

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04J 14/02 (2006.01)

H04B 10/18 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02120347.4

[45] 授权公告日 2009 年 6 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 100502274C

[22] 申请日 2002.5.23 [21] 申请号 02120347.4

[30] 优先权

[32] 2001.6.21 [33] US [31] 60/299,858

[32] 2001.11.21 [33] US [31] 09/990,964

[73] 专利权人 朗迅科技公司

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 安德鲁·R·克拉皮里维 刘翔

卫星 许春辉 格哈德·克雷默

阿德里安·JDe 林德 范韦恩加登

[56] 参考文献

US5581387A 1996.12.3

US5875045A 1998.9.2

US6005702A 1999.12.21

JP9270769A 1997.10.14

US5625479A 1997.4.29

CN1192091A 1998.9.2

JP9093224A 1997.4.4

审查员 于洪蕊

[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 蒋世迅

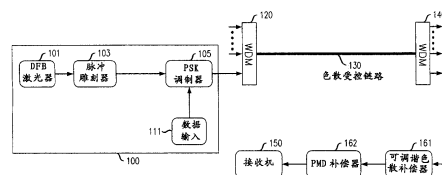
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 7 页

[54] 发明名称

色散受控光通信系统中的远程传输

[57] 摘要

相移键控 (PSK) 或差分相移键控 (DPSK) 用作高比特率下远程色散受控光传输系统中的编码方案，其中信令格式是 RZ。该系统可以在 WDM 或密集波分复用 (DWDM) 装置中组合不同波长的多个信道。利用几种技术可以提供色散受控，例如，利用色散受控孤子，准线性传输或有前置补偿和后置补偿的常规 RZ 传输。



1. 一种适合于在光通信系统的传输中使用的设备，包括：

调制器，用于按照输入数字数据流，调制归零脉冲序列内脉冲的光相位，以形成利用相移键控、四相移相键控、或差分相移相键控之一编码的光相位调制信号；和

在色散受控光传输媒体中传输该光相位调制信号的装置；

其中的色散控制，是通过对光相位调制信号施加前置色散补偿并对传输的信号施加后置色散补偿提供的。

2. 根据权利要求 1 的设备，其中所述色散受控光传输媒体，是适合于传输孤子的远程传输媒体。

3. 根据权利要求 1 的设备，其中所述设备还包括波分复用器，该波分复用器适合于把所述调制器的输出信号与有不同波长光载波的其它光相位调制信号组合。

4. 根据权利要求的设备，其中所述调制器是 LiNbO_3 相位调制器。

5. 根据权利要求 1 的设备，其中所述调制器是 LiNbO_3 Mach-Zehnder 相位调制器。

6. 根据权利要求 1 的设备，其中所述设备还包括接收机，该接收机包含延迟解调器，用于从色散受控光传输媒体接收光相位调制信号。

7. 根据权利要求 1 的设备，其中所述设备还包括接收机，该接收机包含用于从相位调制信号恢复所述输入数据的平衡接收机。

8. 根据权利要求 1 的设备，其中所述传输媒体包含铈掺杂光纤放大或喇曼放大的离散或分布式装置。

9. 一种光通信中传输的方法，包括如下步骤：

把光载波信号调制成归零脉冲序列；

按照输入数字数据流，调制所述脉冲的光相位，以形成利用相移键控、四相移相键控、或差分相移相键控之一编码的光相位调制信号；及在色散受控光传输媒体中传输所述光相位调制信号；

其中的色散控制，是通过对光相位调制信号施加前置色散补偿并对传输的信号施加后置色散补偿提供的。

色散受控光通信系统中的远程传输

技术领域

本发明一般涉及光通信，具体涉及利用相移键控（PSK）或差分相移键控（DPSK）的色散受控传输归零（RZ）脉冲的装置，该装置可用在包括波分复用（WDM）系统的高比特率（例如，10 Gbit/s 或 40 Gbit/s）远程（或超远程）光通信系统。

背景技术

高比特率（例如，40 Gbit/s）光传输系统的发展受到信道内非线性恶化的阻碍，例如，相邻重叠比特之间的信道内交叉相位调制（XPM），它主要导致定时抖动；以及信道内四波混频（FWM），它主要导致幅度起伏。利用高比特率的远程和超远程（ULH）传输，特别是在 WDM 或 DWDM 系统中组合多个信道的环境下，它是格外地困难，这是因为恶化的非线性损害和增大的放大器自发辐射（ASE）噪声，它导致脉冲从发射机通过光纤路径传播到接收机时的脉冲退化，以及各种多余的信道间效应，例如，信道间 XPM 和 FWM。

虽然人们已尝试各种技术以减小或消除噪声和光纤非线性效应，但是这些技术有不同的成功度。一些技术对于单波长信道系统证明是有用的，但是在单个光传输媒体中组合许多不同波长的 WDM 系统语境下不起作用。另一些技术是在光通信媒体中利用色散受控的各种组合以及在接收机和发射机中使用不同的编码方法。然而，至今没有任何一种解决方法在基于价格性能比的远程（或超远程）传输多个 WDM 信道的环境下证明是有效的。

