



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112292819 A

(43) 申请公布日 2021. 01. 29

(21) 申请号 201980034676.3

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理有限公司 11204

(22) 申请日 2019.02.05

代理人 王达佐 王艳春

(30) 优先权数据

18163097.1 2018.03.21 EP

(51) Int.Cl.

H04B 10/40 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.11.23

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/052796 2019.02.05

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/179688 EN 2019.09.26

(71) 申请人 骁龙网络有限公司

地址 卢森堡大公国卢森堡市

(72) 发明人 斯特凡诺·卡拉布罗 卢兹·拉普

伯恩哈德·施平纳勒

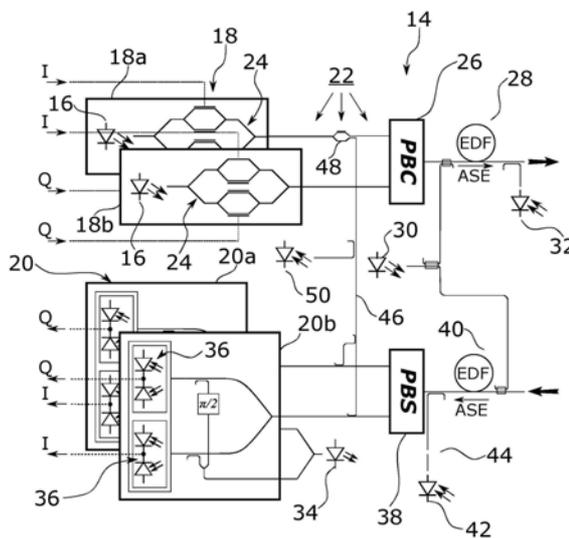
权利要求书4页 说明书12页 附图5页

(54) 发明名称

对应答器噪声性能的自动测量

(57) 摘要

本文中公开了一种应答器(14),其包括用于生成和发射光学信号的发射器(18)以及接收器(20),其中所述接收器(20)包括在接收器的输入处的接收器输入放大器(40)。应答器还包括:旁通线路(46),其被配置为将来自所述发射器(18)的光学信号选择性地馈送到接收器(20);以及控制单元(22),其被配置为通过控制应答器进行以下操作来确定应答器(14)相对于OSNR相关参数的性能:通过操作接收器输入放大器(40)来生成将由接收器(20)接收到的噪声信号,由此在接收器输入放大器(40)中引起ASE,并且确定噪声强度值;在发射器(18)处生成测试信号并确定信号强度值;以及将所述噪声信号和所述测试信号或者它们的复制品叠加以形成将由所述接收器(20)接收到的组合信号,并且基于所述组合信号来确定性能相关参数,其中为了生成所述组合信号,借助于所述旁通线路(46)将所述测试信号从发射器(18)馈送到接收器。



1. 一种应答器 (14), 包括:
  - 发射器 (18), 所述发射器用于生成和发射光学信号,
  - 接收器 (20), 所述接收器用于接收光学信号, 其中所述接收器 (20) 包括:
    - 接收器-光电检测器组件 (36), 用于将接收到的光学信号转换成电信号, 以及
    - 在所述接收器的输入处的接收器输入放大器 (40), 所述接收器输入放大器适合于放大将由所述接收器 (20) 接收的传入光学信号, 其中所述接收器输入放大器 (40) 包括光学增益介质, 以及
    - 旁通线路 (46), 配置为将来自所述发射器 (18) 的光学信号选择性地馈送到所述接收器 (20), 以及
    - 控制单元 (22), 配置为通过控制所述应答器进行以下操作来确定所述应答器 (14) 相对于OSNR相关参数的性能
      - 通过操作所述接收器输入放大器 (40) 来生成将由所述接收器 (20) 接收到的噪声信号, 由此在所述接收器输入放大器 (40) 中引起ASE, 并且确定表示所述噪声信号的强度的噪声强度值,
      - 在所述发射器 (18) 处生成测试信号并确定表示所述测试信号的强度的信号强度值, 其中所述信号强度值与所述噪声强度值之比为所述OSNR相关参数, 以及
      - 将所述噪声信号和所述测试信号或者它们的复制品叠加以形成将由所述接收器 (20) 接收到的组合信号, 并且基于所述组合信号来确定性能相关参数, 其中, 为了生成所述组合信号, 借助于所述旁通线路 (46) 将所述测试信号从所述发射器 (18) 馈送到所述接收器。
2. 如权利要求1所述的应答器 (14), 其中, 所述接收器 (20) 是相干接收器, 所述相干接收器包括本地振荡器光源 (34), 其中待被接收的光学信号与所述本地振荡器光源 (34) 的光在所述接收器-光电检测器组件 (36) 上组合。
3. 如权利要求1或2所述的应答器 (14), 其中, 所述接收器-光电检测器组件 (36) 是光电二极管或一对平衡光电二极管。
4. 如前述权利要求中一项所述的应答器 (14), 其中, 使用所述接收器-光电检测器组件 (36) 来确定所述信号强度值和噪声强度值中的一者或两者。
5. 如权利要求1至3中一项所述的应答器 (14), 其中, 所述应答器 (14) 被配置为借助于布置在所述接收器输入放大器 (40) 与所述接收器-光电检测器组件 (36) 之间的光敏元件 (42) 来确定所述噪声强度值。
6. 如权利要求1至3或5中一项所述的应答器 (14), 其中, 所述应答器 (14) 被配置为借助于布置在所述发射器 (18) 与所述接收器-光电检测器组件 (36) 之间并且特别是布置在所述旁通线路 (46) 内的光敏元件 (50) 来确定所述信号强度值。
7. 如前述权利要求中一项所述的应答器 (14), 其中, 所述应答器 (14) 包括用于在确定所述噪声强度值之前对所述噪声信号进行滤波的带通滤波器 (44), 特别是准许将通带的频率调整到所述测试信号的频率的可调谐带通滤波器。
8. 如权利要求7所述的应答器 (14), 其中, 所述带通滤波器 (44) 是具有固定通带的静态滤波器, 并且其中所述控制单元 (22) 被配置为基于关于在给定的操作状态下在所述接收器放大器 (40) 中生成的所述ASE的功率如何随频率变化的信息来计算在所述通带之外的测试信号频率下的所述噪声强度值。

9. 如权利要求8所述的应答器(14),其中所述控制单元(20)被配置为从查找表或使用预先存储的函数根据计算来获取所述信息。

10. 如权利要求2和8所述的应答器(14),其中,所述控制单元(22)被配置为通过控制所述应答器(14)使用所述接收器-光电检测器组件(36)在所述本地振荡器(34)调谐到所述通带频率的情况下测量所述噪声信号的第一强度并且在所述本地振荡器(34)调谐到所述测试信号的频率的情况下测量所述噪声信号的第二强度来获得所述信息。

11. 如前述权利要求中一项所述的应答器(14),其中所述应答器(14)是能够插入到在网络元件中使用的卡(10)中的可插拔模块的一部分。

12. 如前述权利要求中一项所述的应答器(14),其中所述性能参数是误码率BER和误差矢量幅度EVM中的一个。

13. 如前述权利要求中一项所述的应答器(14),其中所述控制单元(22)还被配置为针对多个不同的噪声信号强度来实施确定所述应答器的相对于所述OSNR相关参数的性能,并且基于所确定的结果来确定以下一者或两者

-最小OSNR值,在所述最小OSNR值下,所述性能参数达到预定性能阈值,以及

-OSNR裕量,所述OSNR裕量表示与给定的OSNR和给定的性能参数相比可容忍的OSNR降低,直到达到预定性能阈值为止。

14. 如权利要求13所述的应答器(14),其中所述控制单元(22)被配置为基于所述应答器(14)相对于所述OSNR相关参数的性能的确定的结果和关于与所述应答器(14)连接的链路的信息来确定所述最小OSNR值或所述OSNR裕量,由此至少大致考虑到除了ASE外在所述链路上传输时的信号退化来源。

15. 如权利要求13或14所述的应答器(14),其中通过改变所述接收器输入放大器(40)的泵浦功率来改变所述噪声信号强度。

16. 如前述权利要求中一项所述的应答器(14),其中所述应答器(14)包括光学开关(48)或与可变光学衰减器组合的分离器,以将来自所述发射器(18)的光学信号选择性地馈送到所述旁通线路(46)。

17. 如前述权利要求中一项所述的应答器(14),其中所述应答器(14)是被配置为发射和接收偏振复用QPSK或QAM信号的双偏振应答器,其中所述发射器(18)包括两个IQ调制器(24),每一个连接到偏振合束器(26),并且其中所述接收器(20)包括两个IQ接收器单元(20a,20b),每一个连接到偏振分束器(38)。

18. 如权利要求17所述的应答器(14),其中所述旁通线路(46)只与所述IQ调制器(24)中的一个的输出连接,并且连接到所述两个IQ接收器单元(20a,20b)中的两者。

19. 如前述权利要求中一项所述的应答器(14),其中所述控制单元(22)被配置为在实地首次安装所述应答器(14)后或者在从网络管理系统接收到触发信号后自动地实施确定所述应答器的相对于OSNR相关参数的性能。

20. 一种测量应答器(14)的性能的方法,所述应答器包括:

