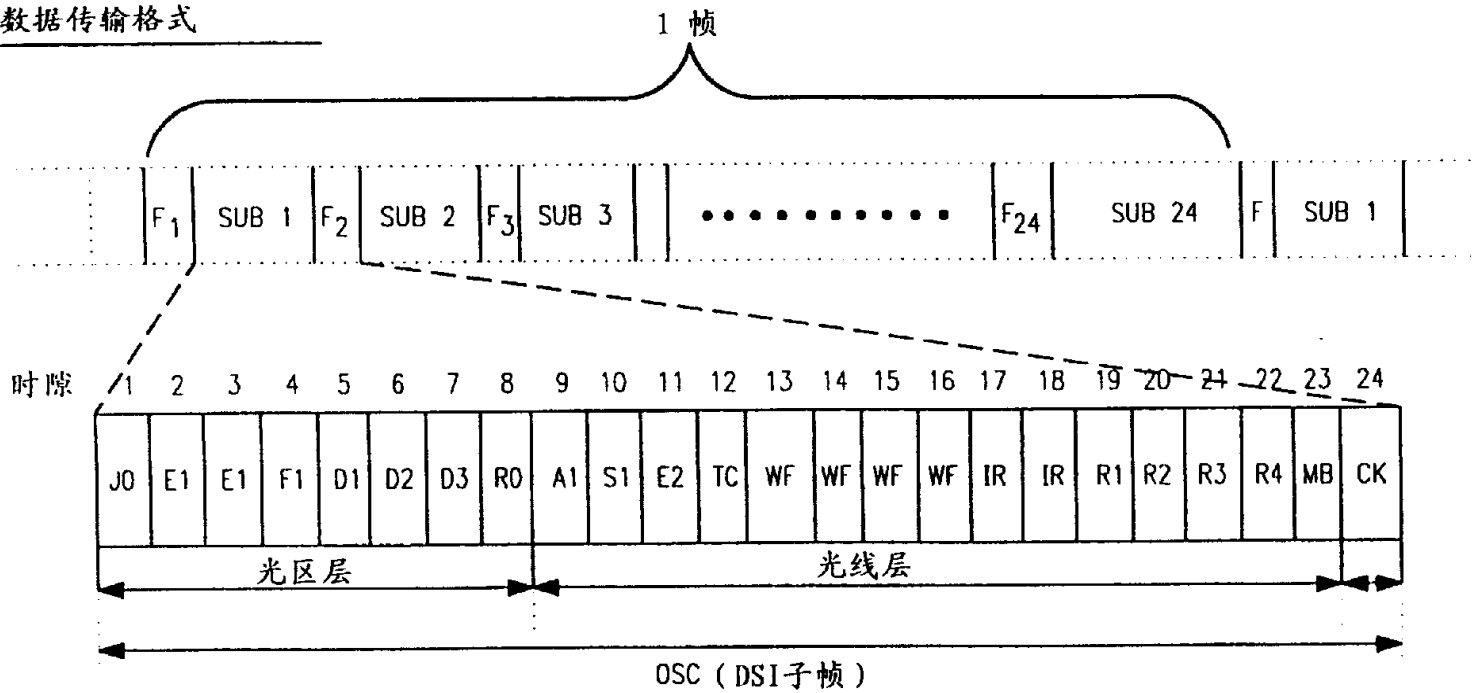
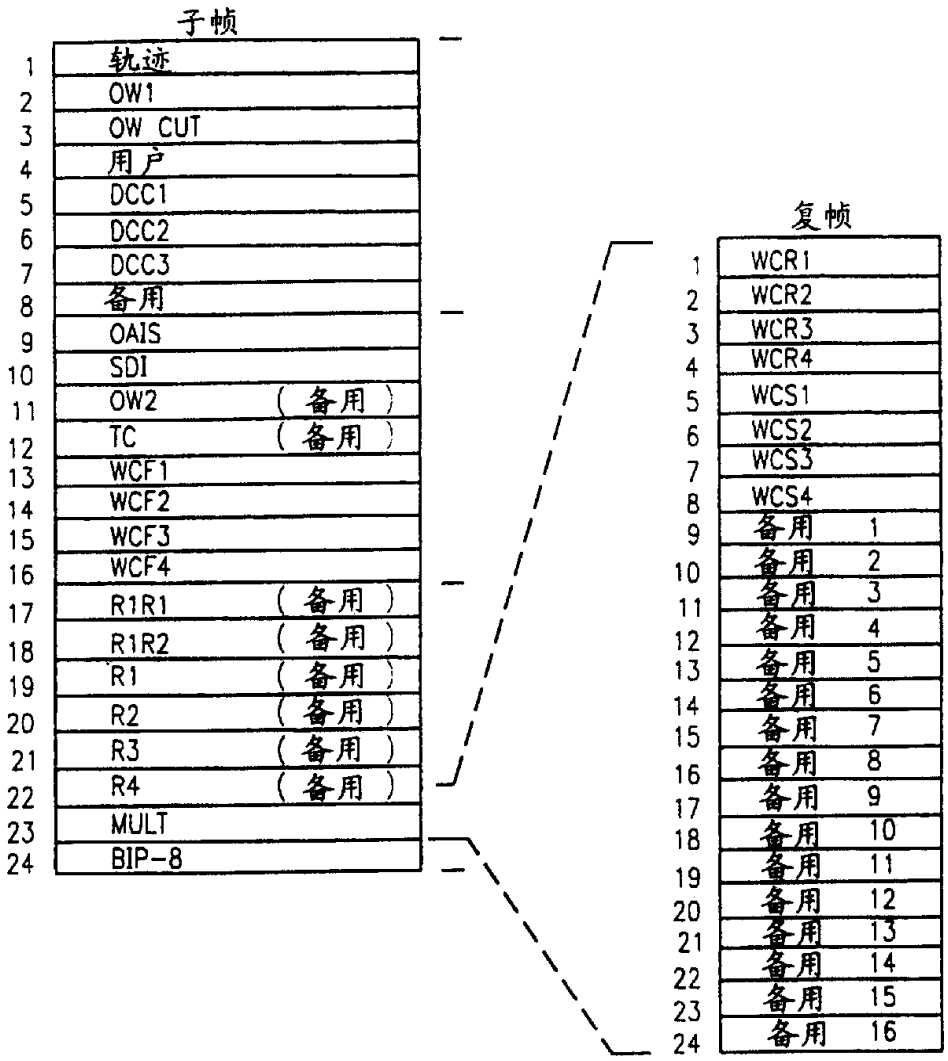


图 11

OSC		功能名称	功能	端接点
号	名称			OSC1
1	J0	区轨迹		
2	E1	本地联络线		
3	E1#2	本地联络线		
4	F1	用户信道		
5	D1	DCC数据通信信道		
6	D2	DCC数据通信信道		
7	D3	DCC数据通信信道		
8	R0	备用区		0
9	OAIS	OSC报警指示器信号	OSC-AIS	0
10	SDI	关闭指示器	传输站LOL (光损失)接收信息	0
11	E2	外部联络线		0
12	TC	时间控制字节	时间设定，触发器字节	
13	WCF1	WDM信道故障字节1	WDM信道故障信息 CH1~CH8	
14	WCF2	WDM信道故障字节2	WDM信道故障信息 CH9~CH16	0
15	WCF3	WDM信道故障字节3	WDM信道故障信息 CH17~CH24	0
16	WCF4	WDM信道故障字节4	WDM信道故障信息 CH25~CH32	0
17	R1R1	备用中断寄存器1	CPU中断备用字节	
18	R1R2	备用中断寄存器2	CPU中断备用字节	0
19	R1	备用字节1	线备用字节1	0
20	R2	备用字节2	线备用字节2	0
21	R3	备用字节3	线备用字节3	0
22	R4	备用字节4	线备用字节4	0
23	MB	复帧字节	复帧字节	0
24	CK	字帧检验器	奇偶校验	0