发明内容

按照本发明，与常规的开关键控（OOK）比较，相移键控（PSK）或差分相移键控（DPSK）用作高比特率下远程色散受控（dispersion-managed）光传输系统中的编码方案，且信令格式是 RZ，而不是

NRZ。因此，从光强的观点考虑，每个比特时隙中总是有一个 RZ 脉冲。该系统可以在 WDM 或密集波分复用 (DWDM) 装置中组合不同波长的多个信道。利用几种技术可以提供色散受控，例如，利用色散受控孤子，准线性传输或常规的 RZ 传输。

在本发明一个实施例中，在发射机中，代表数据的电信号是差分编码的，并用于调制高比特率（例如，40 Gbit/s）RZ 光脉冲流的相位。许多这种数据流组合在波分复用器中，并经色散受控光纤跨度发射到远程接收机。在接收机中，该信号被波分去复用，且每个波长信道中的编码数据被 DPSK 接收机恢复，DPSK 接收机通常是由延迟解调器和平衡检测器构成。

在另一个实施例中，数据不是差分编码的，而是直接地用于调制 RZ 光脉冲流的相位。

在另一个实施例中，可以控制传输媒体和激光器功率，因此，脉冲传输包括孤子。

按照本发明，借助于 DPSK（或其他的 PSK 格式），通过去除强度模式关系，可以大大消除 XPM 恶化。与 OOK 比较，由于 DPSK 有较高的接收机灵敏度，特别是在使用平衡接收机的情况下，它可容许较大的 ASE 噪声，并允许以较低的光功率进行传输。这还可以降低 FWM 恶化，例如，功率下降 3 dB 导致 FWM 效应下降 6 dB。

附图说明

应当结合附图阅读以下的详细描述，可以更充分地理解本发明的内容，其中：

图 1 是按照本发明原理安排的一个实施例中高比特率（例如，40 Gbit/s）远程（或超远程）波分复用（WDM）光通信系统的方框图，该系统利用色散受控传输归零（RZ）脉冲和相移键控（PSK）技术；

图 2 是利用图 1 中系统发射的样本数据实例和该系统中各点出现的信号；

图 3 是类似于图 1 中系统的系统方框图，但是该系统利用差分相移键控技术代替相移键控技术；

图 4 是利用图 3 中系统发射的样本数据实例和该系统中各点出现的信号;

图 5 表示用于图 1 中接收机 150 的一种装置;

图 6 是系统中的色散图和累积色散实例, 其中在连接发射机到接收机的光通信媒体中采用色散受控;

图 7 是色散受控孤子传输系统中色散与距离之间关系曲线, 其中利用自相位调制补偿剩余跨度色散; 和

图 8 是 RZ 色散受控传输环境下前置补偿和后置补偿的曲线图。

具体实施方式

本申请中用到以下的缩略词:

ASE	放大器自发辐射
ASK	幅移键控
DMS	色散受控孤子
DPSK	差分相移键控
WDM	波分复用
FWM	四波混频
OOK	开关键控
PMD	偏振模色散
PSK	相移键控
QPSK	四相移相键控
SPM	自相位调制
ULH	超远程
XPM	交叉相位调制

在考虑以下的详细描述中, 还应当考虑与本发明同时申请和标题为 “Long Haul Optical Communication System” 的共同未决申请中包含的内容, 该申请代表申请者 Xiang Liu, Xing Wei 和 Chris Xu 并转让给与本发明相同的受让人, 在此引入作为参考。

现在参照图 1, 图 1 是按照本发明原理安排的一个实施例中高比特率 (例如, 40 Gbit/s) 远程 (或超远程) 波分复用 (WDM) 光通信

系统的方框图，该系统利用色散受控传输归零（RZ）脉冲和相移键控（PSK）技术。应当结合图 2 阅读图 1，图 2 是利用图 1 中系统发射的样本数据实例和该系统中各点出现的信号。

在图 1 中，标记为 100 的发射机包括：连续波（CW）分布反馈（DFB）激光器 101，其输出加到脉冲雕刻器 103，并被脉冲雕刻器 103 切割。因此，脉冲雕刻器 103 输出，如图 2 中所示的波形 2（a），是均匀幅度的归零（RZ）光脉冲流，它有典型的高比特率（例如，10 Gbit/s 或 40 Gbit/s）。此处请注意，脉冲雕刻器 103 的目的是处理连续波激光信号以产生 RZ 脉冲信号，它还可以利用其他一些元件实现此目的，例如，利用脉冲激光器代替 CW-DFB 激光器 101。或者，RZ 信号可以在以下描述的 PSK 调制器 105 内产生。

脉冲雕刻器 103 输出的 RZ 信号加到 PSK 调制器 105 的一个输入端，例如，调制器 105 可以是在其传输零点偏置的 LiNbO_3 相位调制器或 LiNbO_3 Mach-Zehnder 调制器。从发射机 100 发射到标记为 150 的远程接收机的数据，例如，可以是图 2（b）中所示 0 和 1 的序列，它是从数据输入 111 始发或可以在数据输入 111 中得到。图 2（b）中的数据对应于图 2（c）所示的电信号，该电信号加到 PSK 调制器 105 的第二个输入端。所以，从 PSK 调制器 105 输出的相位是按照输入数据变化（调制）的，产生有图 2（d）所示电场的 PSK 信号。应当注意，这个电场的特征是，电场值在每个比特间隔是以零开始并在零终止。若数据是“1”，则电场在对应比特间隔的近似中点处是正的，它代表相位为 0；否则，若数据是“0”，则电场在对应比特间隔的近似中点处是负的，它代表相位为 π 。