发射器(18),所述发射器用于生成和发射光学信号,

接收器(20),所述接收器用于接收光学信号,其中所述接收器(20)包括:

-接收器-光电检测器组件(36),用于将接收到的光学信号转换成电信号,以及

-在所述接收器的输入处的接收器输入放大器(40),所述接收器输入放大器适合于放

大将由所述接收器(20)接收到的传入光学信号,其中所述接收器输入放大器(40)包括光学增益介质,以及

旁通线路(46),配置为将来自所述发射器(18)的光学信号选择性地馈送到所述接收器(20),

所述方法包括以下步骤:

-通过操作所述接收器输入放大器(40)来生成将由所述接收器(20)接收的噪声信号,由此在所述接收器输入放大器(40)中引起ASE,并且确定表示所述噪声信号的强度的噪声强度值,

-在所述发射器(18)处生成测试信号并确定表示所述测试信号的强度的信号强度值,其中所述信号强度值与所述噪声强度值之比为所述OSNR相关参数,以及

-将所述噪声信号和所述测试信号或者它们的复制品叠加以形成将由所述接收器(20)接收的组合信号,并且基于所述组合信号来确定性能相关参数,其中为了生成所述组合信号,借助于所述旁通线路(46)将所述测试信号从所述发射器(18)馈送到所述接收器(20)。

21.如权利要求20所述的方法,其中所述接收器(20)是相干接收器,所述相干接收器包括本地振荡器光源(34),其中待被接收的光学信号与来自所述本地振荡器(34)的光在所述接收器-光电检测器组件(36)上组合。

22.如权利要求20或21所述的方法,其中所述接收器-光电检测器组件(36)是光电二极管或一对平衡光电二极管。

23.如权利要求20至22中一项所述的方法,其中使用所述接收器-光电检测器组件(36)来确定所述信号强度值和噪声强度值中的一者或两者。

24.如权利要求20至23中一项所述的方法,其中借助于布置在所述接收器输入放大器(40)与所述接收器-光电检测器组件(36)之间的光敏元件(42)来确定所述噪声强度值。

25.如权利要求20至24中一项所述的方法,其中借助于布置在所述发射器(18)与所述接收器-光电检测器组件(36)之间并且特别是布置在所述旁通线路(46)内的光敏元件(50)来确定所述信号强度值。

26.如权利要求20至25中一项所述的方法,其中在确定所述噪声强度值之前使用带通滤波器(44)对所述噪声信号进行滤波,

其中所述带通滤波器优选地是可调谐带通滤波器,并且所述方法包括将通带的频率调整到所述测试信号的频率的步骤,或者

其中所述带通滤波器(44)是具有固定通带的静态滤波器,并且其中所述方法包括以下步骤:基于关于在给定的操作状态下在所述接收器输入放大器(40)中生成的所述ASE的功率如何随频率变化的信息来计算在所述通带之外的测试信号频率下的所述噪声强度值。

27.如权利要求26所述的方法,其中从查找表或使用预先存储的函数根据计算来获取所述信息。

28.如权利要求26所述的方法,其中通过使用所述接收器-光电检测器组件(36)在所述本地振荡器(34)调谐到所述通带频率的情况下测量所述噪声信号的第一强度并且在所述本地振荡器(34)调谐到所述测试信号的频率的情况下测量所述噪声信号的第二强度来获得所述信息。

29.如权利要求20至28中一项所述的方法,其中所述应答器(14)是能够插入到在网络

元件中使用的卡(10)中的可插拔模块的一部分。

30. 如权利要求20至29中一项所述的方法,其中性能参数是误码率BER和误差矢量幅度EVM中的一个。

31. 如权利要求20至30中一项所述的方法,其中针对多个不同的噪声信号强度来确定所述应答器的相对于所述OSNR相关参数的性能,并且基于所确定的结果来确定以下一者或两者:

- 最小OSNR值,在所述最小OSNR值下,所述性能参数达到预定性能阈值,以及
- OSNR裕量,所述OSNR裕量表示与给定的OSNR和给定的性能参数相比可容忍的OSNR降低,直到达到预定性能阈值为止。

32. 如权利要求31所述的方法,其中基于所述应答器(14)的相对于所述OSNR相关参数的性能的确切结果和关于与所述应答器(14)连接的光学链路的信息来实施确定所述最小OSNR值或所述OSNR裕量的所述步骤,由此至少大致考虑到除了ASE外在所述光学链路上传输时的信号退化来源。

33. 如权利要求31或32所述的方法,其中通过改变所述接收器输入放大器的操作状态并且特别是其泵浦功率来改变所述噪声信号强度。

34. 如权利要求20至33中一项所述的方法,其中在实地首次安装所述应答器(14)后或者在从网络管理系统接收到触发信号后,自动地实施确定所述应答器(14)的相对于OSNR相关参数的性能。

## 对应答器噪声性能的自动测量

### 技术领域

[0001] 本发明属于光学数据传输领域。具体地,本发明涉及一种准许确定噪声性能的应答器,以及一种对应的方法。该技术特别适合于配备有可插拔光学模块的应答器的特性,诸如小形状因数可插拔(SFP和SFP+)模块、各种变体的C形状因数可插拔(CFP)模块(CFPn,其中 $n=2,4,8,\dots$ )以及10千兆位形状因数可插拔(XFP)模块。

### 背景技术

[0002] 光学应答器在光学网络中的有效部署需要准确的性能建模。特别地,关于应答器性能的精确信息能够节省中间中继器并且因此有助于将成本保持在较低水平。此外,与已经安装的性能有关的精确信息能够实现对于新连接的路线的选择,以这样的方式使得性能在连接上很好地得到平衡。

[0003] 网络规划的关键参数是残余裕量,残余裕量提供关于在链路中断之前可以容忍的性能退化程度的信息。对残余裕量的典型计算依赖于通常用所需光学信噪比(OSNR)来表示的背靠背性能,以在背靠背配置中实现目标出错率,即,在发射器与接收器之间没有足够长度的光纤。所需OSNR因应答器样本而异,但在多数情况下,只知道典型的值。因此,当前在实际应用中使用所需OSNR的最坏情况值,这确保所有应答器样本的无错操作。然而,这导致涉及太多中继器且导致成本增加的保守规划。如果知道实际使用的应答器样本的背靠背性能,则原则上可以改善这种情形。此外,用于表征已安装的应答器的方法可以有助于识别故障根本原因。

[0004] 到今天为止,添加到覆盖长距离的高性能光学网络的几乎所有应答器都是基于相干检测和偏振复用。此外,存在部署可以根据需要插入应答器卡中的可插拔模块的趋势。在开放的生态系统中,网络运营商可以将来自不同供应商的可插拔模块混合并且将它们插入系统供应商的应答器卡中。在这种情况下,在卡的制造期间确切地表征卡就不再是个选择。

[0005] 此外,在安装时通过利用外部测量设备和菜单交互来测量应答器性能并不是实际的解决方案,而是出于成本原因并且考虑到人员在实地错误地执行时出现错误测量结果的风险。

[0006] 可能无需使用外部设备的另一可能的方法将是通过在数字域中(即,在用于信号生成和检测的数字信号处理器(DSP)中)添加噪声项来模拟可变噪声电平。然而,此类DSP是由设计用于整个市场的芯片的少量专业公司制造的。因此,从成本的角度来看,定制几乎是不可能的,并且如果还没有在DSP中实施添加数字噪声,那么性能测量是不可能的,就像可商购的DSP的目前情况一样。此外,“人工”数字噪声的特性不同于“真实”模拟噪声,诸如热噪声和由放大自发发射(ASE)引起的噪声。

### 发明内容

[0007] 本发明的根本问题是提供一种应答器和一种允许改进光学网络中的应答器的性能建模的方法。这个问题由根据权利要求1所述的应答器以及根据权利要求20所述的方

法来解决。从属权利要求中限定了有利的实施例。

[0008] 本发明提供了一种应答器,其包括:发射器,该发射器用于生成和发射光学信号;以及接收器,该接收器用于接收光学信号,其中所述接收器包括:接收器-光电检测器组件,该接收器-光电检测器组件用于将接收到的光学信号转换成电信号;以及在接收器的输入处的接收器输入放大器,该接收器输入放大器适合于放大将由所述接收器接收到的传入光学信号,其中所述输入放大器包括光学增益介质。

[0009] 应答器还包括:旁通线路,该旁通线路被配置为将来自所述发射器的光学信号选择性地馈送到接收器;以及控制单元,该控制单元被配置为通过控制应答器进行以下操作来确定应答器并且特别是其接收器的相对于OSNR相关参数的性能

[0010] -通过操作接收器输入放大器来生成将由接收器接收到的噪声信号,由此在接收器输入放大器中引起ASE,并且确定表示噪声信号的强度的噪声强度值,

[0011] -在发射器处生成测试信号并确定表示测试信号强度的信号强度值,其中信号强度值与噪声强度值之比为所述OSNR相关参数,以及

[0012] -将所述噪声信号和所述测试信号或者它们的复制品叠加以形成将由所述接收器接收的组合信号,并且基于所述组合信号来确定所述性能相关参数,其中为了生成所述组合信号,借助于所述旁通线路将所述测试信号从发射器馈送到接收器。