图 12



	字节数	内容
WRC	4	波长(信道)比特率 (2. 4Gbps 或 10Gbps)
WCS	4	波长(信道)1S/00S显示

图 13

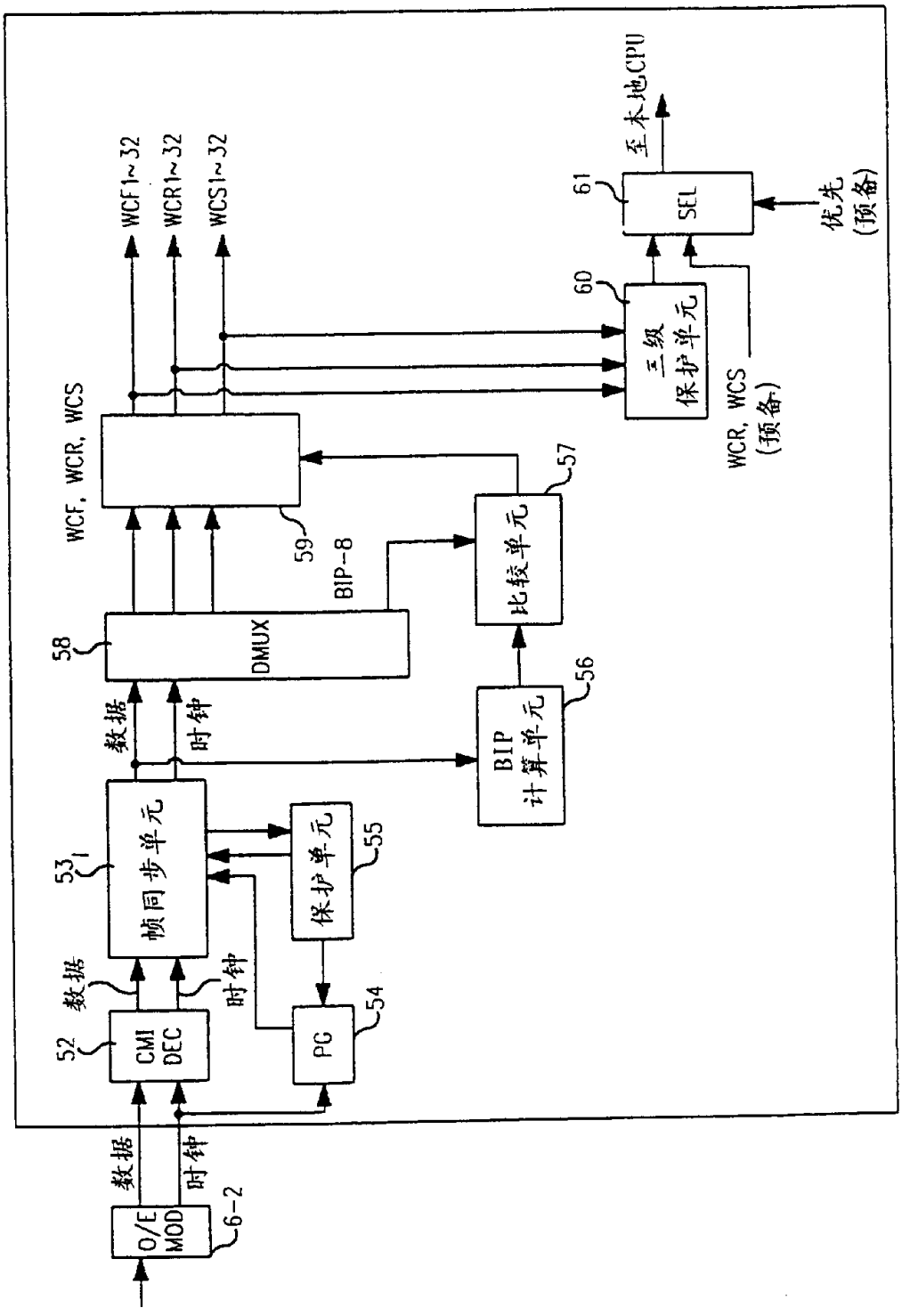

O/E MOD
6-2
数据
时钟
CMI DEC
52
帧同步单元
53
保护单元
55
PG
54
BIP 计算单元
56
比较单元
57
DMUX
58
BIP-8
59
WCF, WCR, WCS
WCF1~32
WCR1~32
WCS1~32
三级保护单元
60
SEL
61
至本地CPU
优先(预备)
WCR, WCS(预备)

图 14

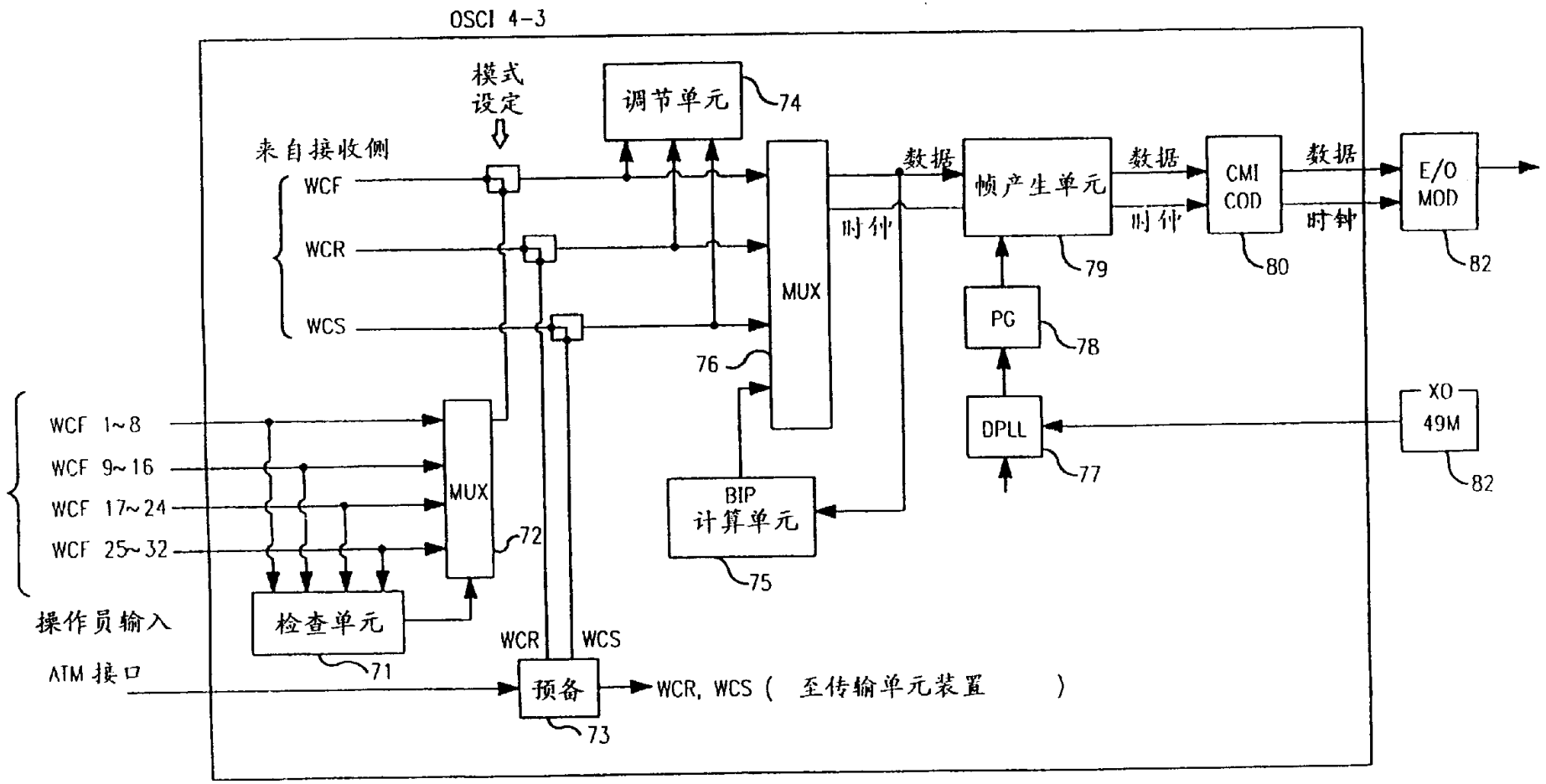

OSCI 4-3
模式
设定
调节单元
74
来自接收侧
WCF
WCR
WCS
MUX
76
数据
时钟
帧产生单元
79
数据
时钟
CMI
COD
80
数据
时钟
E/O
MOD
82
PG
78
DPLL
77
XO
49M
82
WCF 1~8
WCF 9~16
WCF 17~24
WCF 25~32
MUX
72
BIP
计算单元
75
操作员输入
检查单元
71
WCR
WCS
ATM 接口
预备
73
WCR, WCS (至传输单元装置)

图 15

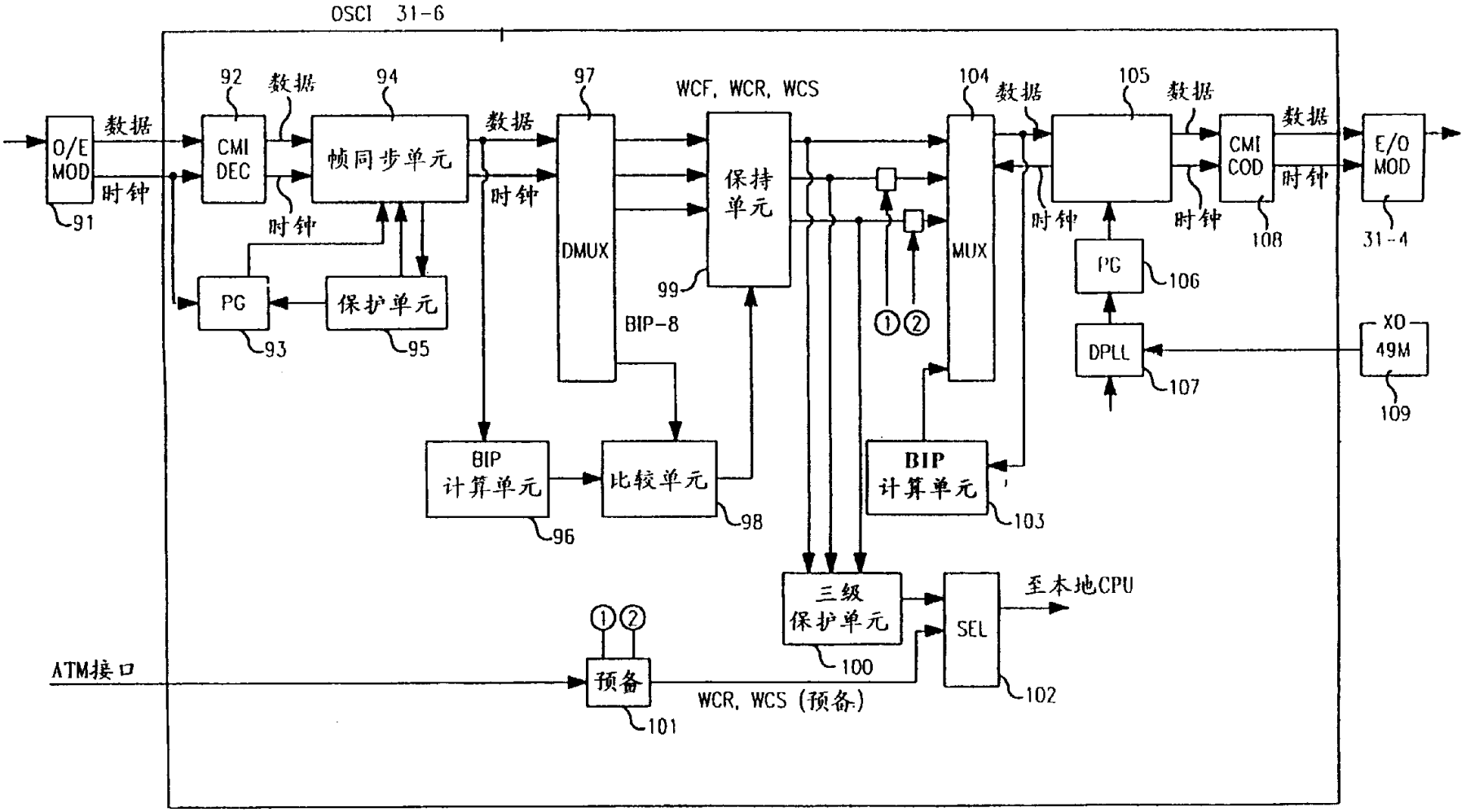

OSCI 31-6
O/E MOD
91
数据
时钟
CMI DEC
92
数据
时钟
帧同步单元
94
数据
时钟
PG
93
保护单元
95
DMUX
97
BIP-8
99
WCF, WCR, WCS
保持单元
BIP 计算单元
96
比较单元
98
MUX
104
数据
时钟
105
数据
时钟
PG
106
DPLL
107
XO 49M
109
CMI COD
108
数据
时钟
E/O MOD
31-4
BIP 计算单元
103
三级保护单元
100
SEL
102
至本地CPU
ATM接口
预备
101
WCR, WCS (预备)