图 1 中 PSK 调制器 105 的输出可以代表 WDM 系统中的一个信道，该系统包括按照类似于发射机 100 安排的多个其他发射机，但是这些发射机工作在不同的波长。在 WDM 环境下，PSK 调制器 105 的输出加到波分复用器 120 的输入端，其输出耦合到标记为 130 的远程或超远程色散补偿传输媒体。该传输媒体包含放大机构以补偿光纤以及系统元件中造成的损耗。各种光放大器，可以是离散或分布的放大器，

并可以利用各种技术,例如,EDFA,喇曼放大,诸如参数放大等的相干放大,可以获得所需的放大电平。以下要更充分地描述可以利用的若干种色散补偿技术。

在传输媒体 130 的远程终端,若存在多个波长,则它们被 WDM 去复用器 140 分割,去复用器 140 把每个单独的波长加到分开的 PSK 接收机,如图所示的接收机 150,为的是恢复原始数据。如果需要,可调谐色散补偿器和偏振模色散(PMD)补偿器可以插入在去复用器 140 与接收机 150 之间,为的是分别减小不同波长信道之间非均匀剩余色散和 PMD 的效应。

现在参照图 3,图 3 是类似于图 1 所示系统的系统方框图,但是该系统利用差分相移键控技术代替相移键控技术。相同的样本数据是利用图 3 所示系统发射的,如图 4(a)所示,且图 4(b)中的电信号表示也是相同的。然而,在这个装置中,数据首先加到发射机 300 中的差分编码器 390,它安排成产生图 4(c)所示的输出。图 4(c)表示差分编码数据,其中每个跳跃(从“0”跳跃到“1”或从“1”跳跃到“0”)对应于原始数据流中的数字“0”,而每个非跳跃(一个比特与前一个比特保持相同值)对应于原始数据流中的数字“1”。然后,差分编码的信号用于调制光脉冲的相位。利用在其传输零点偏置的 LiNbO_3 相位调制器或 LiNbO_3 Mach-Zehnder 调制器可以获得这种相位调制。图 4(c)中的电波形,它对应于图 3 中差分编码器 390 的输出,加到 PSK 调制器 105 上,图 4(e)表示其输出的电场。还请注意,从调制器 105 输出的这个波形是在每个比特间隔开始处归零的 RZ 波形。差分数据的编码仅仅相对于光信号的相位,而该信号的强度分布是不变的,即,它仍然是 RZ 信号。与图 1 的装置相同,在经色散补偿媒体 130 发射到远程接收机之前,发射机 300 的输出可以加到 WDM 复用器。

图 5 所示的接收机 150 可以包括:延迟解调器 501,它有两个臂 503 和 505,其程长差对应于 1 个比特周期。PSK 信号加到这两个臂上,因此,当延迟信号与非延迟信号组合时,其输出代表该数据或倒

置数据，它取决于干涉类型。然后，解调器 501 的输出发送到平衡检测器 504，平衡检测器 504 可以包括：一对二极管 555 和差分放大器 556，而在数据输出 508 可以得到检测器 504 的输出。

按照本发明，利用各种方法可以获得光传输媒体中的色散补偿，例如，利用设计成减小非线性损害的色散受控孤子（DMS）系统，这是通过利用色散补偿自相位调制（SPM），和通过控制“脉冲呼吸”消除信道内脉冲相互作用实现的。这可以利用发射机与接收机之间的多个光纤跨度实施的，其中每个光纤跨度包括有正色散光纤与负色散光纤的相邻区。如图 6 所示，这种传输装置可以包括一系列长度相等的光纤跨度，610-1，610-2，610-3，等等，其中每个光纤跨度包括具有正色散 D_1 的第一长度区 L_1 ，和相邻的具有负色散 D_2 的第二长度区 L_2 。

图 6(a) 和 6(b) 分别表示色散受控传输媒体中安排成传输孤子的色散图和色散与距离之间关系的曲线。如图 6(b) 所示，在跨度 610-1 内从跨度的开始到第一区与第二区之间的转变点，随着沿光纤的距离增大，累积的色散线性地增大；然而，色散在第二区内是相反的，且累积的色散是线性和急剧地下降到几乎零电平。其余跨度 610-2，610-3，等等，按照相同的同方式重复地进行色散补偿。

结合本发明利用色散受控孤子是有利的，虽然在光通信媒体 130 中仍然发生不同 WDM 信道中孤子之间的冲突，但是每个 WDM 信道有相同和均匀的强度模式，因此，对于所有的孤子，其冲突是相同的。冲突的净效应是冲突到达的均匀移位。所以不会引入定时抖动。

