



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1972162 B

(45) 授权公告日 2010.12.15

(21) 申请号 200610148634.7

行,图 1,10.

(22) 申请日 2006.11.20

CN 1400750 A, 2003.03.05, 全文.

(30) 优先权数据

05292483.4 2005.11.21 EP

US 2004/0136053 A1, 2004.07.15, 说明书第
0087-0093 段, 0095-0107 段, 图 1,9.

(73) 专利权人 阿尔卡特公司

US 6690505 B1, 2004.02.10, 说明书第 4 栏
18-37 行, 第 6 栏 17-38 行.

地址 法国巴黎市

同上.

(72) 发明人 克里斯蒂安·西莫诺

审查员 宋超

加布里埃尔·沙莱

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 朱海波

(51) Int. Cl.

H04B 10/17(2006.01)

H04B 10/08(2006.01)

(56) 对比文件

US 6359727 B1, 2002.03.19, 说明书第 5 栏
55 行 - 第 6 栏 65 行, 第 14 栏 57 行 - 第 15 栏 9

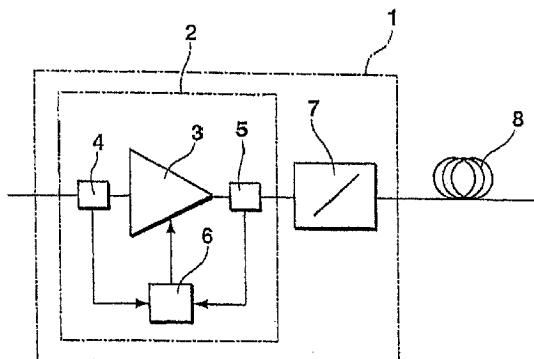
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 4 页

(54) 发明名称

具有跨距损耗倾斜补偿的光放大单元、光传
输系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种光放大单元,包括至少一个用于放大光信号的光放大器和该光放大器之前或之后的滤波器。该光放大器包括:第一测量设备,用于测量该光放大器的输入信号的性质;第二测量设备,用于测量该光放大器的输出信号的性质;以及控制电路,用于根据所述输入信号性质和所述输出信号性质来控制该光放大器的增益特性。该滤波器表现出光信号的依赖于波长的衰减。该光放大单元可连接到光纤跨距并且该滤波器适合于补偿由所述光纤跨距所引起的跨距损耗倾斜。本发明还公开了一种具有至少一个这种光放大单元的光传输系统以及相应的方法。



1. 一种光放大单元，包括至少一个用于放大光信号的光放大器，所述光放大器包括：
第一测量设备，用于测量所述光放大器的输入信号的性质；
放大级，包括掺饵光纤；
第二测量设备，用于测量所述光放大器的输出信号的性质；以及
控制电路，用于通过使用由所述第一测量设备测量的所述输入信号的性质和由所述第二测量设备测量的所述输出信号的性质以控制所述放大级产生预定的增益特性来控制所述光放大器的增益特性；
所述光放大单元还包括滤波器，其在所述光放大器之前或之后，其中：
所述放大级包括用于补偿所述掺饵光纤的非平坦增益的增益平坦滤波器；
所述光放大单元连接到光纤跨距；
所述滤波器表现出所述光信号的依赖于波长的衰减，所述衰减适合于补偿由连接到所述光放大单元的所述光纤跨距所引起的跨距损耗倾斜。
 2. 根据权利要求 1 所述的光放大单元，其中以恒定增益模式控制所述光放大器。
 3. 根据权利要求 1 所述的光放大单元，其中所述滤波器具有依赖于固定波长的衰减。
 4. 根据权利要求 1 所述的光放大单元，其中所述滤波器是光纤布拉格光栅。
 5. 根据权利要求 1 所述的光放大单元，其中每个所述第一测量设备和所述第二测量设备都包括光电二极管。
 6. 根据权利要求 1 所述的光放大单元，其中所述光放大单元包括至少两个所述光放大器，并且所述滤波器位于第一个所述光放大器之前或最后一个所述光放大器之后。
 7. 根据权利要求 1 所述的光放大单元，其中所述光放大单元包括至少两个所述光放大器，所述滤波器位于任意两个所述光放大器之间，并且独立地控制每个所述光放大器。
 8. 根据权利要求 1 所述的光放大单元，其中所述光放大单元还包括产生附加倾斜的光设备，并且所述滤波器适合于补偿所述跨距损耗倾斜和所述附加倾斜。
 9. 根据权利要求 8 所述的光放大单元，其中所述光设备是色散补偿模块。
 10. 一种用于传输光信号的 WDM 系统，包括具有多个连续的光纤跨距的光纤线路，其中至少两个光纤跨距通过根据权利要求 1 所述的光放大单元互连。
 11. 一种用于通过根据权利要求 10 所述的 WDM 系统的光纤线路传输光信号的方法，包括步骤：
调整每个所述光放大单元各自的滤波器以补偿所述光纤跨距的平均跨距损耗倾斜。