图 16

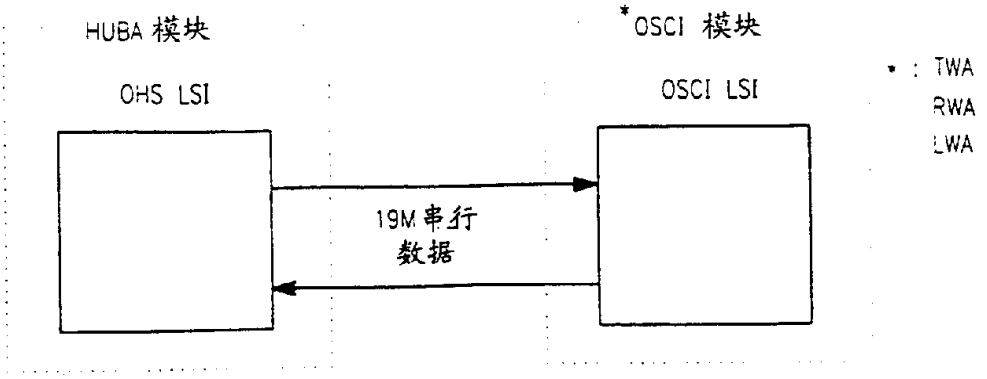


图 17A

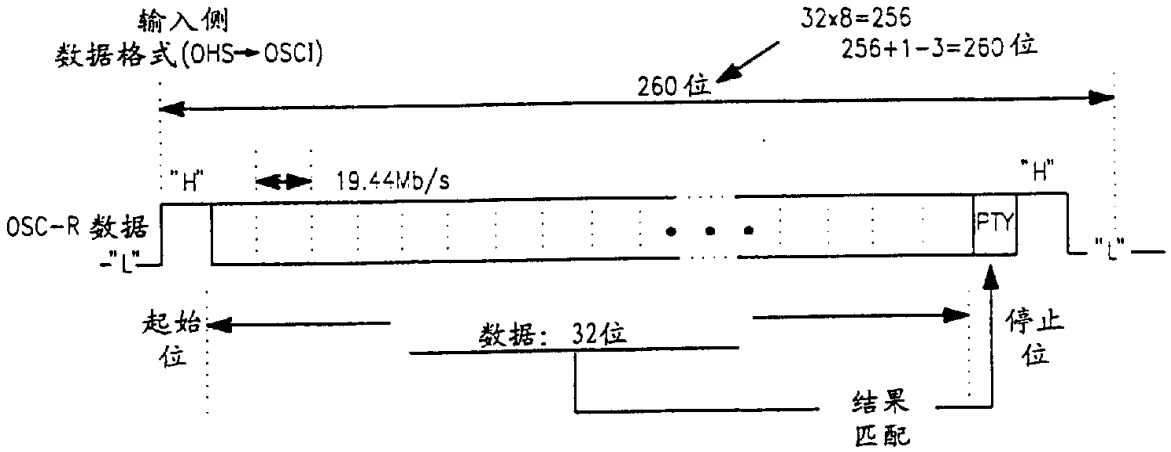


图 17B

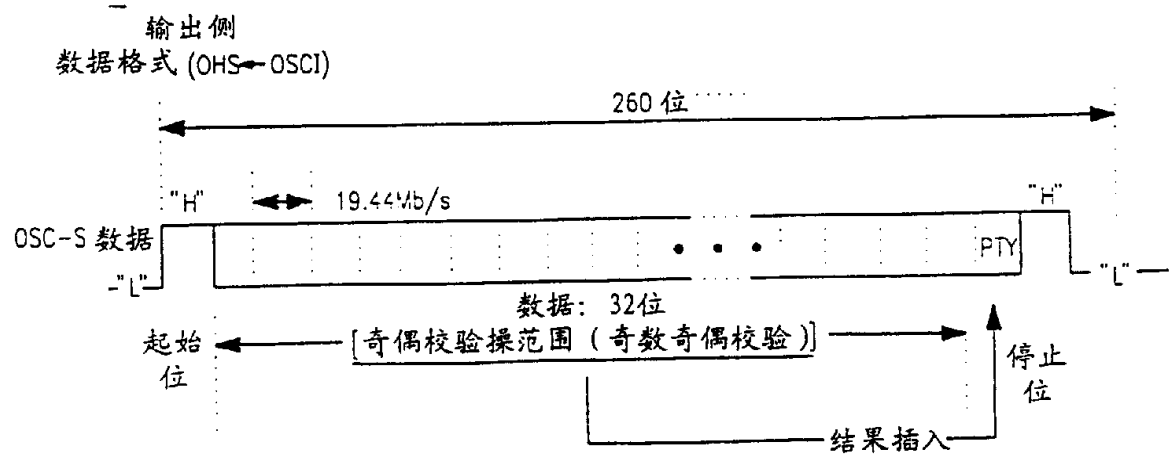


图 17C

96-04-01

OSCIA
TWAA
SMF A
80 km
OSCIW1
LWAW1
SMFW1
OSCIW2
LWAW2
SMFW2
OSCIW3
LWAW3
SMFW3
OSCIB
RWAB
(信号)
光功率
(噪声)
光放大器噪声

图 18

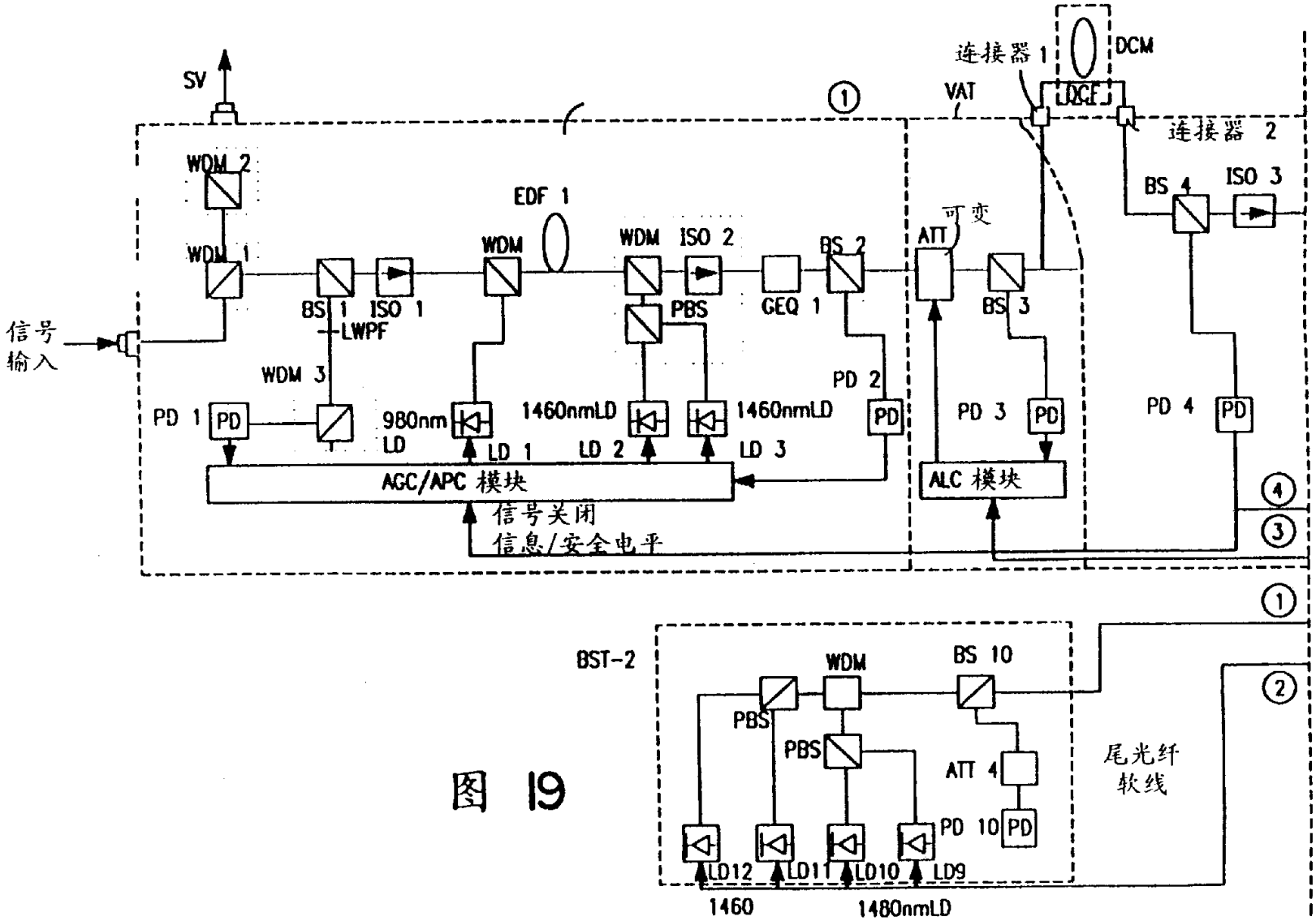

SV
连接器 1
DCM
VAT
DCF
连接器 2
WDM 2
EDF 1
可变
WDM 1
WDM
WDM
ISO 2
BS 2
ATT
BS 4
ISO 3
BS 1
ISO 1
PBS
GEQ 1
BS 3
信号
输入
LWPF
WDM 3
PD 2
PD 1
PD
980nm
LD
1460nmLD
1460nmLD
PD 3
PD 4
LD 1
LD 2
LD 3
AGC/APC 模块
ALC 模块
信号关闭
信息/安全电平
BST-2
WDM
BS 10
PBS
PBS
ATT 4
尾光纤
软线
PD 10
LD12
LD11
LD10
LD9
1460
1480nmLD