图 7 是利用孤子和其他形式 RZ 色散受控时色散补偿光传输媒体上所经历的色散度曲线。在色散受控孤子的情况下，曲线 701 所示的有效净色散在整个媒体长度上（x 轴）大致恒定，因为 SPM 补偿剩余跨度色散。在其他形式 RZ 色散受控的情况下，曲线 702 所示的累积线性色散缓慢地变化，并被后置色散补偿 802 所补偿。

为了优化利用 RZ 色散受控技术时的系统性能，可以采用距离有关的前置补偿和后置补偿。因此，如图 8 所示，位于光传输媒体或传

输段开始部分的前置补偿器可以安排成引入第一补偿失真 801, 而位于光传输媒体或传输段结束部分的后置补偿器可以安排成引入第二补偿失真 802。所以, 基本上去除整个传输跨度或传输段上引入的失真。

在结合本发明达到色散受控目的时, 也可以利用称之为伪线性传输(有时称之为准线性传输)的另一种技术。(例如, 参阅代表 R.J.Essiambre, B.Mikkelsen, and G.Raybon 于 1999 年 8 月 12 日申请的美国专利申请序列号 09/372,486, 其标题为 "Modulation format with low sensitivity to fiber nonlinearity", 该申请转让给与本发明相同的受让人, 在此引入作为参考。)这种技术利用非常短(与比特周期比较)的脉冲, 该脉冲在沿光纤传播时非常快速地分散。利用大的前色散补偿也可以获得相同的效果。这是有利的, 因为这种脉冲有减小的路径平均峰值功率, 因此, 它与常规脉冲比较更不易受光非线性的影响。

体现本发明的实验系统中一些细节是很有用的。例如, WDM DMS DPSK 有许多光纤跨度, 且每个光纤跨度是由 100 km 的 TWRS 或 LEAF 光纤 ($D=4$ ps/km/nm) 和 DCF 制成的色散补偿模块 ($D=-104$ ps/km/nm) 构成。DCF 长度的选取是为了给出设计的路径平均色散 (D_{avg})。孤子脉冲串有 33% 占空度。信道间隔为 50 GHz。40 GHz FWHM 四级高斯滤波器用于去复用各个信道, 而 DPSK DMS 的检测方案是 1 比特延迟的差分直接检测。FWHM 为 0.7 比特率的五级贝塞耳滤波器用于后置检测。

基于我们的模拟结果, 我们验证系统的色散, 特别是在 40 Gbit/s 和以上的高比特率情况下, 以前认为要破坏 WDM 信道的恒定强度分布, 它不会明显地减小 DPSK-RZ 的优点。我们发现, 利用 DPSK-RZ 可以大大减小信道内的 XPM 效应, 而在这种系统中信道间的 XPM 和 FWM 效应开始是很小的。因此, 即使存在色散的情况下, DPSK-RZ 仍保持有效。的确, 我们的数字模拟结果说明, 在 40 Gbit/s 的情况下系统达到的范围和性能远远优于常规的 RZ 系统。

在本发明中利用 PSK 或 DPSK 编码的优点是与本领域专业人员当

前使用的常规方法相反的。例如，单个信道 PSK 系统中 ASE 和 SPM 引起相位噪声的早期研究[参阅 J.P.Gorden and L.F.Mollenauer, Optics Letters, Vol.15, p.1351, (1990)]对于 LH 和 ULH 光传输系统中的 PSK 有严格的限制，因此，劝阻使用这种编码方法作为可能实现的方案。进一步的理论研究和数字模拟常规孤子的结果说明长传输距离中的过大相位噪声和需要“在线”滤波器以控制相位噪声[参阅 M.Hanna et al., Optics Letters, Vol.24, p.732, (1999)]。在最近的实验研究中[参阅 M.Hanna, et al., Electronics Letters, Vol.37, p.644, (2001)]，获得约 1000 km 无差错传输距离的常规 DPSK 孤子，远远小于 OOK 孤子系统。然而，考虑到当前需要远程和高比特率 WDM 系统，我们首先确认远程高比特率 WDM 系统中的 RZ-DPSK 值和可行性。虽然以前曾建议用于 WDM 系统的 DPSK[参阅 M.Rohde et al., Electronics Letters, Vol.36, p.1483-1484, (2000)]，但在每个 WDM 信道中要求有恒定的强度以减小非线性恶化不可避免地导致 NRZ-DPSK，而不是 RZ-DPSK。直到现在我们才明白，恒定的强度不是必需的，以及在 LH 和 ULH 传输中 RZ-DPSK 大大优于 NRZ-DPSK，例如，减小的非线性恶化，一级 PMD 的较高容差，和较小的符号间干扰。

虽然在以上的描述中，本发明应用于高比特率系统的场境下，但是应当明白，上述的 RZ-DPSK 技术也可用于各种不同比特率的系统以及许多不同光纤类型和色散图。例如，利用标准的单模光纤也可以获得令人满意的性能。

虽然本发明的描述是根据所示的实施例，但是本领域的普通专业人员容易理解，这些实施例可以有各种变动，且这些变动都是在本发明的精神和范围内。因此，在不偏离所附权利要求书精神和范围的条件下，本领域的普通专业人员可以作出许多变动。