[0013] 在本文中,术语“OSNR相关值”可以是指实际OSNR值,但本发明不限于此。相反,如下面将解释,例如,“OSNR相关值”可以类似于由未知因素决定的实际OSNR值,或者换句话说,类似于“相对OSNR值”,相对OSNR值将是“OSNR相关值”的一个示例。

[0014] 本发明利用以下事实:一些可插拔应答器模块(特别是利用集成光学器件的那些可插拔应答器模块)采用光学增益介质,诸如EDFA,以补偿光学芯片上的损耗并且达到所需输出功率以及信号检测所需的光学功率。本发明在接收侧利用此类光学增益介质,以用于产生可变OSNR值。尽管当前,EDFA将是用于提供光学增益的典型选择,但原则上,半导体光学放大器同样可以用于这个目的。

[0015] 装置允许在实地试运行之后进行整个应答器的自动性能表征,而不必采用外部设备或任何人力。此外,性能表征可以基于应答器卡和可插拔模块的实际组合。

[0016] 此外,本发明的应答器允许优于上面考虑的情形的性能表征,其中通过在数字域中添加噪声项来模拟可变噪声电平。首先,通过避免这个模拟,可以使用普通可商购的DSP芯片。此外,可以在传输侧上添加模拟的噪声,即,在将电信号提供到发射器之前添加,或者可以在接收到传入光学信号之后添加。在这两种情况下,数字噪声具有与来自传输线路的“真实”模拟噪声不同的特性。当在接收到输入信号之后添加数字噪声时,与“真实”噪声相比,该噪声未被接收器滤波。另一方面,当已经在发射器前面将数字噪声引入到电信号时,噪声也被发射器改变,而在光学线路上生成的“真实”模拟噪声未受发射器影响。通过本发明的应答器来避免这个缺点。

[0017] 在优选实施例中,应答器的接收器是相干接收器,所述相干接收器包括本地振荡器光源,其中待被接收的光学信号与本地振荡器光在接收器-光电检测器组件上组合。在本文中,所述接收器-光电检测器组件优选地是光电二极管或者一对平衡光电二极管。

[0018] 在优选实施例中,使用接收器-光电检测器组件来确定所述信号强度值和噪声强度值中的一者或两者。

[0019] 在替代实施例中,应答器被配置为借助于布置在接收器输入放大器与接收器-光电检测器组件之间的光敏元件来确定噪声强度值。

[0020] 在优选实施例中,所述应答器被配置为借助于布置在发射器与接收器-光电检测器组件之间并且特别是布置在所述旁通线路内的光敏元件来确定信号强度值。

[0021] 为了确定光学噪声,即,OSNR的分母,必须考虑宽度典型地为0.1nm的预定频率范围内的功率。因此,在优选实施例中,应答器包括带通滤波器,该带通滤波器用于在确定所述噪声强度值之前对所述噪声信号进行滤波。在优选实施例中,带通滤波器是准许将通带的频率调整到测试信号的频率的可调谐带通滤波器。

[0022] 在替代实施例中,带通滤波器是具有固定通带的静态滤波器,并且控制单元被配置为基于关于在给定的操作状态下(诸如在给定的泵浦功率下)在所述接收器放大器中生成的ASE功率如何随频率变化的信息来计算在所述通带之外的测试信号频率下的噪声强度值。使用静态滤波器而不是可调谐滤波器降低了成本。然而,这暗示在“错误频率”下测量噪声强度值。考虑到在给定的放大器操作状态下在接收器放大器中生成的ASE功率如何随频率变化可允许估计在“正确频率”下的噪声强度值将是多少。

[0023] 形容词可调谐是指以下事实:可以以受控方式来改变装置的波长特性。对于激光器来说,这意味着可以通过适应控制信号来改变发出的光波的中心频率或中心波长。应用于带通滤波器,这表明滤波器的通带可以在波长或频率上移位。

[0024] 在一个实施例中,控制单元被配置为从查找表或使用预先存储的函数根据计算来检索关于ASE功率如何随频率变化的所述信息。

[0025] 在替代实施例中,其中接收器是相干接收器,所述控制单元可以被配置为通过控制应答器使用接收器-光电检测器组件在本地振荡器调谐到所述通带频率的情况下测量噪声信号的第一强度并且在本地振荡器调谐到测试信号频率的情况下测量噪声信号的第二强度来获得关于ASE功率频率的变化的所述信息。

[0026] 在优选实施例中,应答器是能够插入到在网络元件中使用的卡中的可插拔模块的一部分。

[0027] 在优选实施例中,所述性能参数是误码率BER和误差矢量幅度EVM中的一个。

[0028] 在优选实施例中,所述控制单元还被配置为针对多个不同的噪声信号强度来实施确定应答器的相对于所述OSNR相关参数的性能,并且基于该确定的结果来确定以下一者或两者

[0029] -最小OSNR值,在所述最小OSNR值下,所述性能参数达到预定性能阈值,以及

[0030] -OSNR裕量,所述OSNR裕量表示与给定的OSNR和给定的性能参数相比可容忍的OSNR降低,直到达到预定性能阈值为止。

[0031] 应注意,典型地以对数值(诸如dB)来给出OSNR。因此,为了限定OSNR裕量,不必知道绝对OSNR值,而是知道相对OSNR值(即,由未知因素决定)就足够了。

[0032] 在优选实施例中,所述控制单元被配置为基于应答器的相对于所述OSNR相关参数的性能的结果和关于与所述应答器连接的链路的信息来确定所述最小OSNR值或所述OSNR裕量,由此至少大致考虑到除了ASE外在所述链路上传输时的信号退化来源。也就是,尽管本发明的应答器允许确定背靠背测量中的性能值(诸如BER)与OSNR相关值之间的关系,但在应答器的用于经由对应的光学链路来接收光学信号的实际操作中,将存在

与光学链路相关联的同样将影响BER的额外信号退化来源。如下面更详细地解释,这些额外信号退化来源可以在与实际光学噪声相同的基础上进行处理,并且可以在数学上通过引入辅助噪声功率值进行考虑,所述辅助噪声功率值包括ASE的贡献以及表示在光学链路上传输时的其他信号退化来源的链路相关“等效噪声功率贡献”。“等效噪声功率贡献”将至少部分地取决于信号强度。因此,知道了一方面BER与OSNR之间的关系以及对应的链路上的光学信号的功率这两者,就可能也考虑到除了ASE外在所述链路上传输时的其他信号退化来源来更准确地预测上述最小OSNR值或OSNR裕量。关于光学链路的信息可以由网络管理系统提供到应答器。

[0033] 典型地在整个传输链路上引起信号失真。非线性光纤效应是信号失真的重要来源并且主要在光纤的高功率区域中(即,在光学放大器之后的光纤区域中)改变传输的信号的波形。此类失真的程度取决于光学功率和光纤特性、特别是取决于比如模场直径、非线性光纤参数、群速色散和衰减系数的参数。参数越多并且知道得越好,就可以越准确地计算等效噪声功率。严格地讲,非线性光纤效应的程度取决于光学功率相对于波长的分布。然而,当使用现代发射器时,基于相位调制或者组合的相位和幅度调制,波长依赖性不像对于强度调制那么强。因此,可以通过仅仅考虑光纤中的总光学功率来获得可接受的结果,因此这将是所述“关于光学链路的信息”的示例。典型的放大器配备有监测器,所述监测器允许测量放大器的输出处的功率,所述功率稍微衰减后发射到传输光纤中。例如,这个信息可以经由网络管理系统提供到应答器。光纤参数也可以经由已经被馈送来自规划工具的数据的这个管理系统提供到应答器。上述全部都类似于允许至少大致考虑到除了ASE外的在所述光学链路上传输时的信号退化来源的上述“关于光学链路的信息”的示例。

[0034] 显然,有不同的方式在数学上实施可以由控制单元实施的对OSNR值或OSNR裕量的确定,并且本发明不限于它们中的任何具体的一个。

[0035] 在本文中,可以通过改变接收器输入放大器的泵浦功率来改变噪声信号强度。

[0036] 在优选实施例中,应答器包括光学开关或与可变光学衰减器组合的分离器,以将来自发射器的光学信号选择性地馈送到旁通线路。

[0037] 在优选实施例中,应答器是被配置为发射和接收偏振复用正交相移键控(QPSK)或正交调幅(QAM)信号的双偏振应答器,其中所述发射器包括两个“同相正交”(IQ)调制器,每一个连接到偏振合束器,并且其中所述接收器包括两个IQ接收器单元,每一个连接到偏振分束器。