图 19

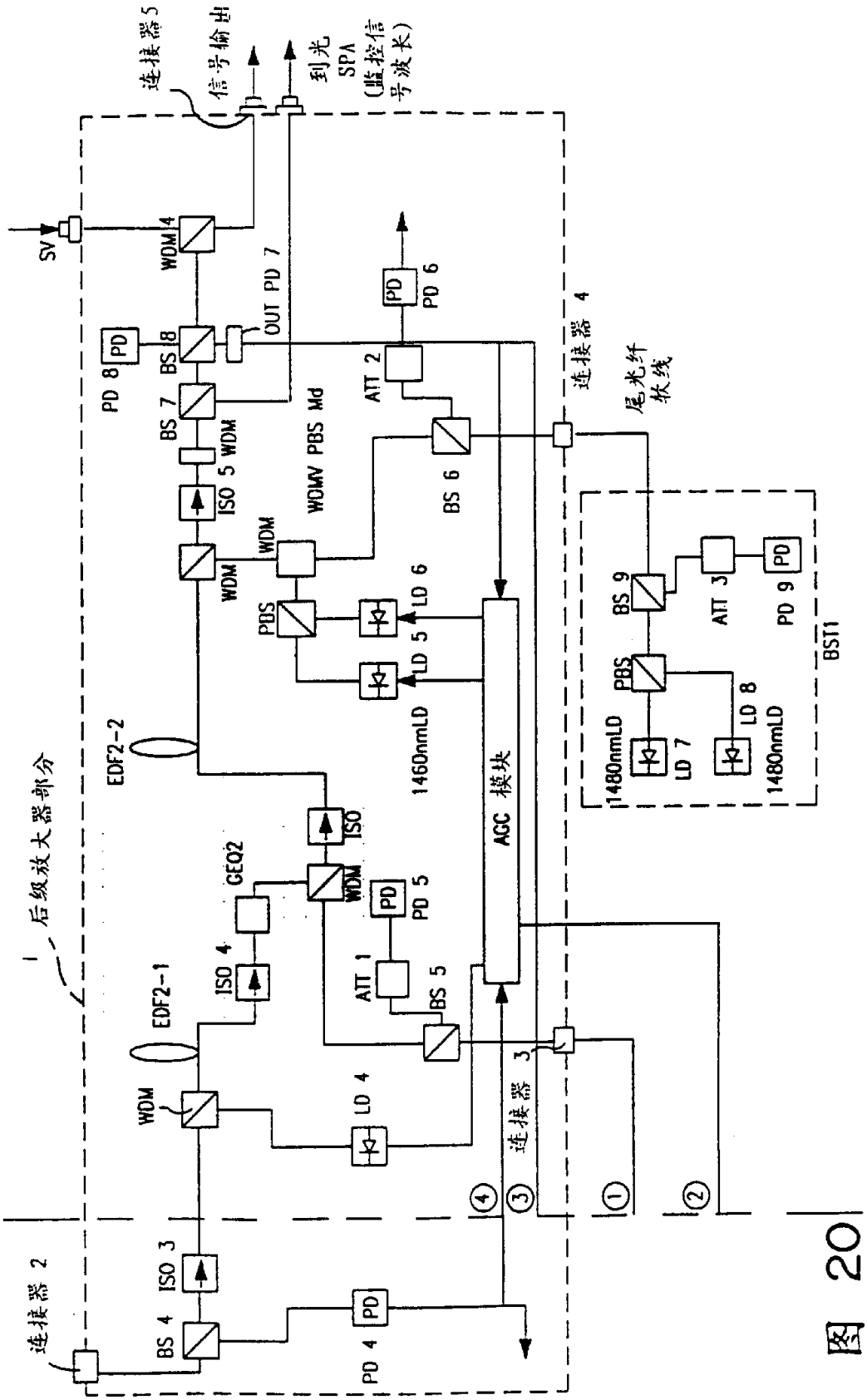

后级放大器部分
连接器 2
连接器 5
信号输出
到光 SPA (监控信号波长)
SV
WDM 4
OUT PD 7
PD 8
BS 8
BS 7
ISO 5
WDM
WDM
WDM
WDM PBS Md
PDS
LD 6
LD 5
1460nmLD
EDF2-2
ISO
GEQ2
WDM
PD 5
ATT 1
BS 5
ISO 4
EDF2-1
WDM
LD 4
ISO 3
BS 4
PD 4
PD 6
ATT 2
BS 6
连接器 4
尾光纤软线
AGC 模块
连接器 3
BS 9
PBS
ATT 3
PD 9
1480nmLD
LD 7
LD 8
1480nmLD
BST1

图 20

激励带	980nm 频带	1480nm 频带
激励带宽	970 ~ 985nm : 15nm	1450 ~ 1500nm : 50nm
放大器 NF (噪声系数)	低噪声 ≧3dB (理论极限)	≧4.5 dB
转换效率	63%>	95%>