图1

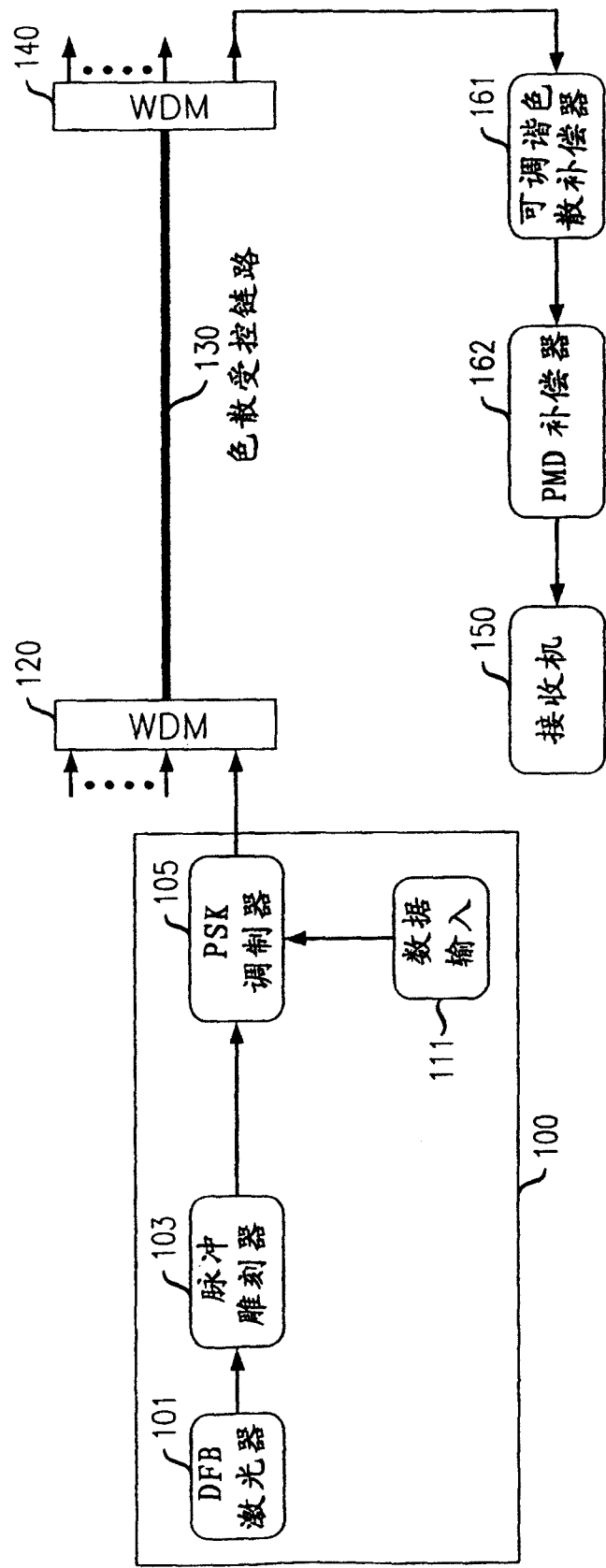


图 2a
RZ 脉冲

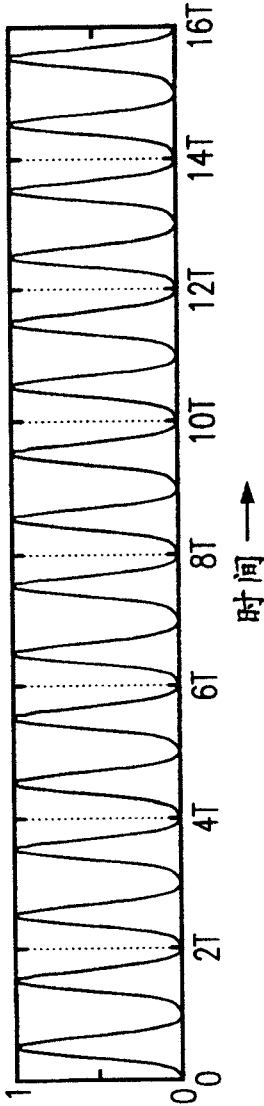


图 2b
数据

0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1

