

[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 93121661.3

[51]Int.Cl⁵

H04B 10/12

[43]公开日 1994 年 11 月 2 日

[22]申请日 93.12.1

[30]优先权

[32]92.12.1 [33]US[31]984,107

[71]申请人 亚特兰大科研公司

地址 美国佐治亚州

[72]发明人 F·R·李特尔

D·E·弗赖迈耶

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 曹济洪 马铁良

H04B 10/04 H04N 7/22

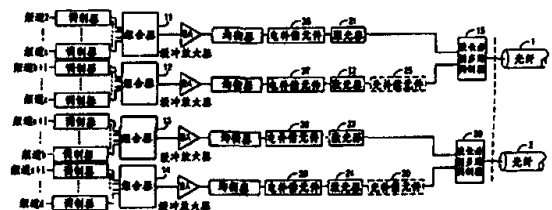
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 一种在同一光纤上传输具有不同波长的多个信息信号的光通信系统

[57]摘要

一种在具有零色散波长的光纤上提供不同波长光信号的光通信系统。色散电补偿元件对光纤中波长不同于零色散波长的光信号的失真进行独立补偿。将射频信号限制在小于一个倍频,该信号用于对波长不同于零色散波长的光发射器件或激光器的输出信号进行调制,从而允许在接收地点滤除光纤中由色散引起的二次谐波失真。该光通信系统中可以包括反向传输路径。