图 21

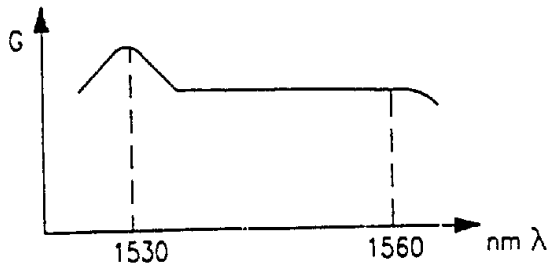


图 22A

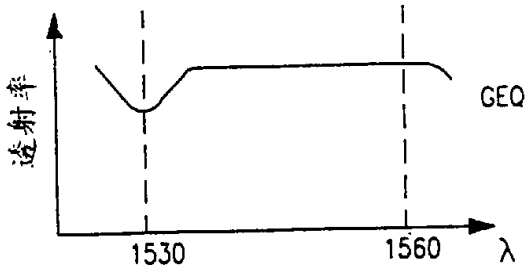


图 22B

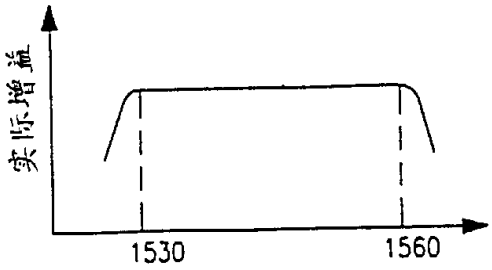


图 22C

99.04.01

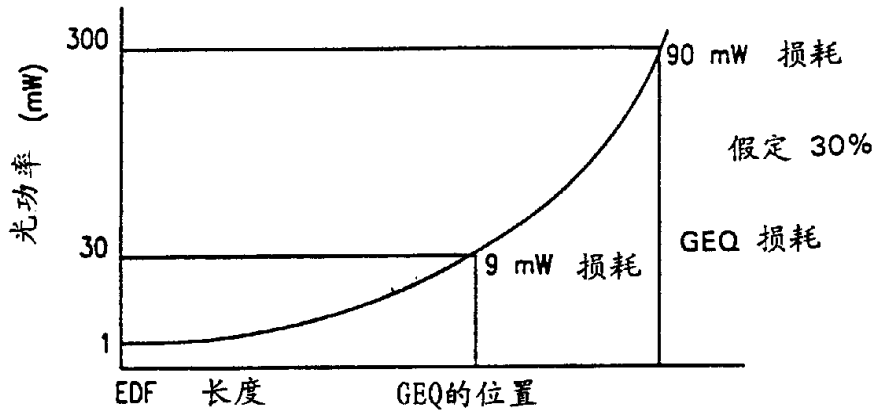


图 23

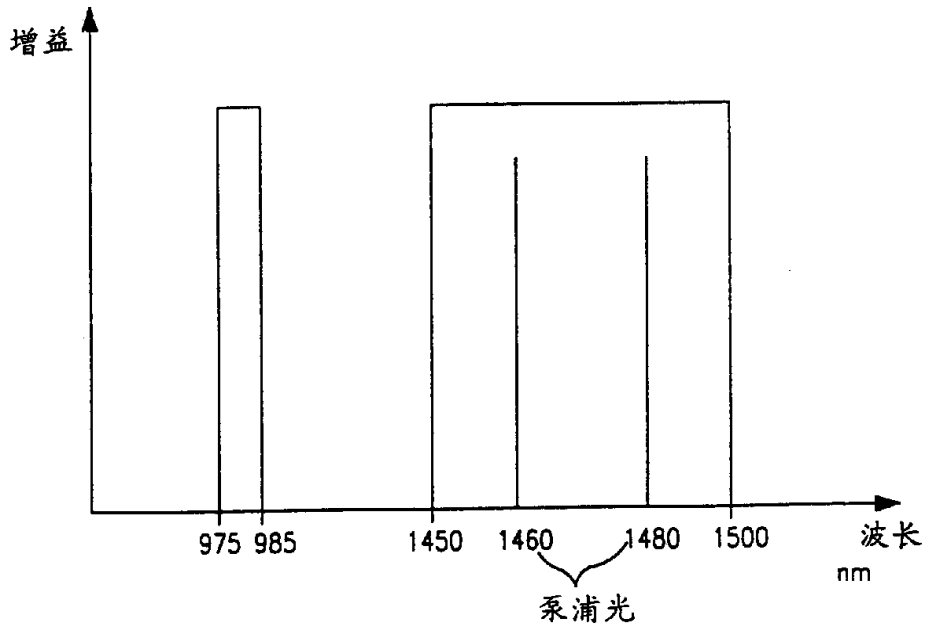


图 24

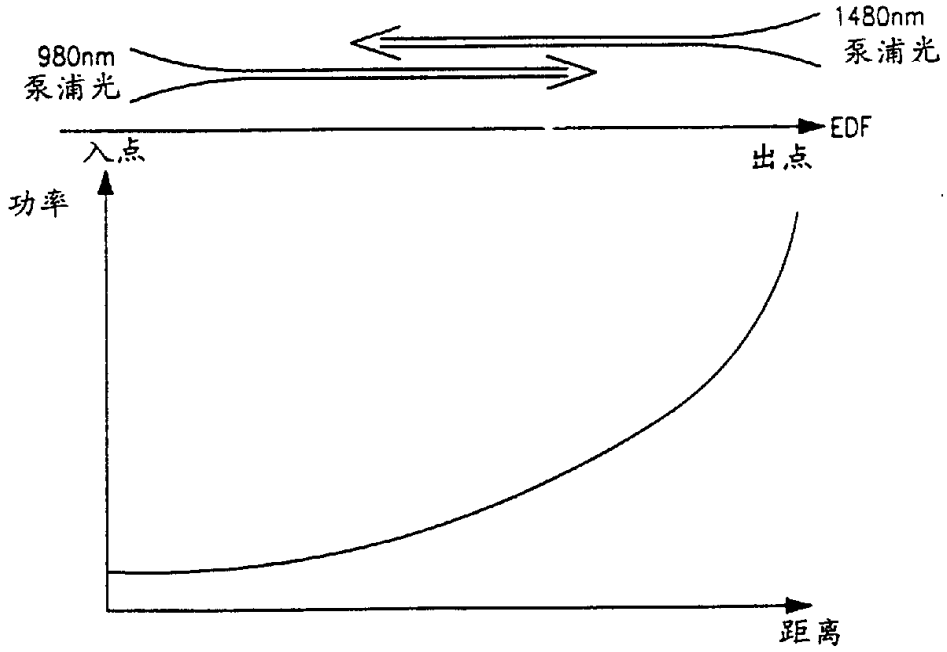


图 25

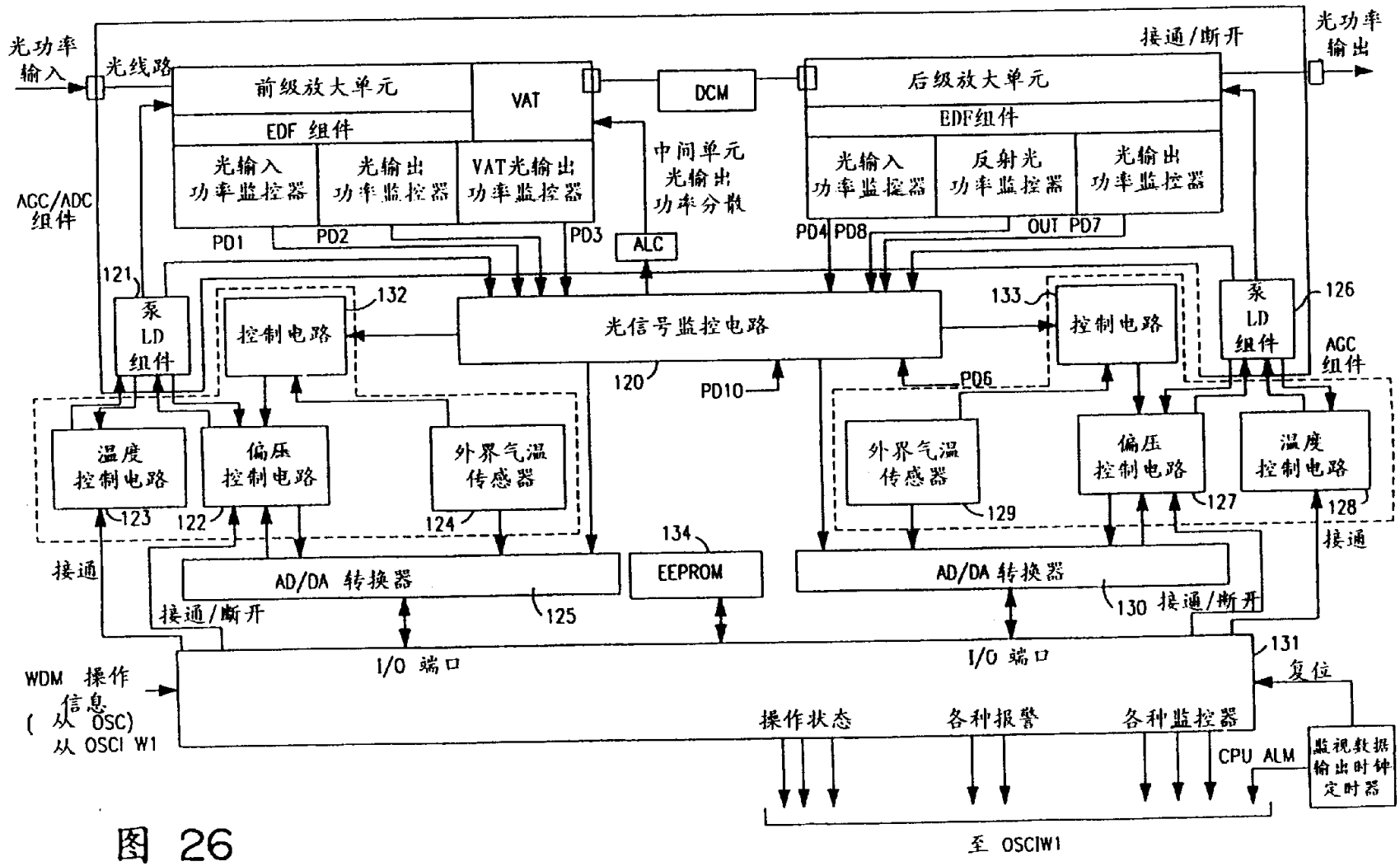

光功率输入
光线路
前级放大单元
VAT
DCM
后级放大单元
接通/断开
光功率输出
EDF 组件
EDF组件
中间单元
光输出
功率分散
光输入功率监控器
光输出功率监控器
VAT光输出功率监控器
光输入功率监控器
反射光功率监控器
光输出功率监控器
AGC/ADC组件
PD1
PD2
PD3
ALC
PD4
PD8
OUT PD7
121
泵LD组件
控制电路
132
光信号监控电路
133
控制电路
泵LD组件
126
AGC组件
120
PD10
PD6
温度控制电路
偏压控制电路
外界气温传感器
外界气温传感器
偏压控制电路
温度控制电路
123
122
124
129
127
128
接通
134
接通
AD/DA 转换器
EEPROM
AD/DA 转换器
接通/断开
125
130 接通/断开
I/O 端口
I/O 端口
131
复位
WDM 操作信息
(从 OSC)
从 OSCI W1
操作状态
各种报警
各种监控器
CPU ALM
监视数据输出时钟定时器
至 OSCIW1

图 26

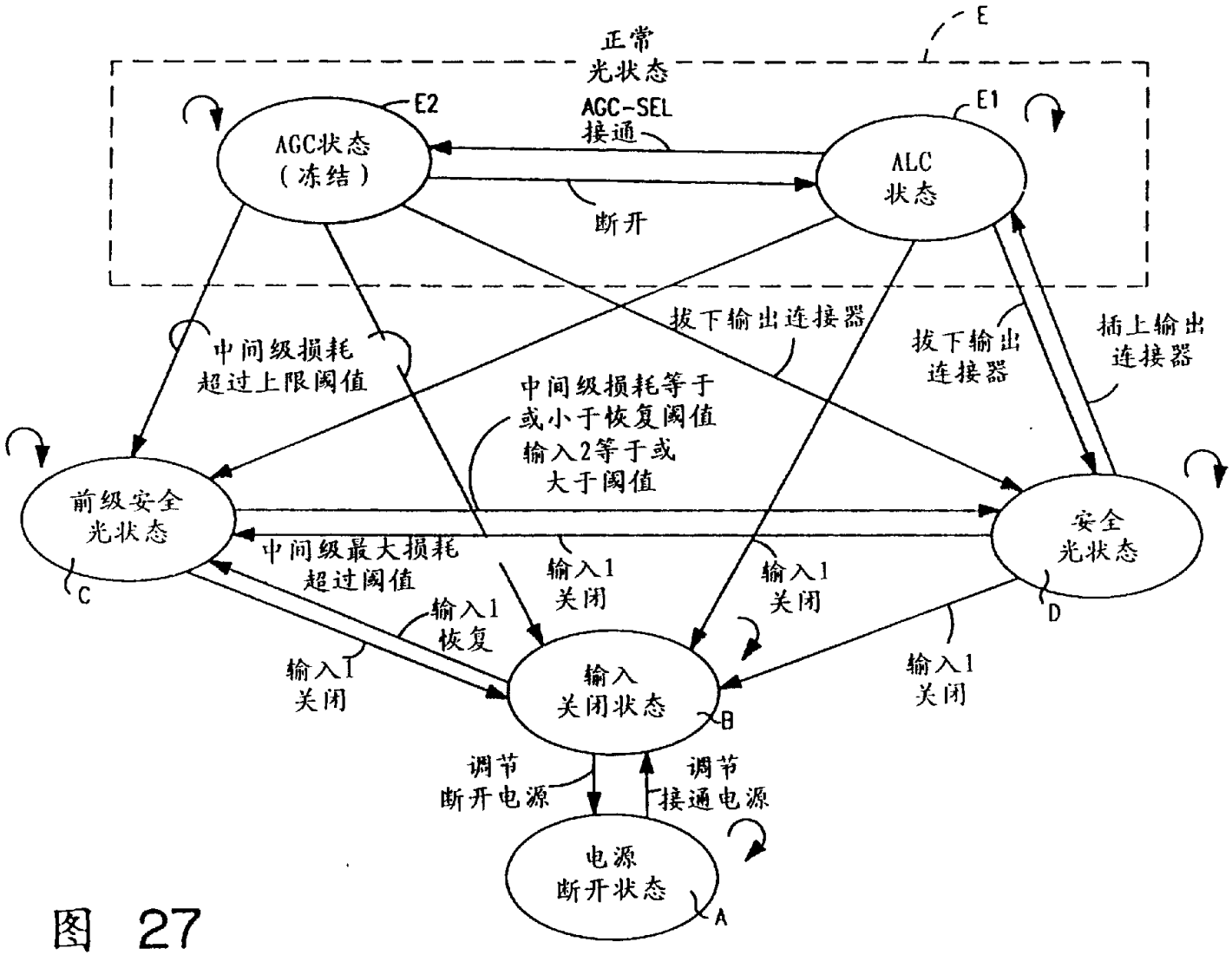

E
正常
光状态
E2
AGC状态
(冻结)
AGC-SEL
接通
断开
E1
ALC
状态
中间级损耗
超过上限阈值
拔下输出连接器
拔下输出
连接器
插上输出
连接器
中间级损耗等于
或小于恢复阈值
输入2等于或
大于阈值
前级安全
光状态
C
中间级最大损耗
超过阈值
输入1
关闭
输入1
关闭
安全
光状态
D
输入1
恢复
输入1
关闭
输入1
关闭
输入
关闭状态
B
调节
断开电源
调节
接通电源
电源
断开状态
A