图 2c
电信号

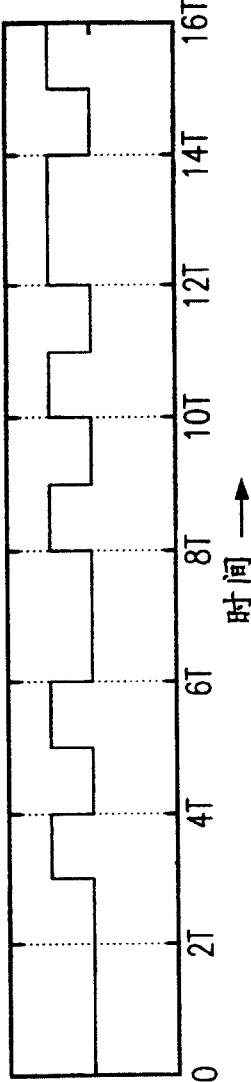
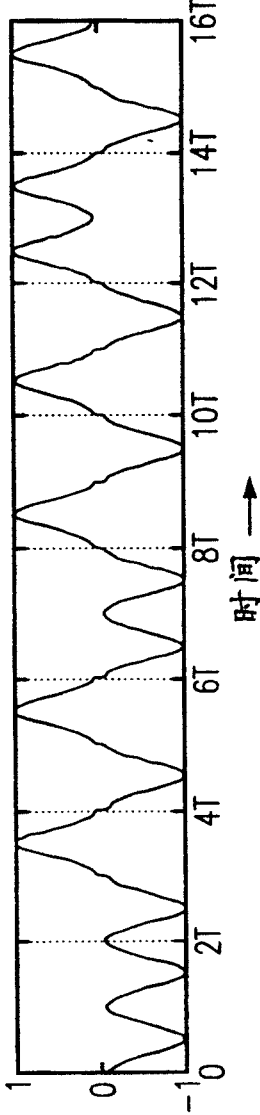
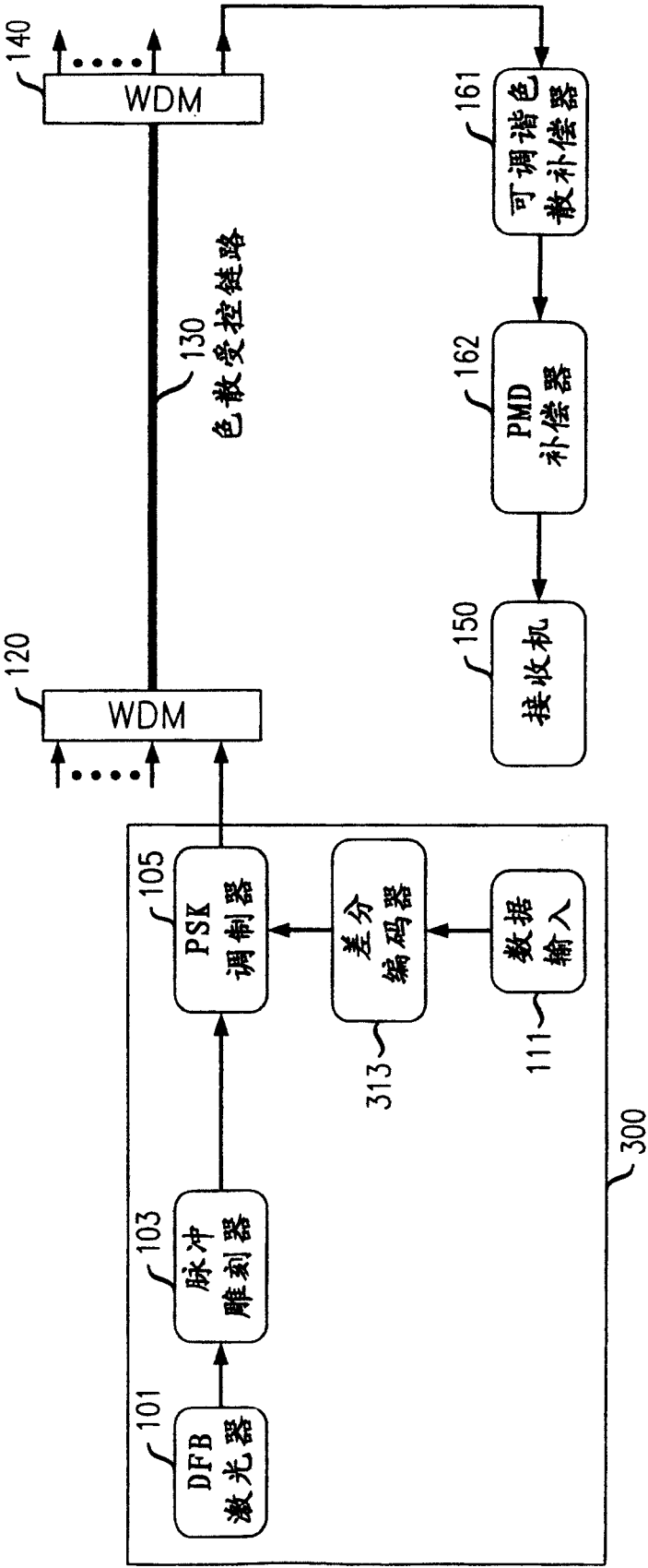