[0038] 在本文中,所述旁通线路只与所述IQ调制器中的一个的输出连接,并且连接到两个IQ接收器单元中的两者。

[0039] 在优选实施例中,控制单元被配置为在实地首次安装应答器后或者在从网络管理系统接收到触发信号后自动地实施确定应答器的相对于OSNR相关参数的性能。

[0040] 本发明的又一方面涉及一种测量应答器的性能的方法,所述应答器包括用于生成和发射光学信号的发射器以及用于接收光学信号的接收器,其中所述接收器包括

[0041] -接收器-光电检测器组件,该接收器-光电检测器组件用于将接收到的光学信号转换成电信号,以及

[0042] -在所述接收器的输入处的接收器输入放大器,该接收器输入放大器适合于放大将由所述接收器接收到的传入光学信号,其中所述输入放大器包括光学增益介质。

[0043] 与该方法相关的应答器还包括旁通线路,该旁通线路被配置为将来自所述发射器的光学信号选择性地馈送到接收器。

[0044] 该方法包括以下步骤

[0045] -通过操作接收器输入放大器来生成将由接收器接收到的噪声信号,由此在接收器输入放大器中引起ASE,并且确定表示噪声信号的强度的噪声强度值,

[0046] -在发射器处生成测试信号并确定表示测试信号强度的信号强度值,其中信号强度值与噪声强度值之比为所述OSNR相关参数,以及

[0047] -将所述噪声信号和所述测试信号或者它们的复制品叠加以形成将由所述接收器接收到的组合信号,并且基于所述组合信号来确定所述性能相关参数,其中为了生成所述组合信号,借助于所述旁通线路将所述测试信号从所述发射器馈送到所述接收器。

[0048] 在优选实施例中,接收器是相干接收器,所述相干接收器包括本地振荡器光源,其中待被接收的光学信号与本地振荡器光在接收器-光电检测器组件上组合。所述接收器-光电检测器组件可以是光电二极管或者一对平衡光电二极管。

[0049] 在优选实施例中,使用接收器-光电检测器组件来确定所述信号强度值和噪声强度值中的一者或两者。

[0050] 在优选实施例中,借助于布置在接收器输入放大器与接收器-光电检测器组件之间的光敏元件来确定所述噪声强度值。

[0051] 优选地,借助于布置在发射器与接收器-光电检测器组件之间并且特别是布置在旁通线路内的光敏元件来确定所述信号强度值。

[0052] 在优选实施例中,在确定所述噪声强度值之前使用带通滤波器对所述噪声信号进行滤波,其中所述带通滤波器优选地是可调谐带通滤波器,并且该方法包括将通带的频率调整到测试信号的频率的步骤。作为替代方案,所述带通滤波器可以是具有固定通带的静态滤波器,并且该方法可以包括以下步骤:基于关于在给定的操作状态(诸如给定的泵浦功率)下在所述接收器放大器中生成的ASE功率如何随频率变化的信息来计算在所述通带之外的测试信号的频率下的噪声强度值。在本文中,可以从查找表或者使用预先存储的函数根据计算来检索所述信息。

[0053] 在优选实施例中,通过使用接收器-光电检测器组件在本地振荡器调谐到所述通带频率的情况下测量噪声信号的第一强度并且在本地振荡器调谐到测试信号的频率的情况下测量噪声信号的第二强度来获得所述信息。

[0054] 在本发明的方法的各种实施例中,应答器可以是能够插入到在网络元件中使用的卡中的可插拔模块的一部分。

[0055] 在优选实施例中,所述性能参数是误码率BER和误差矢量幅度EVM中的一个。

[0056] 在优选实施例中,针对多个不同的噪声信号强度来确定应答器的相对于OSNR相关参数的性能,并且基于该确定结果来确定以下一者或两者

[0057] -最小OSNR值,在所述最小OSNR值下,所述性能参数达到预定性能阈值,以及

[0058] -OSNR裕量,所述OSNR裕量表示与给定的OSNR和给定的性能参数相比可容忍的OSNR降低,直到达到预定性能阈值为止。

[0059] 在优选实施例中,基于应答器的相对于所述OSNR相关参数的性能的确切结果和关于与所述应答器连接的光学链路的信息来实施确定所述最小OSNR值或所述OSNR裕量的所

述步骤,由此至少大致考虑到除了ASE外在所述光学链路上传输时的信号退化来源。

[0060] 在优选实施例中,通过改变接收器输入放大器的操作状态并且特别是其泵浦功率来改变噪声信号强度。

[0061] 在一些实施例中,所述OSNR裕量是绝对OSNR值。在替代实施例中,所述OSNR裕量可以是相对于与所述给定的性能参数相对应的所述给定的OSNR的相对OSNR值。

[0062] 在优选实施例中,在实地首次安装应答器后或者在从网络管理系统接收到触发信号后,自动地实施确定应答器的相对于OSNR相关参数的性能。

[0063] 在数字通信中,典型地通过参考位错误的数量(即,因为噪声、干涉、失真或位同步错误而被更改的接收到的位的数量)来将信号质量量化。为了完全地准确,必须区分两个参数,即,指示每单位时间的位错误数量的“误码率”和将在研究的时间间隔期间传输的位之中的被更改的位的份额量化的“误码比率”。但一般来说,没有明确区分这两个参数,并且术语“误码率”也用于误码比率。在本文件中,术语“误码率”将基于在传输期间被更改的位的数量而用于任何一种质量参数。因此,术语“误码率”也将包括误码比率。

## 附图说明

[0064] 图1是表示网络元件中的可插拔模块和对应的卡的示意图。

[0065] 图2是根据本发明的实施例的形成应答器的一部分的可插拔模块的示意图。

[0066] 图3示出了表示误码率(BER)随与由未知因素决定的实际OSNR相对应的OSNR相关参数而变的各种曲线。

[0067] 图4示出了由图2中示出的接收器输入放大器生成的ASE功率随波长和泵浦功率而变的依赖关系。

[0068] 图5示出了在存在非线性光纤影响的情况下处于各种信号功率电平的BER对OSNR的各种曲线。

[0069] 图6是解释如何构建图5中示出的曲线的示意图。

## 具体实施方式

[0070] 为了促进理解本发明原理的目的,现在将参考附图中示出的优选实施例,并且将使用特定的语言来对所述实施例进行说明。然而将理解,并不意图借此限制本发明的范围,本发明所涉及的领域的技术人员应理解现在或将来预期对所示设备的此类更改和其他修改以及如本发明中所述的本发明的原理的此类进一步应用。

[0071] 图1示意性地示出了用于在网络元件中使用的卡10的典型配置,所述卡10包括数字信号处理器(DSP)12和可插拔应答器模块14。所有的光学部件都集成在可插拔应答器模块14中。图1中示意性地示出了两个光源16和34、发射器18以及接收器20。光源16为将要发射的信号提供光学功率并且光源34充当本地振荡器。此外,可插拔应答器模块14包括用于设置光学部件的关键操作参数的控制单元22。DSP 12与可插拔应答器模块14之间的信号经由电线进行交换。

[0072] 在图2中示出了根据本发明的实施例的可插拔应答器模块14(下面为简洁起见,称为“应答器14”)的更详细视图。如图2所示,应答器14包括两个光源16和两个对应的调制器24,它们组合起来形成发射器18。在典型的实施方式中,两个光源16将被单个光源取代,所

述单个光源的输出功率借助于分光器分成功率大致相等的两个部分,所述两个部分被提供到两个调制器。在本公开中,“发射器18”由两个单偏振发射器18a、18b组成。在所示的实施例中,调制器24是双平行马赫-曾德尔调制器(DP-MZM)。DP-MZM 24中的每一个从DSP(诸如,图1中示出的设置在卡10上的DSP 12)接收对应的同相正交信号(I,Q),从而允许生成双偏振正交调幅(QAM)信号以及特别是QPSK信号。两个调制器24都作用在相同的偏振上。偏振复用是在随后的偏振合束器(PBC)26中发生。

[0073] 在PBC 26中的偏振组合之后,由掺铒光纤放大器(EDFA)来放大最终的偏振复用发射信号。EDFA 28借助于泵浦光源30进行泵浦。在EDFA 28的下游,设置光敏元件32(在所示的示例中为光电二极管)来测量经放大的发射光信号的强度,以便控制EDFA 28。EDFA 28在本文中也被称为“发射器输出放大器28”。

[0074] 图2的下部分示出了用于双偏振信号的接收器20,所述接收器由两个相干的单偏振接收器20a、20b组成。单偏振接收器20a、20b包括可调谐本地振荡器34,并且它们中的每一个包括两对平衡光电二极管36。每一对平衡光电二极管36是前述“接收器-光电检测器组件”的示例。在相干接收器中,传入光学信号与本地振荡器信号在接收器-光电检测器组件(诸如平衡光电二极管对36)上进行组合。组合信号的强度具有频率与传入光信号和本地振荡器34的光学频率的差异相对应的分量。平衡光电二极管36的输出信号类似于电同相正交信号,其在附图中同样指示为I和Q并且将被合适的电子器件(诸如,如图1所示的卡10的DSP 12)处理。归因于电子器件的有限带宽,只可能检测到频率与本地振荡器频率相差小于电子器件的频率带宽的传入光学信号,使得相干接收器20a、20b固有地充当传入光的波长滤波器。