图 27

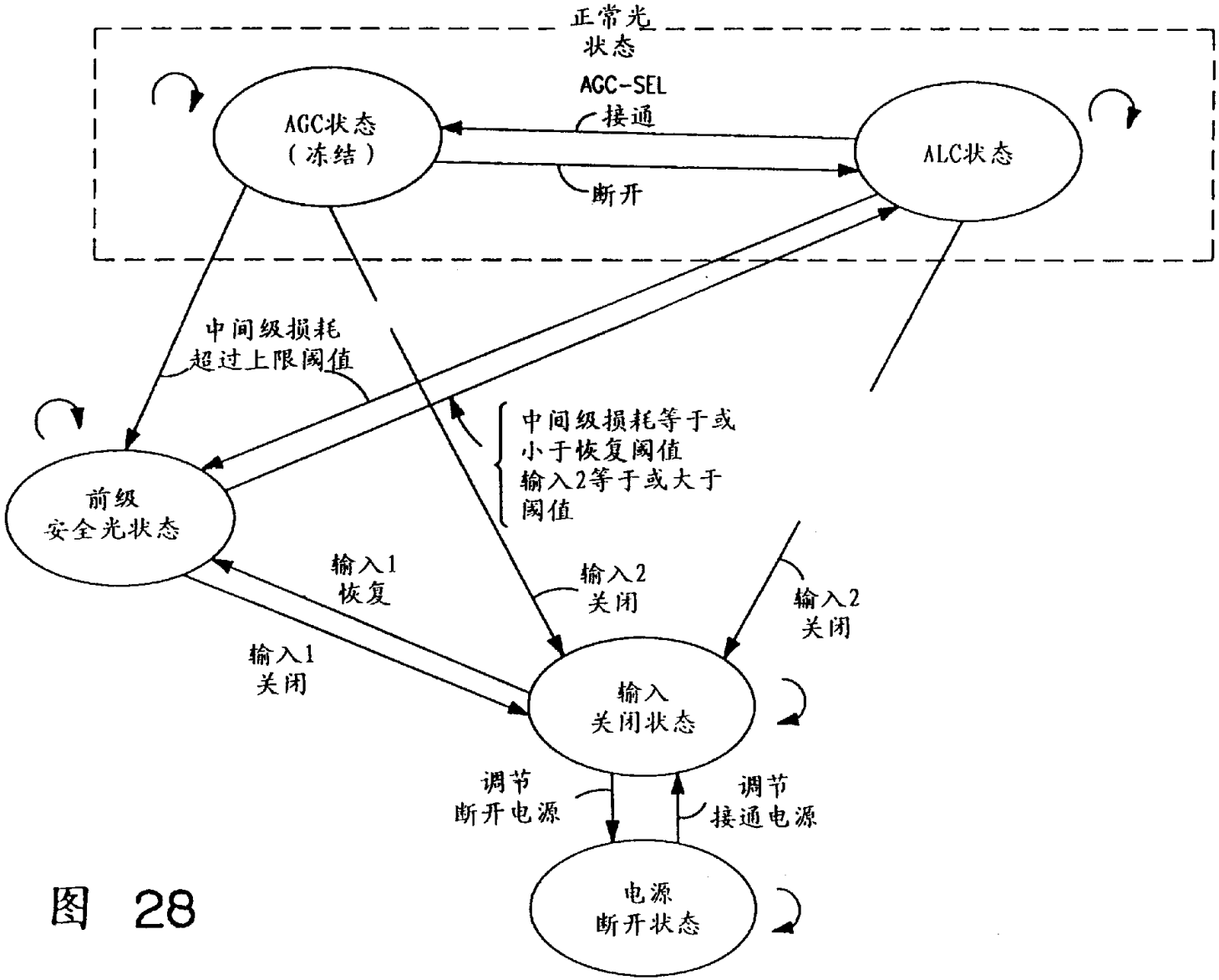

正常光
状态
AGC状态
（冻结）
AGC-SEL
接通
断开
ALC状态
中间级损耗
超过上限阈值
中间级损耗等于或
小于恢复阈值
输入2等于或大于
阈值
前级
安全光状态
输入1
恢复
输入1
关闭
输入2
关闭
输入2
关闭
输入
关闭状态
调节
断开电源
调节
接通电源
电源
断开状态

图 28

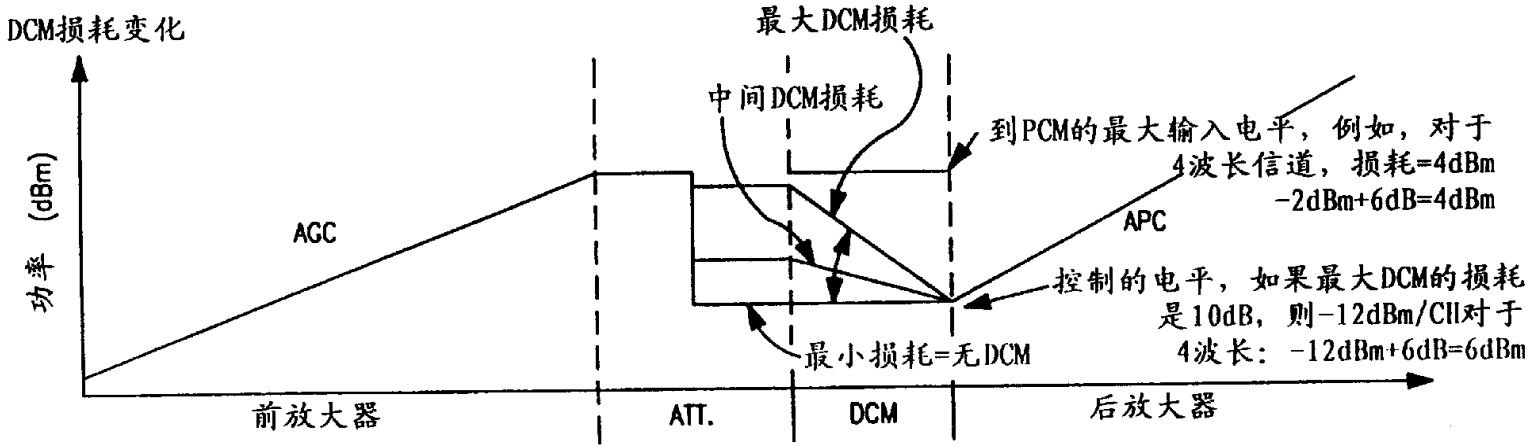

DCM损耗变化
最大DCM损耗
中间DCM损耗
到PCM的最大输入电平，例如，对于
4波长信道，损耗=4dBm
-2dBm+6dB=4dBm
APC
AGC
功率 (dBm)
控制的电平，如果最大DCM的损耗
是10dB，则-12dBm/Ch对于
4波长：-12dBm+6dB=6dBm
最小损耗=无DCM
前放大器
ATT.
DCM
后放大器

图 29A

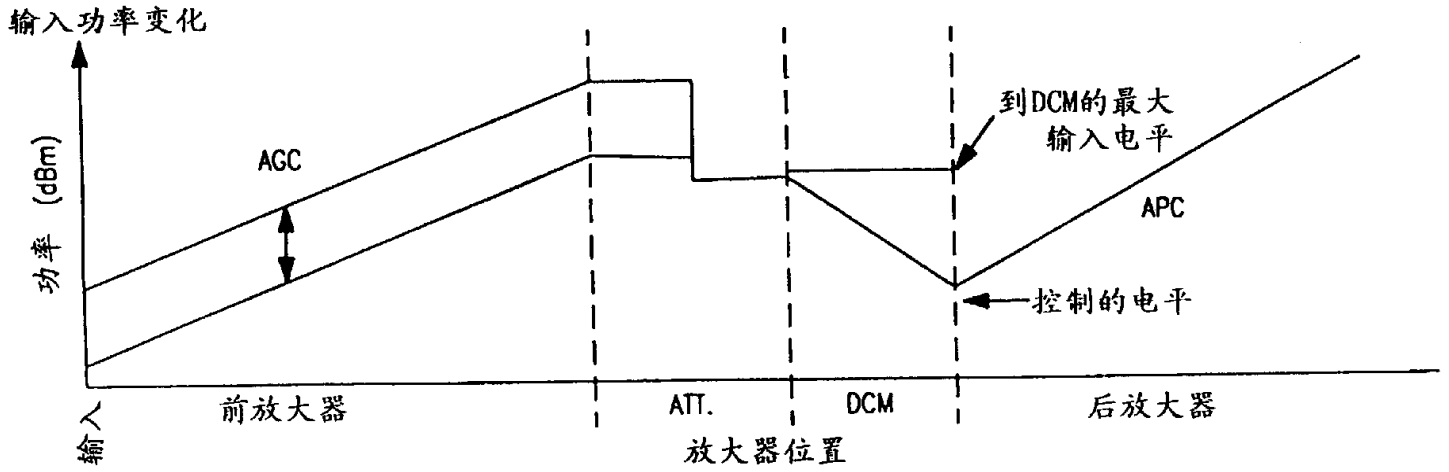
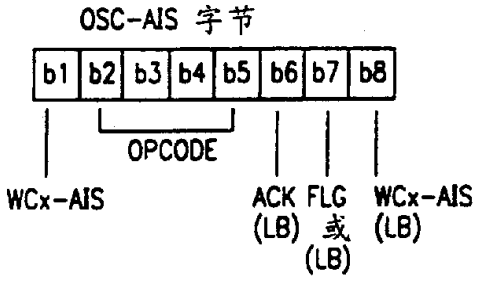

输入功率变化
到DCM的最大
输入电平
AGC
APC
功率 (dBm)
控制的电平
前放大器
ATT.
DCM
后放大器
输入
放大器位置

图 29B



b1 : WCx-AIS 位
b2, b3, b4, b5 : ALC/AGC 控制，关闭控制 (15 命令)
b6 : 环回 (确认)
b7 : 环回 (内标记)
b8 : 环回 (WCx-AIS)