图 2d
PSK 电场



T = 比特周期

图3



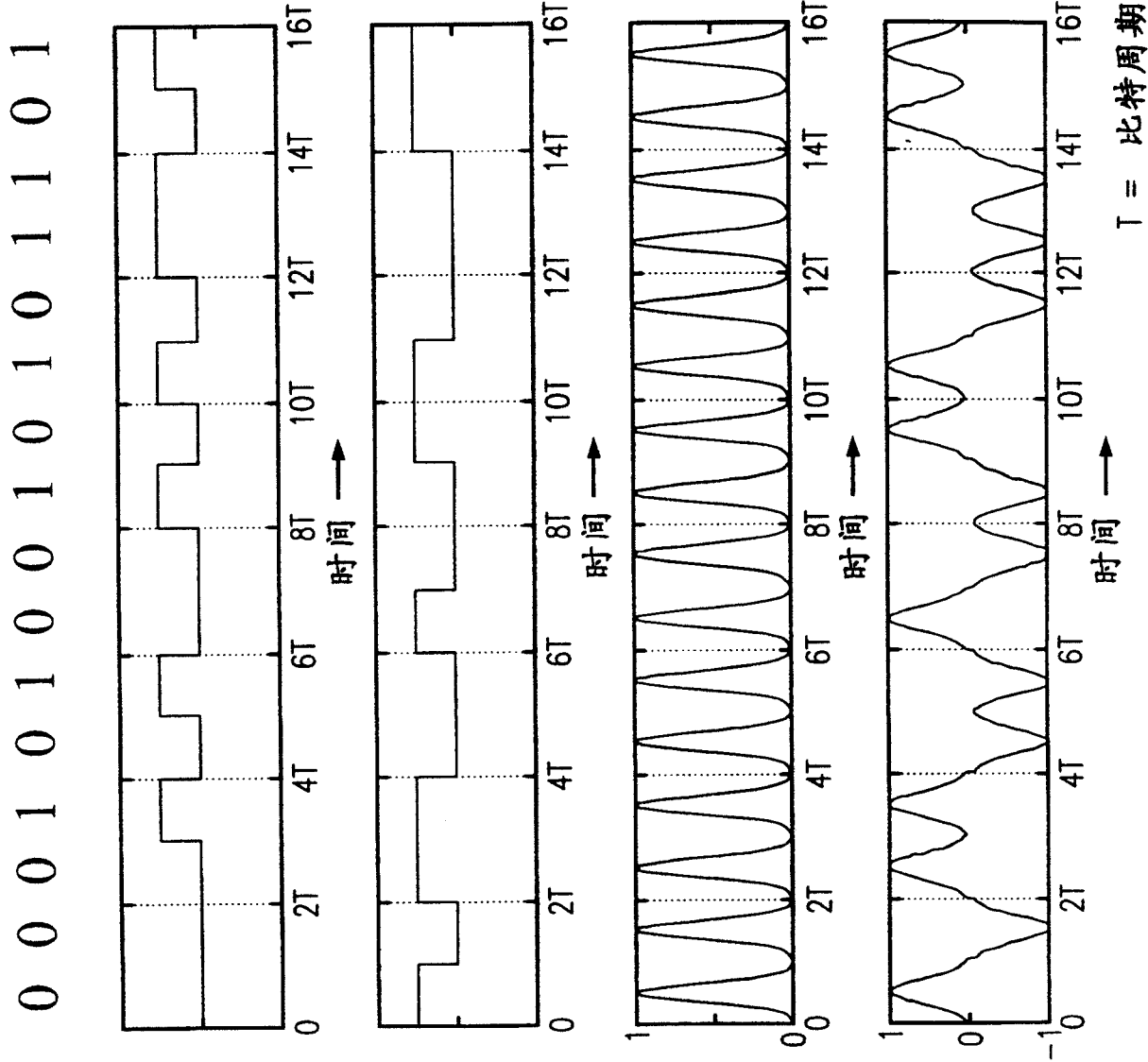
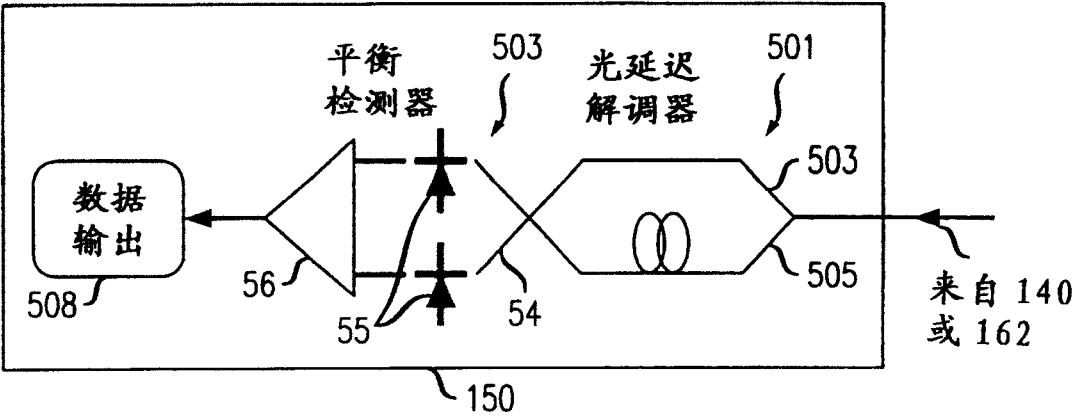