具有跨距损耗倾斜补偿的光放大单元、光传输系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本发明基于欧洲优先申请 EP 05 292 483.4, 在此通过引用的方式包含其内容。

技术领域

[0003] 本发明涉及一种光放大单元，包括至少一个用于放大光信号的光放大器，该光放大器包括：第一测量设备，用于测量该光放大器的输入信号的性质；第二测量设备，用于测量该光放大器的输出信号的性质；以及控制电路，用于根据该输入信号性质和输出信号性质来控制该光放大器的增益特性；该光放大单元还包括滤波器。

背景技术

[0004] 光放大单元被用于例如光纤传输系统中。这种系统通常包括光纤线路，该光纤线路具有通过多个此类光放大单元互连的多个光纤跨距 (span)。

[0005] 在这种光传输系统中，波分复用 (WDM)，特别是密集波分复用 (DWDM)，允许在普通的光纤线路上同时传输多个信道。掺铒光纤放大器 (EDFA) 提供了用于在这种系统中进行光放大的成本有效的手段，这是因为 EDFA 同时放大所有的波长，使得复合光信号能够传播很大的距离而无需再生。

[0006] 然而，传输功率受光纤衰减的影响，光纤衰减一部分是由于瑞利散射。光纤衰减使得功率从较低波长信道转移到较高波长信道。因此，较低波长信道在光纤跨距中受到比较高波长信道更高的跨距损耗，从而导致光纤跨距中每信道损耗的跨距损耗倾斜，参见图 6 所示的跨距损耗在从 1530 纳米到 1565 纳米的波长范围内随波长信道的变化。

[0007] 波长信道的数目可能会由于例如光纤断点而变化，此时只剩下少量信道。在光纤系统中，特别是在具有多个可重新配置的光插 / 分复用 (ROADM) 的超长距离 (ULH) 光系统中，信道的数目同样可以变化。在 ROADM 系统中，复用的频率信道的数目可以在 1 与 80 之间变化。

[0008] 如果光放大单元以恒定增益模式工作，则通常确定光放大单元的操作点以在全部或大部分信道存在时以全负载配置补偿平均跨距损耗。然后，通常通过使用光放大器中所包括的滤波器使光放大器的增益倾斜来考虑跨距损耗倾斜，该滤波器例如对波长表现出恒定损耗的可变光衰减器 (VOA)。VOA 通常用在 EDFA 的级间，以调节 EDFA 倾斜。通过改变 VOA 的衰减，EDFA 的总增益改变了（如果输入功率和输出功率保持恒定，则输出功率主要依赖于 EDFA 中设置的泵功率），并且产生了倾斜（掺铒光纤的反向参数改变了并且其修改了增益形状）。

[0009] 在图 6 的例子中，以全负载配置补偿平均跨距损耗的光放大单元的操作点是 19.9dB。这一操作点甚至在负载配置改变以及光纤系统所承载的信道数目改变时也通常保持恒定。例如，如果只有少量信道出现在例如 1530 纳米附近，则由于跨距损耗倾斜，这些信道受到的跨距损耗将为 20.2dB(参见图 6)。由于本例中光放大单元的操作点为 19.9dB，该光放大单元将仍旧被控制为具有 19.9dB 的增益。因此，在该示例性的情况下，增益误差将

为每光纤跨距 0.3dB。在 20 个光放大单元以及随后的光纤跨距之后, 累计误差将为 6dB, 这是无法接受的。由于剩下的信道位于相同的波长处, 因此使用例如 VOA 来使光放大器的增益倾斜并没有获得期望的补偿效果。