图 30

状态		内容	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	备注
正常			0	0	0	0	0	0	0	0	
OSC线故障		反向端OSC线故障检查检测的 LOS, LOF, AIS, BIP, ERR	1	–	–	–	–	–	–	–	WCx-AIS
			–	–	–	–	–	–	–	1	WCx-AIS (LB)
命令	a	正常	–	0	0	0	0	–	–	–	
	b	AGC→ALC + 关闭INH允许	–	0	0	0	1	–	–	–	
	c	改变WCS/WCR信息	–	0	0	1	0	–	–	–	
	d	BST 0/1 扫描	–	0	0	1	1	–	–	–	
	e	报警扫描	–	0	1	0	0	–	–	–	
	f	等待状态	–	0	1	0	1	–	–	–	
	g	WCS/WCR	–	0	1	1	0	–	–	–	
	h	ALC→AGC + 关闭INH	–	0	1	1	1	–	–	–	
	i	ΔP 上升	–	1	0	0	0	–	–	–	
	j	ΔP 下降	–	1	0	0	1	–	–	–	
		备用的	–	1	0	1	0	–	–	–	
		备用的	–	1	0	1	1	–	–	–	
		备用的	–	1	1	0	0	–	–	–	
		备用的	–	1	1	0	1	–	–	–	
		备用的	–	1	1	1	0	–	–	–	

图 31

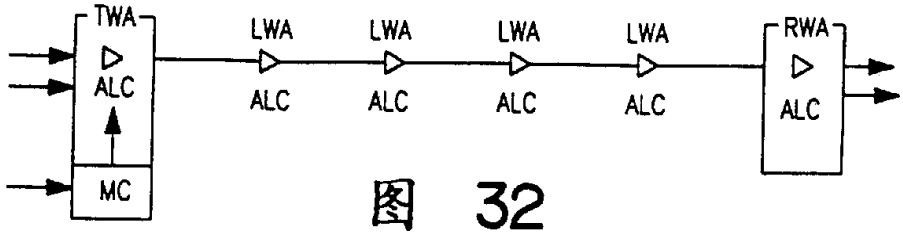

TWA
ALC
MC
LWA
ALC
LWA
ALC
LWA
ALC
LWA
ALC
RWA
ALC

图 32

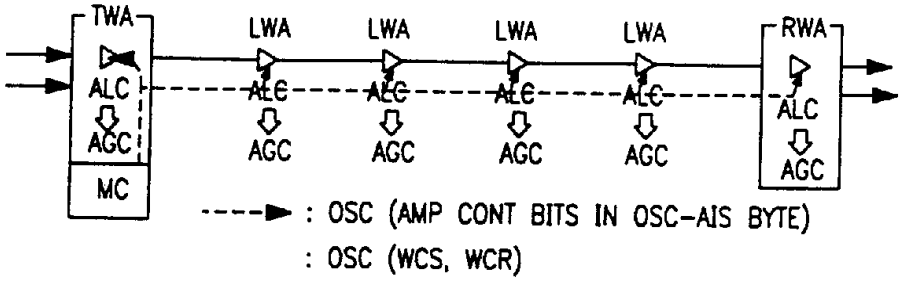

TWA
ALC
AGC
MC
LWA
ALC
AGC
LWA
ALC
AGC
LWA
ALC
AGC
LWA
ALC
AGC
RWA
ALC
AGC
: OSC (AMP CONT BITS IN OSC-AIS BYTE)
: OSC (WCS, WCR)

图 33

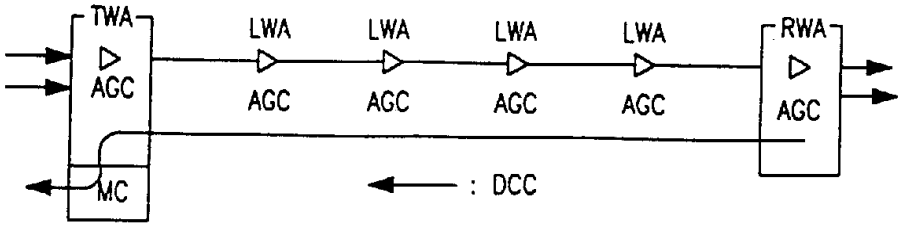

TWA
AGC
MC
LWA
AGC
LWA
AGC
LWA
AGC
LWA
AGC
RWA
AGC
: DCC

图 34

99.04.01

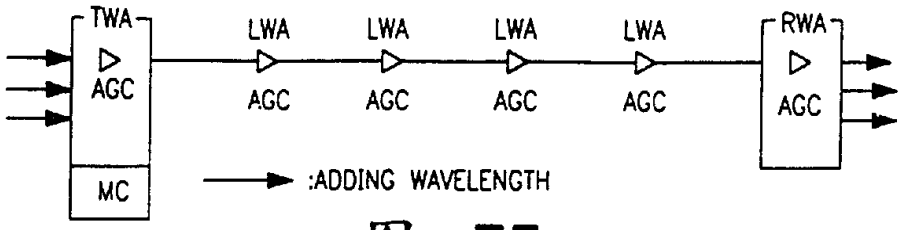


图 35

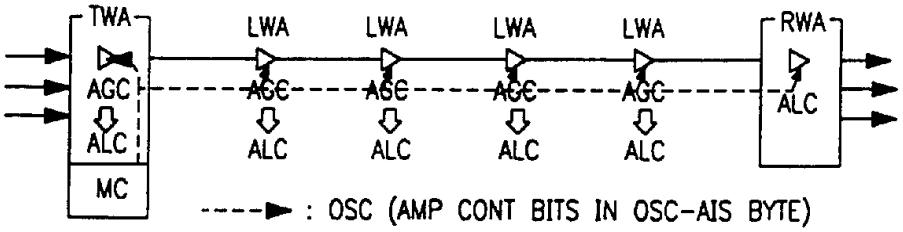


图 36

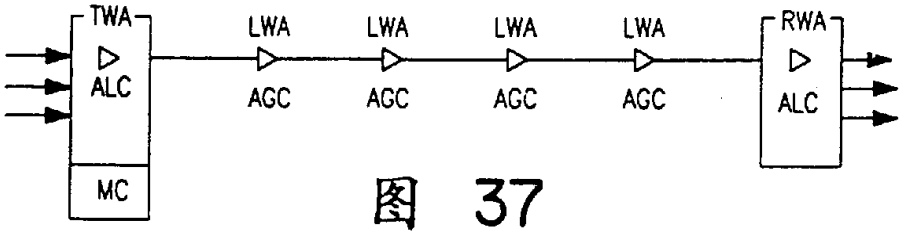


图 37

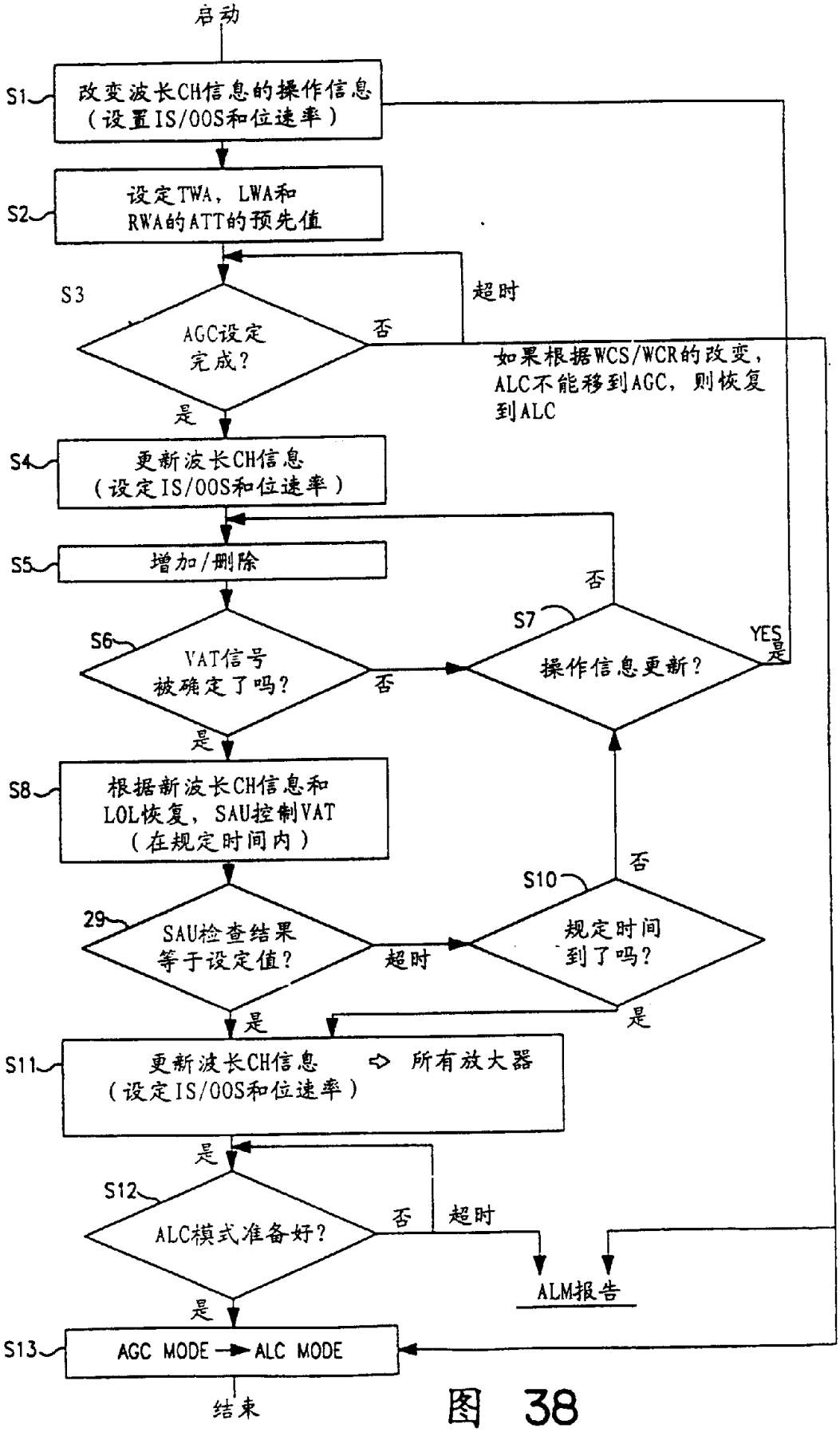

启动
S1
改变波长CH信息的操作信息
（设置IS/OOS和位速率）
S2
设定TWA，LWA和
RWA的ATT的预先值
S3
AGC设定
完成？
否
超时
如果根据WCS/WCR的改变，
ALC不能移到AGC，则恢复
到ALC
是
S4
更新波长CH信息
（设定IS/OOS和位速率）
S5
增加/删除
S6
VAT信号
被确定了吗？
否
是
S7
操作信息更新？
否
YES
是
S8
根据新波长CH信息和
LOL恢复，SAU控制VAT
（在规定时间内）
29
SAU检查结果
等于设定值？
超时
是
S10
规定时间
到了吗？
否
是
S11
更新波长CH信息 ⇨ 所有放大器
（设定IS/OOS和位速率）
是
S12
ALC模式准备好？
否
超时
ALM报告
是
S13
AGC MODE → ALC MODE
结束