图 5



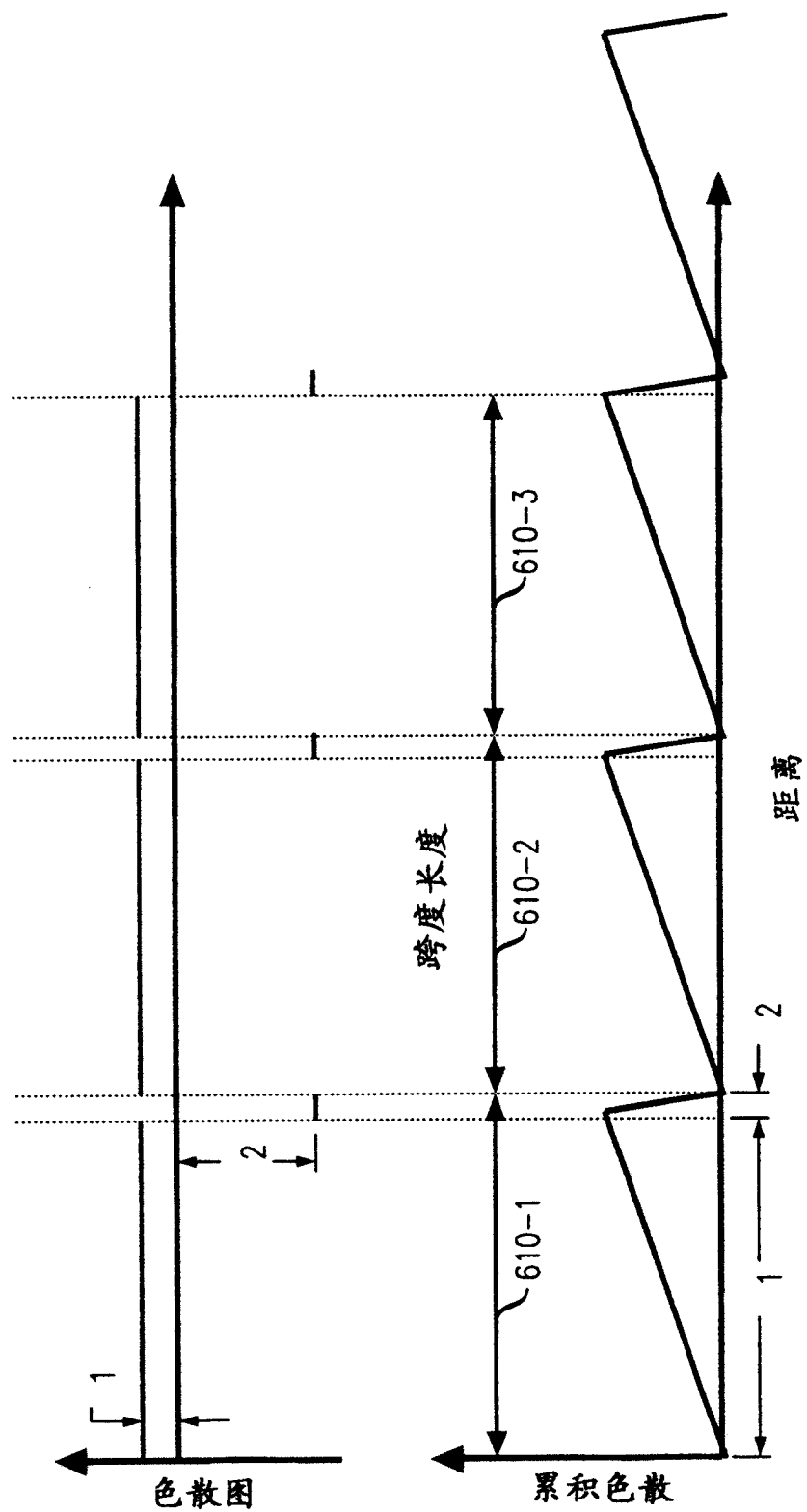


图 6a

99 图

图7
DMS系统中的色散控制

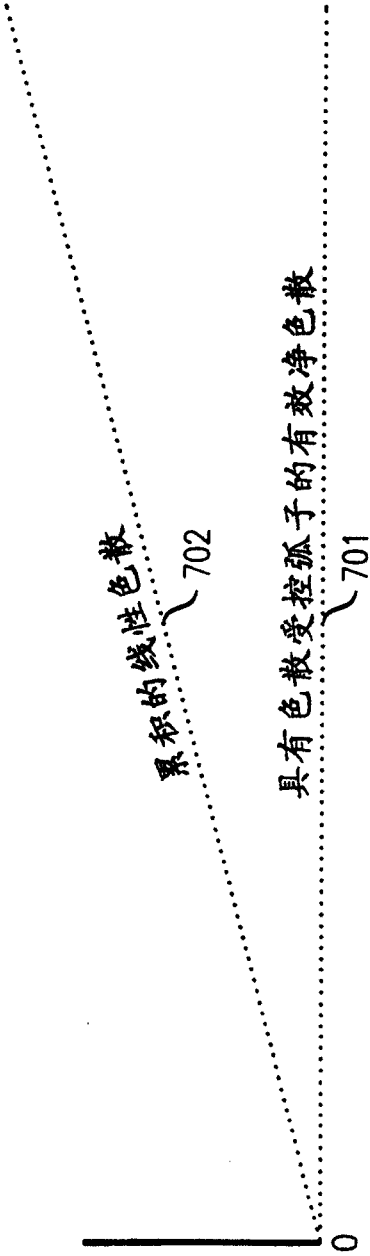


图8
RZ (非 DMS) 系统中的色散控制