[0010] 在 US 6437906 B1 中, 描述了一种用于波分复用 (WDM) 系统的光放大器, 其包括用于反转 WDM 信号的倾斜的滤波器。该滤波器是。所安装的所有 EDFA 包含增益平坦滤波器 (GFF) 作为光放大器的控制环路的一部分, 以最小化与由掺铒光纤的自然增益形状产生的波长相对应的增益偏移 (gain excursion)。

发明内容

[0011] 本发明的目的是提供上述类型的提供对光信号的放大的光纤光放大单元, 其补偿在很大程度上独立于信道负载情况的光信号的跨距损耗和跨距损耗倾斜。

[0012] 这一目的是通过光放大单元来实现的, 其中滤波器在光放大器之前或之后并且表现出光信号的依赖于波长的衰减, 该衰减适合于补偿由可连接到光放大单元的光纤跨距所引起的跨距损耗倾斜。

[0013] 根据本发明, 滤波器位于光放大器的外部, 例如, 位于由第一测量设备和第二测量设备 (优选地包括光电二极管) 以及控制电路构成的控制环路的外部, 以便不考虑它对调节放大器增益的作用。并且, 滤波器只是补偿由光纤跨距所产生的倾斜 (而不补偿由放大器产生的倾斜和增益偏移)。因此, 有效的跨距损耗倾斜接近于 0dB, 并且不依赖于信道负载情况。优选地, 具有依赖于固定波长的衰减的滤波器被用于补偿跨距损耗倾斜。滤波器特性必须适合于预期的跨距损耗倾斜, 该跨距损耗倾斜是预先知道的或能够针对根据不同类型的光纤来测量的。

[0014] 在高度优选的实施例中, 以恒定增益模式驱动光放大器。当放大器的输入功率例如由于光纤损耗增加而减小时, 控制电路能够被用于调节优选地为 EDFA 的光放大器的泵功率, 这样就减小了输出泵功率并且获得了光放大器的恒定总增益。

[0015] 在进一步的实施例中, 滤波器是光纤布拉格光栅, 其优选地位于光放大器之前。通过使用这种滤波器类型, 可以最小化滤波器对噪声因数的影响, 该噪声因数是由放大器输入端的滤波器的插入损耗引起的。还可以将滤波器放置于光放大器之后的位置处。在这种情况下, 滤波器将略微减小光放大单元的输出功率, 这可以通过将光放大器的操作点改变为具有更高的增益从而增加输出功率来补偿。

[0016] 光放大单元的优选实施例包括两个或更多的光放大器。在这一实施例中, 滤波器可以位于第一个光放大器之前或最后一个光放大器之后。以这样的方式放置, 滤波器并没有被光放大器的控制电路考虑进去, 这是因为滤波器位于它们各自的控制环路的外部。作为备选, 滤波器可以位于两个光放大器之间。在这一实施例中, 必须优选地以恒定增益模式相互独立地控制两个光放大器, 两个光放大器中的每一个光放大器的控制电路只考虑由它自己的第一测量设备和第二测量设备测量的信号性质以便调节增益。

[0017] 在本发明的进一步优选的实施例中, 光放大单元还包括产生附加倾斜的光设备, 并且滤波器适合于补偿跨距损耗倾斜和附加倾斜。在这种情况下, 例如色散补偿模块之类的光设备的跨距损耗倾斜和附加倾斜能够同时被补偿。

[0018] 本发明还可以在用于传输光信号的光纤系统特别是 WDM 系统中实现, 该系统包括

具有多个连续的光纤跨距的光纤线路，其中至少两个光纤跨距通过根据本发明的光放大单元互连。在这种光传输系统中，产生附加跨距损耗倾斜的一系列光纤跨距和 / 或光设备的有效跨距损耗倾斜能够被补偿。由于不同的光纤跨距可以引起不同的跨距损耗倾斜，滤波器被优选地调节为补偿光纤线路中包括的光纤跨距的平均跨距损耗倾斜。同样，在这种情况下，可以获得接近 0dB 的有效跨距损耗倾斜。还可以在同一光纤线路中使用不止一个根据本发明的光放大单元，每一个光放大单元适合于仅补偿前一个或后一个光纤跨距的跨距损耗倾斜。