[0075] 如在图2中进一步看出,提供偏振分束器38以用于将传入的偏振复用光学信号分成两个偏振分量,每一个将被馈送到相干单偏振接收器20a、20b中的对应一个。提供另一EDFA 40,所述EDFA的主要目的在于在传入的光学信号由接收器20接收之前将其放大,并且因此在本文中被成为“接收器输入放大器40”。在所示的实施例中,输入放大器40与发射器输出放大器28由相同的泵浦光源30进行泵浦。另一光敏元件(在所示的实施例中为光电二极管42)设置在接收器输入放大器40与“接收器光电检测器组件”(即,接收器20的平衡光电二极管对36)之间。尽管接收器输入放大器40的主要目的是将传入的光学信号放大,但在本发明的框架中,它还用于通过放大自发发射(ASE)来生成人工光学噪声信号,以便以下面更详细地描述的方式表征应答器14的性能。由于光电二极管42布置在接收器输入放大器40与接收器-光电检测器组件(即,平衡光电二极管)36之间,因此光电二极管42能够确定表示噪声信号的强度的噪声强度值。然而,为了确定OSNR,将仅确定在与感兴趣的实际信号的带宽相对应的小波长范围内的噪声的强度,对于很多应用而言,所述带宽将窄至0.1nm。因此,带通滤波器44设置在接收器输入放大器40与光电二极管42之间,以便只传输在规定的波长范围内的噪声信号。带通滤波器44的这个波长范围不需要确切地对应于感兴趣的实际信号的频谱宽度(例如,在以上示例中,不必精确为0.1nm);然而,为了确定明确的光学噪声强度值,至少需要知道带宽,使得可以在数量上确定相关光学噪声值,或换句话说,OSNR的分母。然而应注意,下面将描述替代实施例,其中不需要确切地知道光学噪声信号的带宽。在所示的实施例中,带通滤波器44是可调谐滤波器,所述滤波器可以适合于将要针对其确定OSNR或OSNR相关值的感兴趣的实际信号的波长。尽管在图2中,发射器输出放大器28和接收器输入

放大器40被示为EDFA,但同样可能的是采用将不需要泵浦光源30的其他光学放大器,诸如半导体光学放大器(SOA)。

[0076] 如在图2中进一步看出,提供了旁通线路46,所述旁通线路被配置为将来自发射器18的光学信号选择性地馈送到接收器20。在所示的实施例中,旁通线路仅与单偏振发射器中的一者18a的输出连接,并且进行分叉以与单偏振接收器20a、20b两者耦合。换句话说,旁通线路允许将由单偏振发射器18a、18b中的一个生成的测试信号重新定向到单偏振接收器20a、20b两者。提供光学开关48,所述光学开关允许将来自单偏振发射器18a的光选择性地耦合到旁通线路46。在本文中,光学开关48类似于马赫-曾德尔调制器。应注意,旁通线路46的具体配置并不唯一。例如,将可能的是提供两个旁通线路,每个旁通线路将单偏振发射器18a、18b中的一个与单偏振接收器20a、20b中的对应一个相连接。另外,代替开关48,可以采用分离器以及其后的可变衰减器。在旁通线路46内,提供另一光敏元件50,所述光敏元件能够确定经由旁通线路46传送的测试信号的强度。最后,提供控制单元22,所述控制单元控制应答器14的各部件。

[0077] 接下来,描述图2的应答器14的功能。在控制单元22的控制下,在第一步骤中,通过操作接收器输入放大器40来生成将由接收器20接收到的噪声信号,由此在接收器输入放大器中引起ASE,并且确定表示噪声信号的强度的噪声强度值。在所示的实施例中,“操作接收器输入放大器40”相当于由泵浦光源30对接收器输入放大器40进行泵浦,由此生成类似于光学噪声的ASE。此外,控制单元22借助于光电二极管42来确定表示噪声信号的强度的噪声强度值。由于在当前实施例中,发射器输出EDFA 28和接收器输入EDFA 40共享相同的泵浦光源30,因此ASE也将注入到应答器14的光学输出中。然而,只要ASE功率低于相关危险等级,这就不是问题,因为实施增强的ASE注入只是在测量阶段期间进行的而非正常操作期间。

[0078] 在第二步骤中,在控制单元22的控制下,在发射器18处并且在所示的实施例中在单偏振发射器18a处生成测试信号,并且基于布置在旁通线路46中的光电二极管50的测量,确定表示测试信号强度的信号强度值。在本文中,信号强度值与噪声强度值之比类似于前述OSNR相关参数。由于在当前实施例中,确切地知道带通滤波器44的带宽,并且因此可以确定光学噪声的绝对值,因此“OSNR相关参数”实际上类似于OSNR本身。

[0079] 最后,在第三步骤中,在控制单元22的控制下,将噪声信号和测试信号或者它们的复制品叠加以形成将由接收器接收的组合信号,并且基于组合信号来确定性能相关参数。在本文中,为了生成组合信号,借助于旁通线路46将测试信号从发射器18馈送到接收器20。性能参数可以是误码比率(BER),在本领域中也被称为“误码率”,或者误差矢量幅度EVM。

[0080] 应注意,这三个步骤的顺序可以根据需要互换,并且如果实施适当的测量装置,甚至可以并行地执行所述步骤。此外,针对泵浦光源30的不同注入电流电平和因此不同的噪声强度值,这三个步骤重复若干次,诸如以便获得OSNR相关参数与应答器的性能之间的关系,由此表征应答器14的噪声性能。如技术人员将了解,可以在将可插拔应答器模块14安装在网络元件中的对应卡处后(即,在它试运行后)实施应答器14的噪声性能的表面。此外,可以在控制单元22的控制下完全自动地实施表面,而不需要任何额外的外部设备,并且不必由在实地安装可插拔应答器模块14的人员实施。

[0081] 优选地,在将模块14插入到应答器卡10中之后直接执行以上描述的步骤。在这种

情况下,模块14的输入不连接到传输光纤,并且确保输入信号不能窜改测量结果。然而,当模块14连接到传输线路时,如果采取一些措施来阻止输入光进入放大器,那么性能测量也是可能的。直接的解决方案是直接接收器输入放大器40的前面添加光学开关或可光学衰减器(VOA),它们在执行上面描述的步骤时分别设置到阻断状态或高衰减。然而,由这个部件引入的附加损耗可能会增大放大器在正常操作下产生的噪声,并且添加这样的装置并不总是个选择。替代地,嵌入到反射链路中并且与相应的应答器14连接的波长选择开关(WSS)或光学放大器也可以用于阻止输入光。出于这个目的,由电信网络管理系统(TNMS)来控制包括上面详述的三个步骤的测量阶段。如果不采取动作来抑制传入的信号或噪声,那么在执行三个测量步骤之前至少应执行针对输入光的检查。这样的检查可以由输入光电二极管执行,或者在存在某一信号的情况下,通过检查平衡光电二极管36来执行。在检测到输入信号的情况下,性能测量是不可能的,并且向TNMS发送消息。

[0082] 上面描述的实施例允许针对由发射器18生成的任何测试信号来确定OSNR。特别地,由于在所描述的实施例中,带通滤波器44可调谐至测试信号的波长并且具有确切地已知的带宽,因此有可能确定在相关信号波长下且在相关频谱范围内的光学噪声的绝对值,并且因此确定绝对OSNR值。然而,提供具有确切地已知的带宽的可调谐带通滤波器会增加应答器模块14的复杂性和成本。在实践中,难以仅仅通过设计来避免光学滤波器的传递功能的变化。相反,将典型地需要一些校准,这会增加成本或者要求另外的人工干预。另外,带通滤波器的可调谐性进一步增加了复杂性和成本。鉴于此,发明人已经发现,甚至在不知道滤波器的确切带宽时,和/或在采用静态(即,不可调谐)带通滤波器时,可以实施非常有用且精确的应答器表征,如将在下文进行解释。

[0083] 如果不知道滤波器44的带宽,那么只可以针对不同的泵浦功率设置来确定相对OSNR值(即,OSNR差值),因为噪声和因此OSNR的分母仅由某一未知因素决定。因此,取决于实际滤波器带宽,上面描述的过程产生图3所示的曲线中的一个。表示针对不同滤波器带宽的BER对OSNR相关值的这些曲线具有相同的形状并且不同之处只是水平偏移量。网络规划的关键参数是残余裕量,残余裕量被限定为实际OSNR与在FEC解码(FEC阈值)之后实现期望BER所需的最小OSNR之间的差值。由于不同的曲线只是同一特性曲线的移位版本,因此可以在不知道滤波器带宽的情况下确定这个差值。

[0084] 因此,在优选实施例中,基于未知的参考带宽来确定相对于OSNR的误码率(BER)。在数学上,这可以表达为 $BER=f(X)$ ,其中变量X表示基于未知参考带宽的所述OSNR相关值,或换句话说,由未知因素决定的真实OSNR。典型地,函数f随着自变数X增加而单调减少并且可以容易逆变。由于通过应答器来确定BER,因此可以根据以下等式来计算裕量M

$$[0085] \quad M=f^{-1}(BER)-f^{-1}(BER_{thr})$$

[0086] 其中 $f^{-1}$ 代表函数f的逆函数并且 $BER_{thr}$ 表示阈值误码率,FEC仍可根据 $BER_{thr}$ 校正多数的错误,使得输出信号可以被视为无误的。应注意,项 $f^{-1}(BER_{thr})$ 不一定对应于用于在背靠背配置中实现目标出错率的所需的光学信噪比(OSNR)。

[0087] 现代的应答器典型地是可调谐的并且允许改变传输信号的波长。由于需要知道信号波长处的ASE水平,因此如上所述,理想地,滤波器44也应是可调谐的。然而,由于这导致装置的复杂性增加,因此这里提出涉及静态滤波器的替代技术。