图 38

WMUXA

	操作员	MCA	SAU
S2	执行从波长增加模式到减少模式的命令 (传输线上所有光放大器的控制)	报告控制信号TWA的OSC单元	
S3	增加/减少	从OSC单元转移到AGC模式的指令	
S4	给每一个CH改变设定位速率和IS/DOS以得到合适的设定，AO ADDINF	检验新设定，如果新设定，则要求复位	
		新设定的SAU和TWA单位	根据新设定对VAT控制从MC准备设定
S5	检验增加/减少操作的完成	显示增加/减少准备的完成 检验增加/减少准备的完成	

图 39A

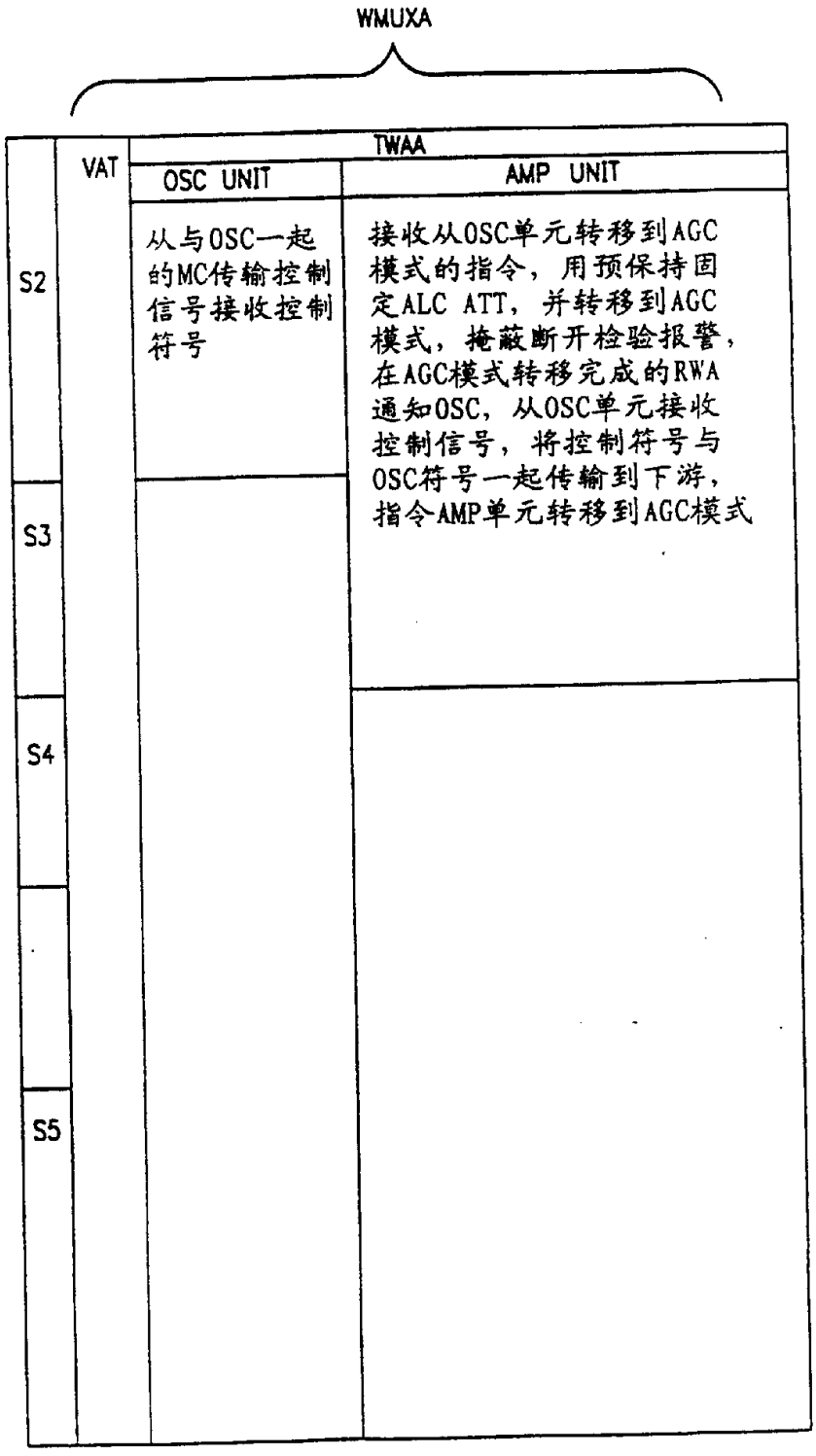

WMUXA
VAT
TWAA
OSC UNIT
AMP UNIT
S2
S3
S4
S5
从与OSC一起的MC传输控制信号接收控制符号
接收从OSC单元转移到AGC模式的指令，用预保持固定ALC ATT，并转移到AGC模式，掩蔽断开检验报警，在AGC模式转移完成的RWA通知OSC，从OSC单元接收控制信号，将控制符号与OSC符号一起传输到下游，指令AMP单元转移到AGC模式

图 39B

	LWA W1~W3	
	OSC UNIT	AMP UNIT
S2	从OSC单元接收控制信号，将与OSC符号一起的控制符号转移到下游，指令AMP单元转变到AGC模式	接收从OSC单元转移到AGC模式的指令，用预保持固定ALC ATT，并转移到AGC，掩蔽断开检验报警，在AGC模式转移完成的反向经OSC信号传输到上游RWA
S3		
S4		
S5		

图 39C

	RWAB	
	OSC UNIT	AMP UNIT
S2	从OSC信号接收控制信号，指令AMP单元转变到AGC模式	接收从OSC单元转移到AGC模式的指令，用预保持固定ALC ATT，并转移到AGC模式，掩蔽断开检验报警，通知AGC模式转移完成的TWA的OSC单元，将通知沿反向径OSC信号传输到上游RWA
S3		
S4		
S5		

图 39D

WMUXA

	操作员	MCA	SAU	VAT
S6		在比较设定与VAT输入关闭信息之间进行比较		报告输入关闭信息的MC(正常操作)
S7	再检验增加/减少操作设定再变化的命令/存在不存在	显示输入信号状态不匹配要求指令指示设定是否必须再变化		
S8		指令SAU根据设定进行控制	接收来自MC的指令，根据新设定进行VAT控制	根据SAU指令进行控制(正常操作)
S9		接收来自SAU的报告，如果设定与检查结果不匹配，处理得到的结果	检验VAT控制收敛，进行设定与检验结果之间的比较，报告其结果的MC	
S10				
S11		检查将TWA，IWA和RWA全部转移到ALC模式的准备的完成		
S12	检验增加/减少操作的完成	报告控制信号的TWA的OSC单元，检验TWA，IWA和RWA全部转移到ALC模式的完成，显示增加/减少操作的完成		

图 40A

WMUXA

	TWAA	
	OSC 单元	AMP 单元
S6		
S7		
S8		
S9		
S10	接收来自MC的新设定，将新设定与OSC信号一起传送到下游，通知新设定的AMP单元	接收来自OSC单元的新设定，改变断开检测阈值，根据新设定计算总功率设定值，并准备与新设定相应的ALC
S11		通知在ALC模式准备完成的RWA中的OSC单元
S12	接收来自MC的控制，将控制信号与OSC信号一起传送，指令AMP单元转移到ALC模式	接收从OSC单元转移到ALC模式的指令，根据新设定转移到ALC模式，计算断开检测报警的掩遮

图 40B

	LWA W1 W3	
	OSC 单元	AMP单元
S6		
S7		
S8		
S9		
S10	接收来自OSC信号的新设定，与OSC信号一起将新设定传送到下游，通知新设定的AMP单元	接收来自OSC单元的新设定，改变断开检验阈值，根据新设定计算功率设定值，并准备与新设定相应的ALC
S11		沿ALC模式准备完成的反向通知OSC单元，沿反向径OSC信号将该通知传送到RWA
S12	接收来自OSC信号的控制信号，与OSC信号一起将新设定传送到下游，指令AMP单元转移到ALC模式	接收从OSC单元转移到ALC模式的指令，根据新设定转移到ALC模式，计算断开检验报警掩蔽，沿完成转移到ALC模式的反向通知OSC单元，沿反向径OSC信号将该通知传送到上游RWA

图 40C

	RWAB	
	OSC单元	AMP单元
S6		
S7		
S8		
S9		
S10	从OSC信号接收新设定，通知新设定的AMP单元	从OSC单元接收新设定，改变断开检验阈值，根据新设定计算总功率设定值，准备与新设定相应的ALC
S11		通知ALC模式准备完成的TWA中的OSC单元，沿反向径OSC信号将该通知传送到上游RWA
S12	从OSC信号接收控制信号，指令AMP单元转移到ALC模式	接收从OSC单元转移到ALC模式的指令，根据新设定转移到ALC模式，计算断开检验报警的掩蔽，通知转移到ALC模式完成的TWA中的OSC单元，沿反向径OSC信号将该通知传送到上游RWA

图 40D