[0019] 在包括一个或多个根据本发明的光放大单元的光纤传输系统中，当以恒定增益模式驱动放大单元并且分出多个信道时引起的增益误差会大大减小，从而使得光信号能够以更低的成本传输更长的距离，同时为各种负载情况分配的余量能够减小，并且整个系统性能得到了改进。

[0020] 还可以将本发明实现为一种用于特别是在如上描述的光放大单元中放大光信号的方法，包括如下步骤：(a1) 测量光放大器的输入信号的性质；(a2) 测量所述光放大器的输出信号的性质；(a3) 根据所述输入信号性质和所述输出信号性质来控制所述光放大器的增益特性；(b) 对所述光信号进行滤波以便补偿跨产生所述光信号的依赖于波长的衰减的跨距损耗倾斜；其中步骤 (a3) 和步骤 (b) 相互独立地执行，因此即使信道被插 / 分也可以补偿跨距损耗倾斜。

附图说明

[0021] 从说明书和附图中可以提炼出更多的优点。可以根据本发明单独地或以任意组合形式共同地使用上述和下述特征。所提及的实施例不应理解为穷举而应理解为具有用于描述本发明的示例性特征。

[0022] 图 1 示出了根据本发明的光放大单元的第一实施例和之后的光纤跨距；

[0023] 图 2 示出了根据本发明的光放大单元的第二实施例，包括在滤波器之后的两个光放大器；

[0024] 图 3 示出了根据本发明的光放大单元的第三实施例，包括在滤波器之前的两个光放大器；

[0025] 图 4 示出了包括两个光放大器和中间级光设备的光放大单元；

[0026] 图 5 示出了根据本发明的光传输系统的实施例；

[0027] 图 6 示出了描述跨距损耗随光波长变化的示图；并且

[0028] 图 7 示出了描述光传输系统的信道功率随光纤线路的放大器数目的变化在部分负载配置和全负载配置之间的差异的示图。

[0029] 以下对本发明的详细描述参考了附图。在附图的不同图形中使用相同的参考标号来标识相同或相似的单元。

具体实施方式

[0030] 图 1 示出了具有光放大器 2 的光放大单元 1，在本例中为 EDFA，包括具有用于补偿掺铒光纤的非平坦增益的增益平坦滤波器 GFF (未示出) 的放大级 3，输入测量设备 4，输出测量设备 5，以及控制电路 6。光放大单元 1 还包括滤波器 7 并且可连接到光纤跨距 8。如

图 1 所示的光放大单元被用于以下在图 5 中描述的光纤传输系统中。

[0031] 输入测量设备 4 和输出测量设备 5 优选地是光电二极管，其分别测量光放大器 2 的输入功率或与光放大器 2 的输入功率相关的性质，以及光放大器 2 的输出功率或与光放大器 2 的输出功率相关的性质。通过使用由输入测量设备 4 测量的性质和由输出测量设备 5 测量的性质来控制放大级 3 使其产生预定的增益特性，控制电路 6 可以控制光放大器 2 的增益特性。在本例中，以恒定增益模式控制光放大器 2，即用恒定增益 特性在给定波长频带（例如 C- 频带）上补偿光放大单元 1 之后的光纤跨距 8 和 / 或光放大单元 1 之前的光纤跨距（未示出）中的平均跨距损耗。控制电路 6 控制光放大器 2 使其在与恒定增益值对应的该预定操作点上工作。

[0032] 滤波器 7 表现出光信号的依赖于固定波长的衰减，其用于补偿由光纤跨距 8 产生的跨距损耗倾斜（参见图 6）。滤波器 7 对每个波长信道表现出光放大器 2 的输出信号的衰减，其适合于补偿该特定波长信道受到的跨距损耗。这样，可以在波长信道上获得接近于 0dB 的跨距损耗倾斜。此外，信道上的损耗不再依赖于波长。

[0033] 图 5 中表示出了图 1 示出的光放大单元 1 在光纤传输系统中的使用。该传输系统包括光纤线路 11，该光纤线路具有多个光纤跨距 17a 到 17c，这些光纤跨距由地沿着光纤线路 11 连续分布的多个光放大单元互连，图中示出了其中的三个光放大单元 (1a 到 1c)，每一个光放大单元都是图 1 中表示的类型。光纤线路 11 被布置在光发射机 12 和光接收机 13 之间。在光纤线路 11 的发射机端布置复用器 14，其对进入复用器的不同波长的光信号执行波分复用 (WDM)，形成波长复用的信号，通过光纤线路 11 传输该信号，并且在光纤线路 11 接收机端的解复用器 15 中对该信号进行解复用。