[0088] 图4示出了随着波长而变的EDFA的ASE功率密度,其中图4中的每一条曲线对应于

由图2所示的泵浦光源30提供的不同泵浦功率。如可以在图4中看出, ASE功率密度很大程度上取决于波长。此外, 波长依赖性随泵浦功率而变。知道了在接收器输入放大器40中产生的 ASE功率如何随频率而变, 在给定的操作状态下 (诸如在给定的泵浦功率下), 控制单元22可以计算在滤波器44的通带之外的测试信号频率下的噪声强度值。特别地, 可以从查找表或者使用预先存储的函数根据计算来检索对应的信息。

[0089] 应注意, 在相干接收器 (诸如图2所示的接收器20) 的情况下, 可以借助于选择性光电二极管36通过扫描本地振荡器34的波长来很好地确定曲线的形状 (即, 对于接收器输入放大器40的给定操作状态, 相对 ASE功率电平对波长), 因为如上所述, 相干接收器固有地充当波长滤波器。实际上确定在感兴趣波长下且在光学滤波器的中心波长下的这个曲线的值并且在估计感兴趣波长下的 ASE时考虑它们的比就足够了。因此, 如果知道了在滤波器波长下的功率电平和在两个波长下的 ASE功率之比, 那么可以确定在感兴趣波长下的 ASE功率。

[0090] 最后, 在特别成本有效的实施例中, 相干接收器20的固有滤波器性质可以用于通过利用 DSP 12及其固有的频率响应来测量表示噪声信号的强度的噪声强度值。换句话说, 在上述第一步骤中, 通过设置传输路径中的开关48以将信道定向到输出端口或者替代地通过关闭所有发射器18来测量由接收器输入 EDFA 40产生的 ASE。由于来自发射器18的信号没有到达监测光电二极管和接收器, 因此借助于接收器20的光电二极管36测量到的功率对应于在相关频率范围内的 ASE功率。在此实施例中, 光电二极管42将不用于测量噪声强度值, 并且滤波器44可以被完全省略。此外, 同样可以省略位于旁通线路46中的光电探测器50并且也利用接收器20的光电二极管36来测量信号强度值。

[0091] 已经针对利用相位调制或正交调幅的双偏振应答器14描述了本发明的实施方式。当然, 如果不采用偏振复用, 或者在只使用单偏振时, 本发明也适用。此外, 本发明独立于实际使用的调制格式并且也与强度调制兼容。

[0092] 可以通过考虑到非线性光纤效应来改进裕量估计的准确性。实际上, 可以通过添加非线性干涉项来考虑非线性光纤效应对检测的影响。出于这个目的, 需要可以由网络管理系统提供的信号的功率电平。

[0093] 图5中的各种曲线表示对于不同水平的链路相关等效噪声功率贡献, BER对 OSNR, 所述链路相关等效噪声功率贡献表示除了 ASE外的在光学链路上传输时影响信号的其他信号退化来源。已经从表示背靠背性能 (即, 没有因链路相关效应 (诸如非线性光纤效应) 而失真的信号的性能) 的实线中得出所有的虚线。从实线背靠背曲线开始的虚线的结构在图6中示出并且将在之后解释。

[0094] 以下方法是基于可以像噪声那样处理源于链路相关效应的性能退化的假设。在数学上, 通过引入辅助噪声功率值来考虑这种情况, 所述辅助噪声功率值包括在光学链路上产生的放大自发发射 (ASE) 功率的贡献和表示在光学链路上传输时的其他信号退化来源的链路相关等效噪声功率贡献。因此, 归因于 ASE和将不以光学噪声的形式显示的其他信号退化来源 (即, 除 ASE外), 辅助噪声功率值表示来源于噪声功率贡献的总噪声功率贡献。例如, 这些可以包括交叉相位调制 (XPM)、自相位调制 (SPM)、四波混频 (FWM)、偏振模式色散 (PMD)、色散 (CD) 以及偏振依赖损耗 (PDL) 等等。应注意, 多数的相干接收器都补偿 PMD和 CD, 使得在使用此类接收器时这些效应不会影响 BER。传输系统的性能由信号功率和辅助噪声功率值所表示的总噪声支配, 而不依赖于不同的性能退化来源对总等效噪声功率值的相对贡献。

[0095] 辅助噪声功率值可以被定义为来源于所有可能的信号退化来源(也就是,因ASE而引起的噪声功率贡献 $P_A$ 和因所有其他链路相关信号退化来源而引起的等效噪声功率贡献 $P_L$ )的总和的值 $P_N$ :

$$[0096] \quad P_N = \sum P_i = P_A + P_L,$$

[0097] 其中 $P_i$ 是所有可能的信号退化来源,包括“真实”光学信号噪声(例如,归因于ASE)和起因于所述链路相关信号退化来源的“等效”噪声功率。因此,如果真实光学噪声是唯一的信号退化来源,那么 $P_N$ 提供将引起与光学噪声和链路相关信号退化来源的实际组合相同程度的信号退化的光学信号噪声的测量值。这依赖于假设所有的信号退化来源都可以被量化为等效噪声功率。这个假设对于非线性效应的有效性已经由P·波焦利尼(P.Poggiolini)在他于2012年12月15日在《光波技术杂志》第30卷第24期发表的原创性论文“未补偿的相干光学系统中的非线性传播的GN模型(The GN Model of Non-Linear Propagation in Uncompensated Coherent Optical Systems)”中证明。至于诸如窄带滤波、PMD、PDI和CD等其他效应,模型的有效性已经由本申请人实施的实验证实。

[0098] 参考图5,左边的曲线表示背靠背曲线,而该参考的右边的曲线表示不同程度的非线性效应的BER与OSNR之间的关系。信号的已知功率电平用于选择相关曲线。

[0099] 对于给定的信号功率,可以直接地从OSNR来计算ASE的噪声功率贡献。这在图6中由显示在OSNR轴线下方的附加水平轴线指示。应注意, $P_A$ 的值从右到左增加。在上面详述的假设下,对于背靠背操作,辅助噪声功率值 $P_N$ 等于 $P_A$ ,并且可以绘制表示 $P_N$ 的附加轴线。当针对给定的OSNR值来确定BER时,在第一步骤中计算对应的ASE相关噪声功率值 $P_A$ 。在步骤2中,根据噪声功率值 $P_A$ 和链路相关等效噪声功率 $P_L$ 来计算辅助噪声功率值 $P_N$ 。根据GN模型,传输系统的性能应与下述配置相同,在该配置中相同辅助噪声功率值仅来源于ASE。因此,在第三步骤中,实线背靠背曲线可以用于通过利用背靠背曲线所依据的ASE相关噪声功率值 $P_A$ 识别辅助噪声功率值 $P_N$ 来确定BER。最后,在第四步骤中,将这个BER分配到开始计算时所依据的OSNR值。这个计算是基于绝对噪声功率值。确实,也可以利用归一化至信号功率的噪声功率值来完成相同的计算。

[0100] 尽管在附图和前面的说明书中详细示出和说明了优选的示例性实施例,但是这些实施例应该被视为纯粹示例性的,而不是对本发明的限制。在这方面,应当注意,仅示出和指定了优选的示例性实施例,并且所有的变化和修改都应当受到保护,这些变化和修改目前或将来都在权利要求中限定的本发明的保护范围内。

[0101] 附图标记列表

[0102] 10 网络元件的卡

[0103] 12 DSP

[0104] 14 可插拔应答器模块

[0105] 16 发射器光源

[0106] 18 发射器

[0107] 20 接收器

[0108] 22 控制单元

[0109] 24 双平行马赫-曾德尔调制器

[0110] 26 偏振合束器

---

[0111]	28	发射器输出放大器
[0112]	30	泵浦源
[0113]	32	光电二极管
[0114]	34	本地振荡器
[0115]	36	平衡光电二极管对
[0116]	38	偏振分束器
[0117]	40	接收器输入放大器
[0118]	42	光电二极管
[0119]	44	带通滤波器
[0120]	46	旁通线路
[0121]	48	光学开关
[0122]	50	光电二极管