[0034] 以恒定增益模式驱动图 5 的三个放大单元 1a 到 1c，并且每个放大单元包括滤波器，用于校正光纤跨距 17a 到 17c 中产生的跨距损耗倾斜。为所有的光放大单元 1a 到 1c 选择具有相同的依赖于波长的衰减的滤波器，将其倾斜选择为通过考虑三个光纤跨距 17a 到 17c 的跨距损耗倾斜而计算出来的平均倾斜。作为备选，还可以只为光放大单元 1a 到 1c 中的一个或几个光放大单元配备用于补偿平均倾斜的滤波器。然而，在这种情况下，必须注意使这些滤波器不产生过多的损耗从而对 OSNR 产生强烈的影响。

[0035] 图 2 示出了经修改的光放大单元 1'，包括属于图 1 中描述的类型的两个光放大器 2.1 和 2.2。在这种情况下，滤波器 7 位于第一个光放大器 2.1 之前，因此会对光放大单元 2.1 的噪声值产生影响。对噪声的影响的 大小依赖于滤波器 7 的插入损耗。可以通过使用采用光纤布拉格光栅技术的滤波器 7 来使对噪声的影响非常小。

[0036] 图 3 示出了另一个经修改的光放大单元 1"，包括属于图 1 中描述的类型的两个光放大器 2.3 和 2.4。在这一实施例中，滤波器 7 位于第二个光放大器 2.4 也即光放大单元 1" 的最后一个光放大器之后。将滤波器 7 放置在第二个光放大器 2.4 之后的位置处将减小光放大单元 1" 的输出功率。这种减小可以通过调节增益以在光放大器 2.4 中提供少量额外的泵功率来得到补偿。

[0037] 图 4 示出了又一个经修改的光放大单元 1'"，包括属于图 1 中描述的类型的两个光放大器 2.5 和 2.6。在这种情况下，滤波器 7 位于两个光放大器 2.5 和 2.6 之间。必须独立地控制两个光放大器 2.5 和 2.6，其中每个光放大器只使用由它自己的光电二极管 4、5 测量的值优选地以恒定增益模式控制它的增益。在放大单元 1'" 中，存在光设备 9，该光设

备 9 结合产生附加倾斜的光补偿光纤 10 而形成色散补偿模块 (DCM)。光设备 9 在滤波器 7 之后,在这种情况下,滤波器 7 被用于同时校正光纤 8 的跨距损耗倾斜和由补偿光纤 10 产生的倾斜。滤波器 7 还可以适合于补偿由放大单元 1 “” 中其它光设备产生的倾斜。

[0038] 为了更好地理解使用图 1 到图 4 中描述的放大单元的有利效果,图 7 示出了表示增益误差的示图,增益误差被定义为根据沿着光纤线路的放大单元 (EDFA) 的数目,当所有信道 (十六个信道等间距地分布于 C 频带中) 都存在于光传输线路的输入处时以及当只有一个信道 (在选定的波长处) 存在时信道功率的差异。增益误差是针对大约 1530 纳米、1546 纳米和 1561 纳米的三个信道而测量。所示的情形表示在全负载配置下当总信道功率相差 12dB 并且光放大单元的输出功率是 17dBm 时的情况。

[0039] 图 7 的示图中的实线表示当不存在补偿光纤跨距的跨距损耗倾斜的滤波器时的情况。在实线示出的情况下,光放大器 (EDFA) 的增益被例如 VOA 倾斜了 2dB, 以补偿光纤跨距的跨距损耗倾斜。在这种情况下,增益误差是由于光纤跨距损耗倾斜、EDFA 增益偏移、ASE (放大的自发辐射)、光谱烧孔 (SHB) 以及 EDFA 在恒定增益模式下的不准确性的联合作用而引起的。

[0040] 图 7 的示图中的虚线表示使用滤波器来补偿 DCM 倾斜损耗和 / 或光纤跨距的跨距损耗倾斜情况。在虚线示出的情况下,光放大器 (EDFA) 的增益没有倾斜,因此放大器的倾斜是 0.0dB。在这种情况下,增益误差是由于 EDFA 增益偏移、ASE、SHB 以及 EDFA 在恒定增益模式下的不准确性的联合作用而引起的。

[0041] 从图 7 可以看到,通过使用至少一个图 1 所示的包括滤波器 7 的光放大单元,二十个光放大单元之后的增益误差在 1530 纳米波长区域大大减小。在这一区域中,增益误差减小了约 3dB, 从 5dB 到 2dB。在 1560 纳米波长区域中,增益误差减小了 2dB。

[0042] 如果将负载情况改变时光传输系统中的最大分配功率波动限制为 3dB, 则可以从图 7 中看到,包括 EDFA 的光放大单元的数目会从五增加到二十,从而可以传输比通常使用的传输系统更大的距离。并且,为各种负载情况分配的余量能够减小,并且整个系统性能能够得到改进。

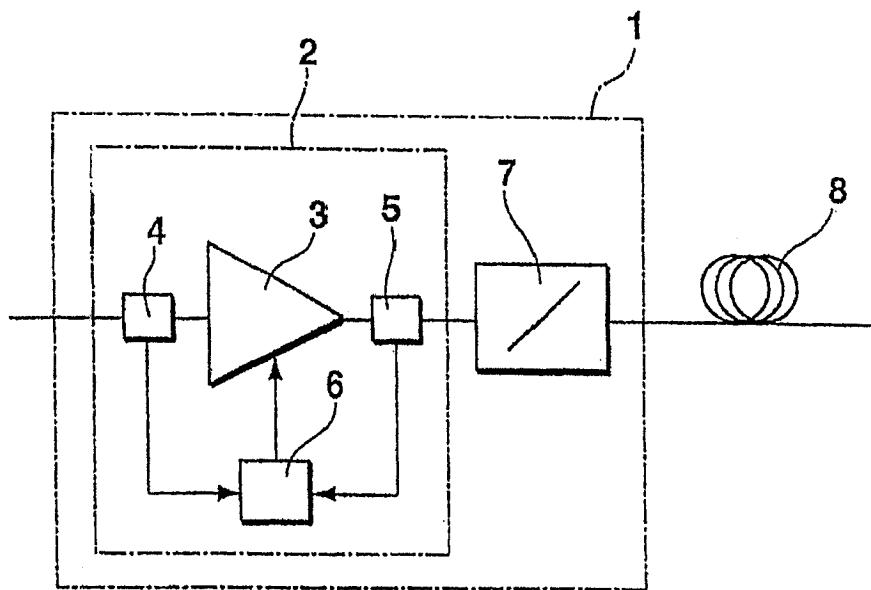


图 1

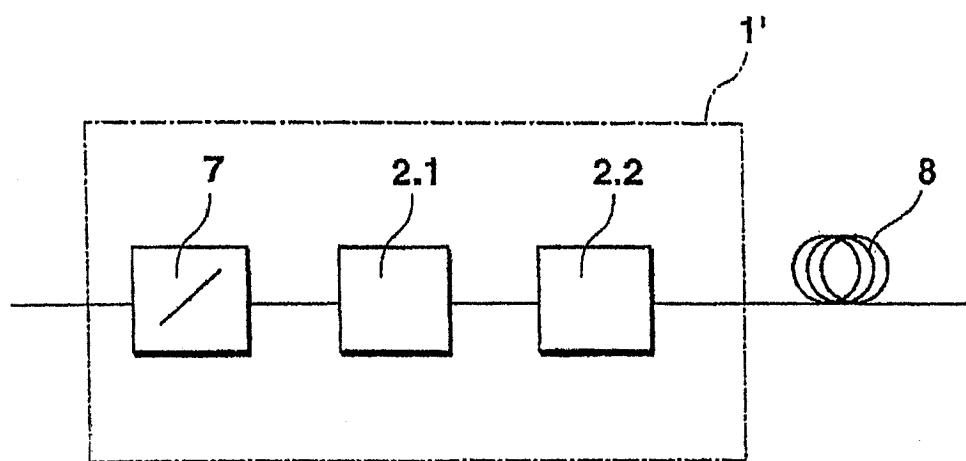


图 2

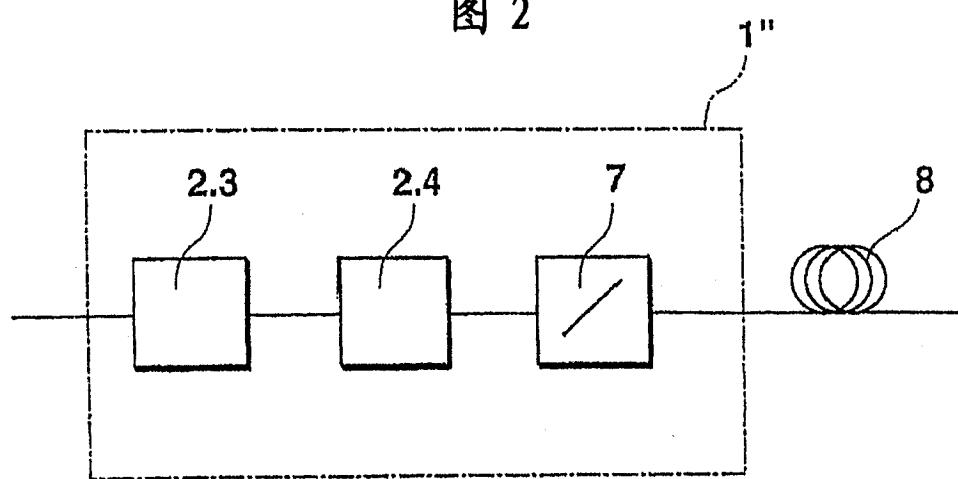