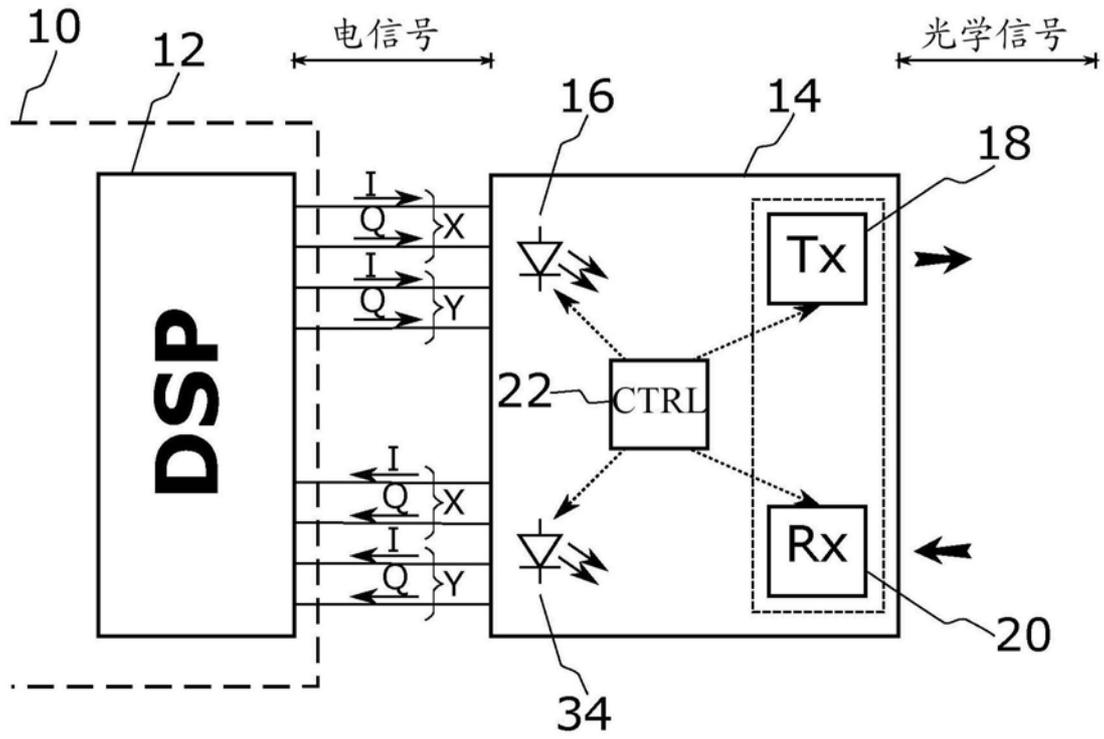


图1

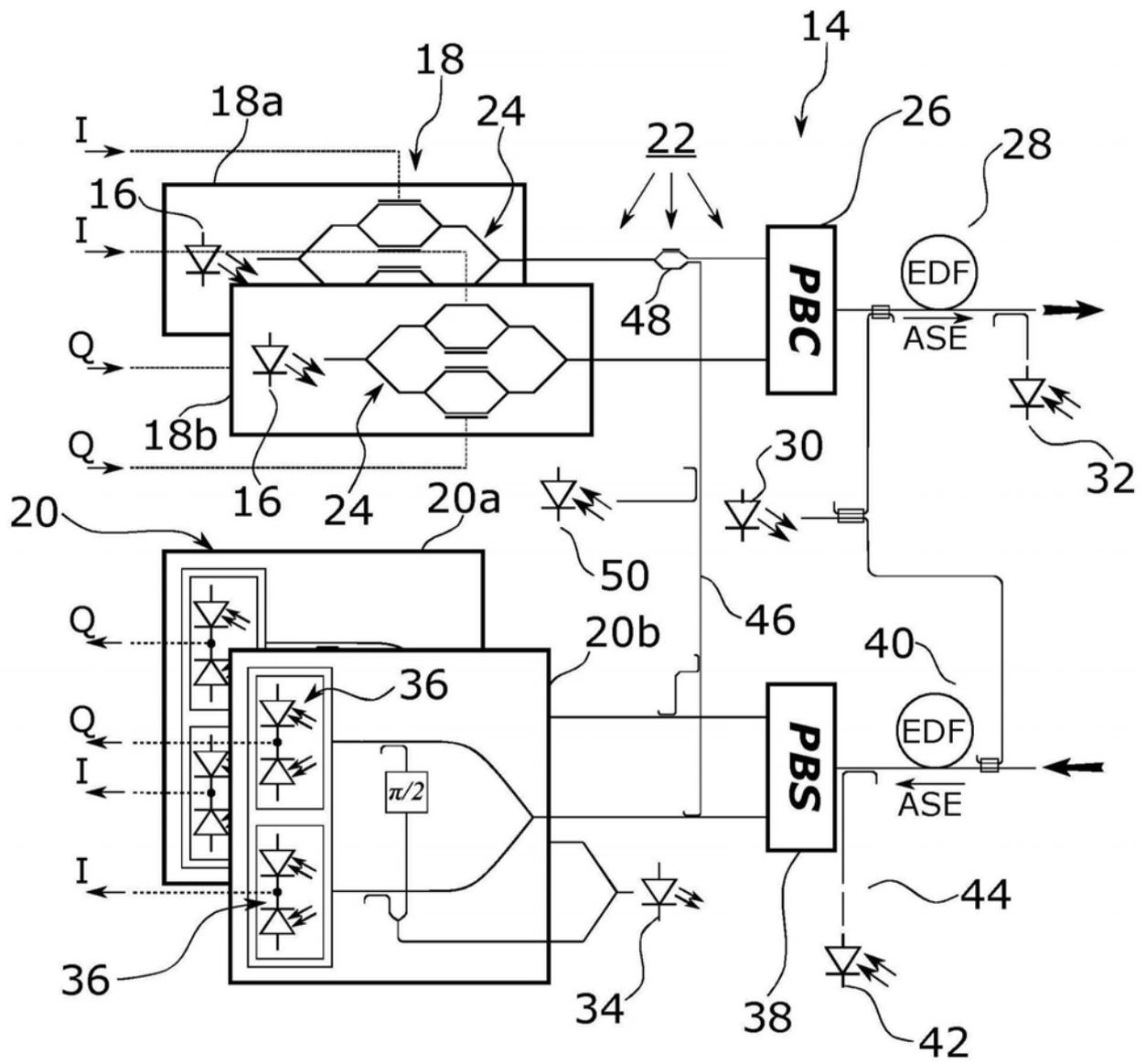


图2

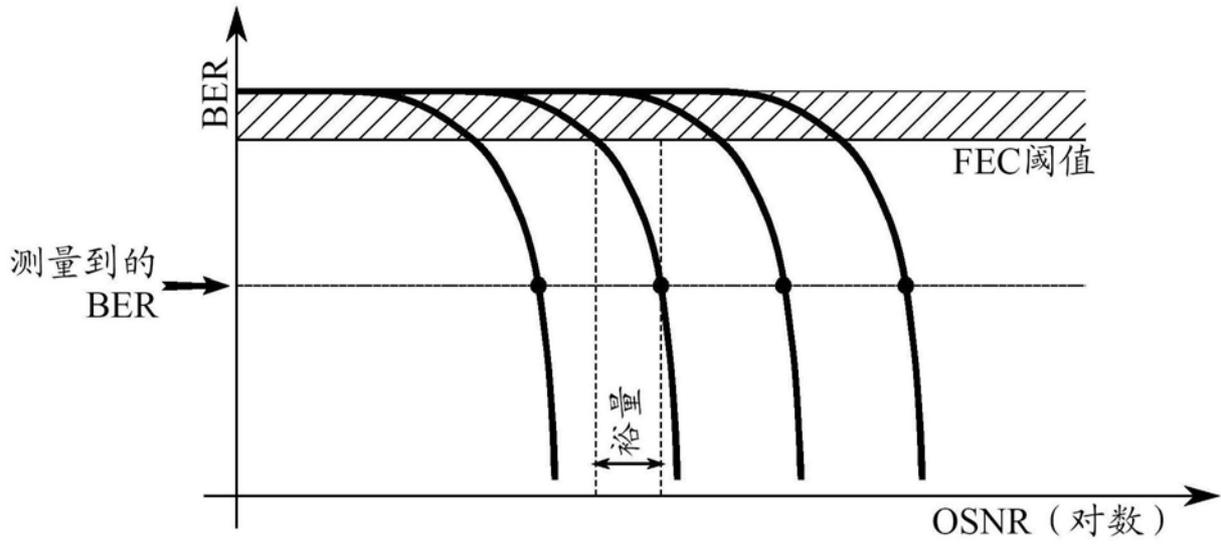


图3

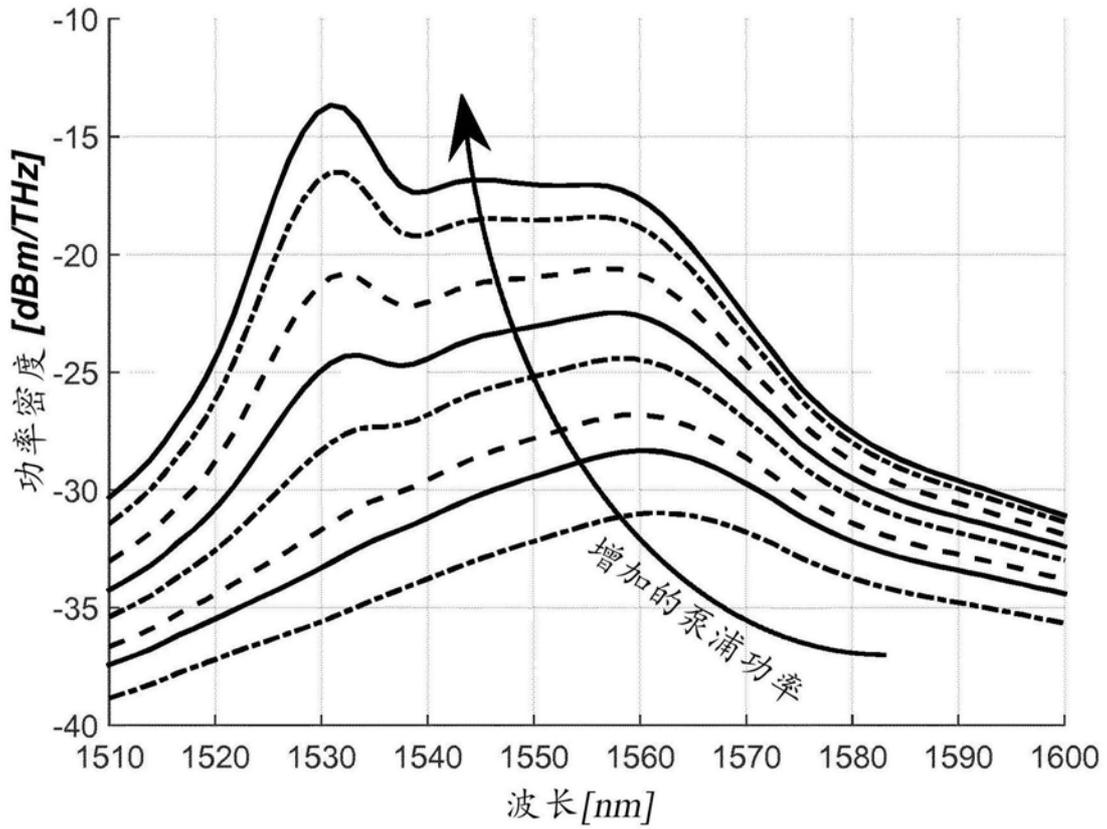


图4

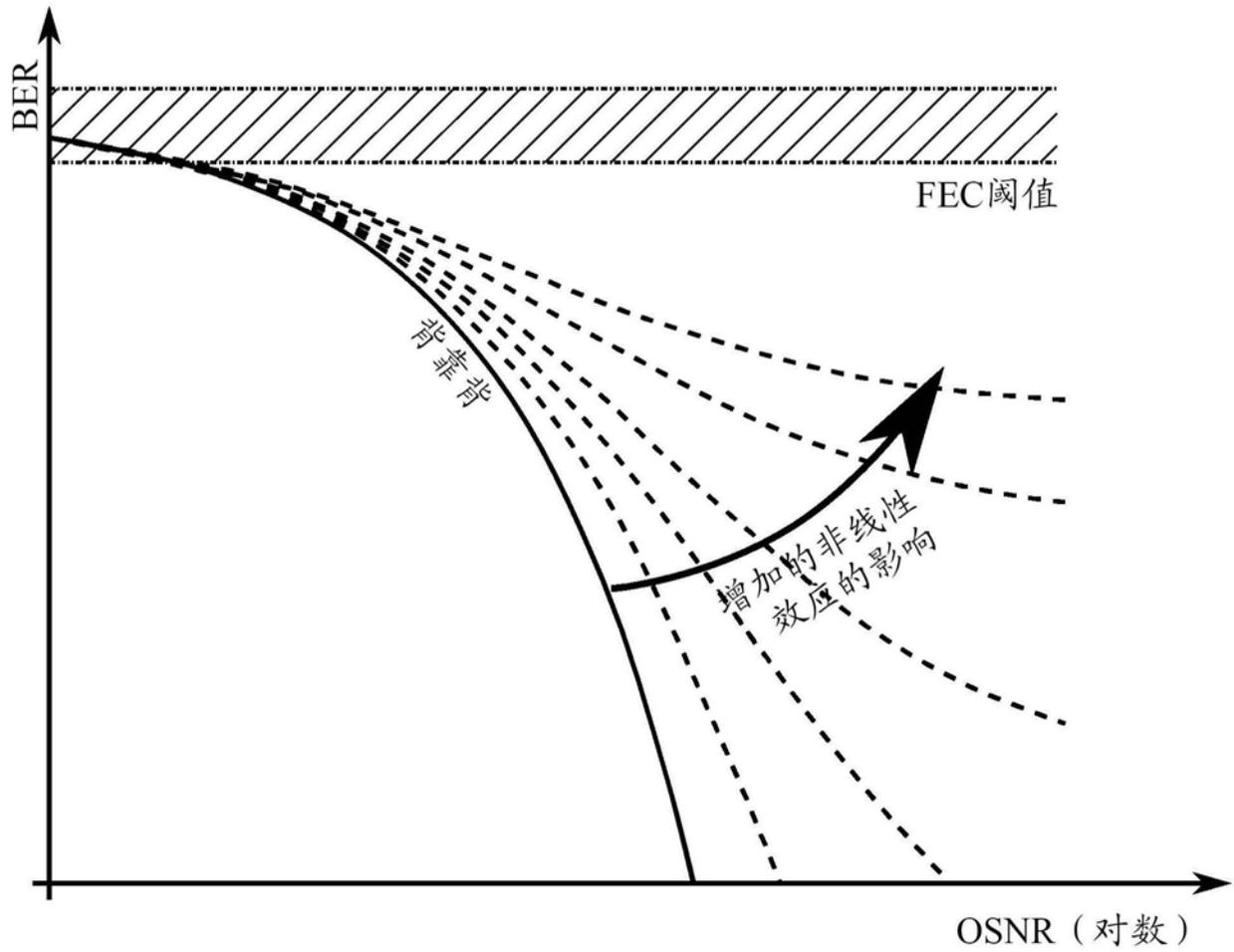


图5

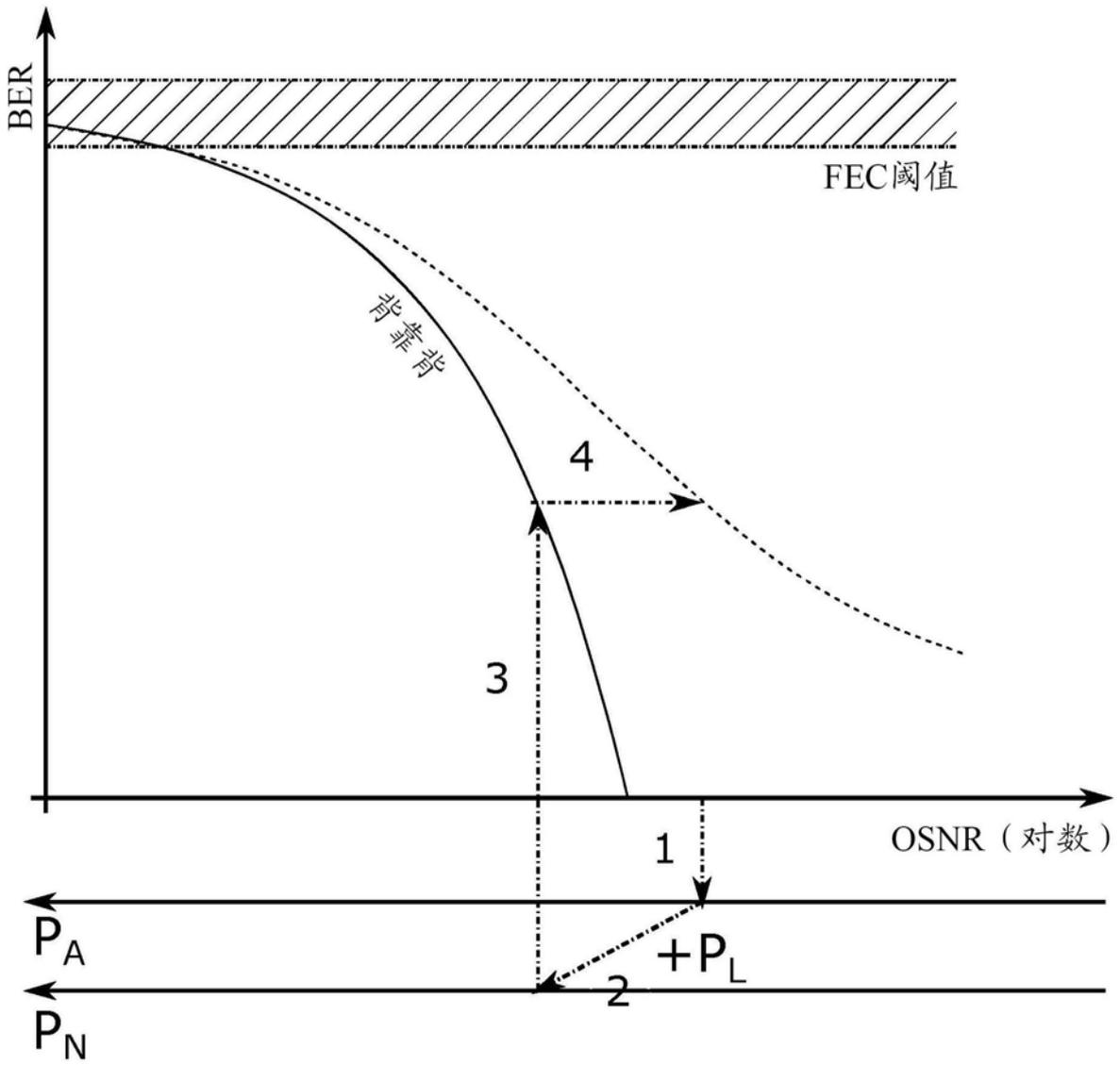


图6