图 3

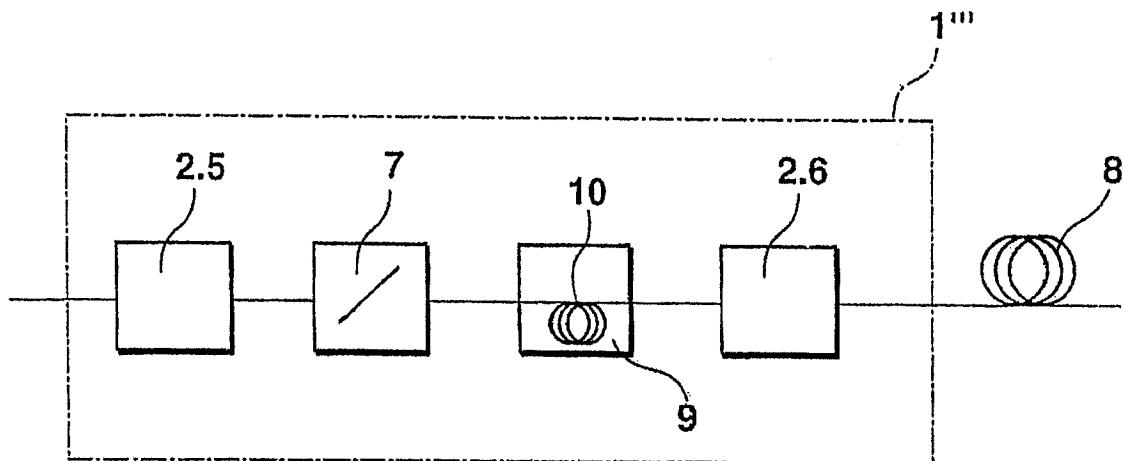


图 4

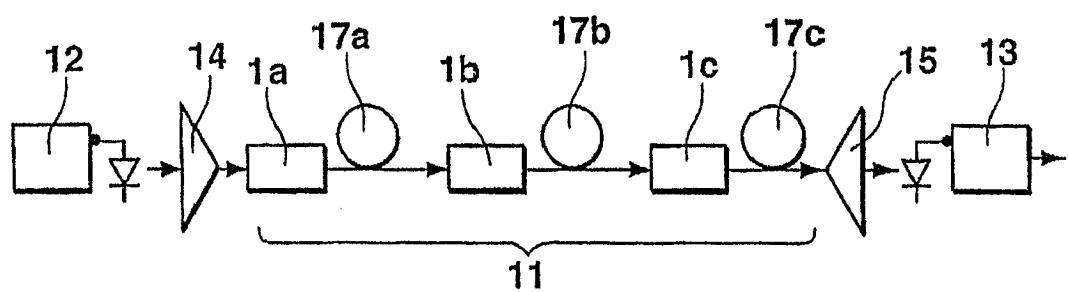


图 5

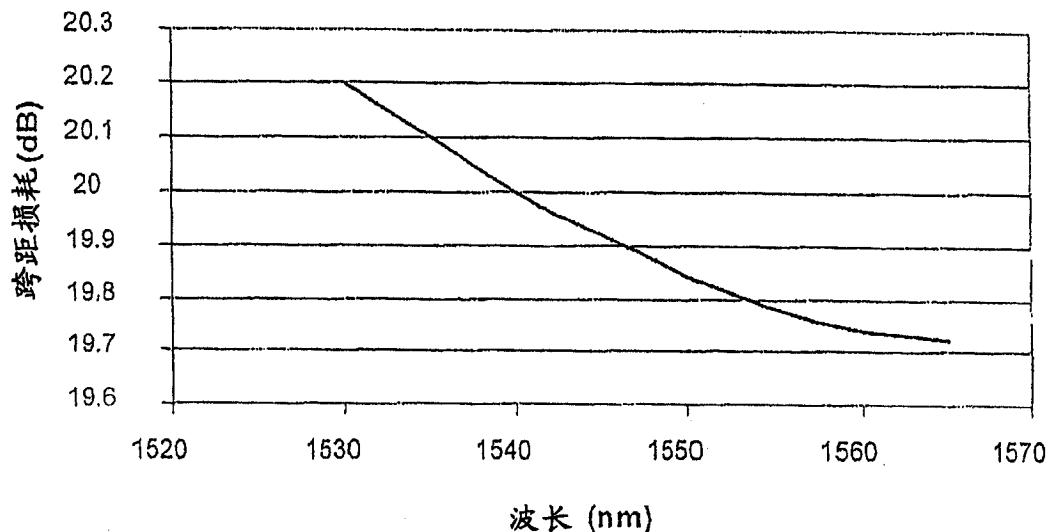


图 6

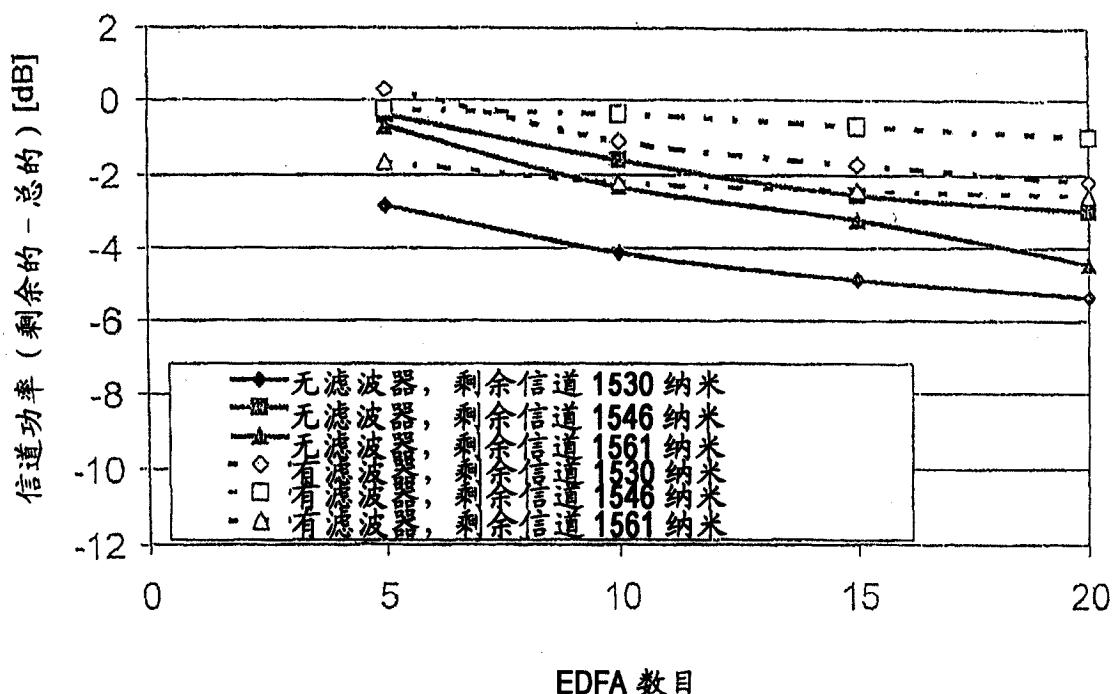


图 7