权利要求书

1. 一种在具有零色散波长的光纤上传输光信号的发射机节点，包括：

多个光发射机，用于发射具有不同波长的光信号；

波长分割多路调制器，用于把具有不同波长的光信号多路调制在所述光纤上；和

色散电补偿装置，用于对在所述光纤中具有波长不同于所述零色散波长的光信号的失真进行独立补偿。

2. 按权利要求 1 的发射机节点，其中所述的光发射机将射频输入信号转换成光信号。

3. 按权利要求 2 的发射机节点，其中供给光发射机的射频输入信号小于一个倍频，该发射机用于发射波长不同于零色散波长的信号。

4. 按权利要求 1 的发射机节点，其中所述的光纤包括单模光纤。

5. 按权利要求 1 的发射机节点，其中所述的单模光纤是色散漂移的单模光纤。

6. 按权利要求 1 的发射机节点，其中第一光发射机在波长 1310nm 发射信号，第二光发射机在波长 1550nm 发射信号。

7. 一种光接收机节点，用于接收在具有零色散波长的光纤上的光信号，包括：

多个光接收机，接收具有不同波长的光信号；

波长分割信号分离器，将来自所述光路的信号分离；和

色散电补偿元件，用于对在所述光纤中的具有波长不同于所述零色散波长的光信号的失真进行独立补偿。

8. 按权利要求 7 的接收机节点，其中所述的接收机将光信号转换成射频信号。

9. 按权利要求 7 的接收机节点，其中所述的光纤包括单模光纤。

10. 按权利要求 9 的接收机节点，其中所述的单模光纤是色散漂移的单模光纤。

11. 按权利要求 7 的接收机节点，其中第一光接收机接收波长为 1310nm 的信号，所述第二光接收机接收波长为 1550nm 的信号。

12. 一种光通信系统，包括：

一个具有零色散波长的光纤；

一个发射机节点，包括：

发射具有不同波长的光信号的多个光发射机；和

波长分割多路调制器，用于把不同波长的光信号多路调制在所述光纤上；和

一个接收机节点；包括：

接收具有不同波长的光信号的多个光接收器；和

波长分割信号分离器，用于把来自所述光线路的信号分离；

其中，所述发射机节点和所述接收机节点中的至少一个包括色散电补偿装置，用于对在所述光纤中的具有波长不同于零色散波长的光信号的失真进行独立补偿。

13. 按权利要求 12 的光通信系统，其中所述的色散电补偿装置只在所述的发射机节点设置。

14. 按权利要求 12 的光通信系统，其中所述的色散电补偿装置只在所述的接收机节点设置。

15. 按权利要求 12 的光通信系统，其中所述的色散电补偿装

置是在所述的发射机节点和所述的接收机节点两处设置。

16. 用于光通信系统的光节点，该系统包括一个具有零色散波长的光纤，所述光节点包括：

一个发射具有第一波长的光信号的光发射机；

一个接收具有第二波长的光信号的光接收机；

一个波长分割多路调制器，用于对在所述光纤与所述发射机之间的光信号和在所述光纤与所述接收机之间的光信号进行多路调制；

至少一个色散电补偿元件，用于对在所述光纤中发射出的或接收到的具有波长不同于所述零色散波长的光信号的失真进行补偿。

说明书

一种在同一光纤上传输具有不同波长的多个 信息信号的光通信系统

一般说来，本发明涉及一种光通信系统，更详细地说，本发明涉及一种在同一光纤上同时传输具有不同波长的多个信息信号的光纤通信系统。

近年来，通过光纤传输各种类型的信息电视信号已受到极大关注。现在，用于分布多个电视信号的大多数有线电视（CATV）系统，是把每个电视频道的视频、音频和其它信息调制在各个射频载波信号上。这些载波信号中的每个信号的典型频带宽度为 6 MHz。覆盖射频宽频带（如在 54 - 550 MHz 范围内）的许多这些信号是用许多网络分布的，而这些网络包括多根 75 欧姆同轴电缆，和多个适当的信号放大器，和多个引出抽头。

与现行的 CATV 系统使用的同轴电缆相比，光纤实质上具有更大的信息承载能力。此外，光纤的单位长度信号衰减比同轴电缆小，适合于承载射频信号。因此，光纤在信号再生器或放大器之间能比同轴电缆跨越更长的距离。此外，光纤的介电特性避免了可能由电短路或射频吸收而引起的信号中断。最终，光纤不受环境电磁干扰（“EMI”），而且它本身也不产生电磁干扰。

许多装置适用于在光纤上或其它光传输介质上传输电视信号和／

或其它类型的信息。例如，6 MHz 的基带电视信号可以转换成数字式信号。该数字式信息可用于调制通过光线路传输的光信号。这种数字化后的6 MHz 视频信号的传输要求数字数据传输速率至少为每秒4.5兆比特。高清晰度电视（“HDTV”）可能要求数字数据传输速率高达每秒145兆比特。尽管发射压缩技术可能降低这些数据速率，但是、用于将模拟电视信号转换成数字式并再将这些数字式信号转变成可以在常规电视接收机上观看的模拟式的编码器和译码器是非常昂贵的。其结果是，用光学装置进行电视信号的模拟传输有可能比这些信号的数字传输要经济得多。

一种这类模拟传输装置采用基带视频信号对射频载波进行频率调制。该调制后的射频载波依次用于调制光信号。这样的频率调制与幅度调制相比，其对噪声的敏感较小，但每个电视频道所需的频带宽度较宽。因此，在FM—基础系统中、每个光传输线路（如每根光纤）能承载的电视频道数量会受到某些限制。此外，由于标准的NTSC视频制式要求视频载波幅度调制，因此，要求无论是在电视接收机处或是光纤传输干线与同轴分布网络连接点上设置将FM信号转换成NTSC AM制式的装置。由于需要将这种FM转换成NTSC AM，这就增加了系统的价格。

正如上面所看到的，从价格和简便的观点来看，用视频基带信号幅度调制射频载波信号，再依次用调制过的信号幅度调制光信号的系统，要优于其它系统。已开发出长距离逐点传送高质量信息电视信号用AM系统。正如所看到的，这样的系统比数字式系统或FM系统价廉。而且有利于在全部系统中保持AM信号制式的。因此对于扰频和压缩技术，AM信号发送是显而易见的。

但是，有几个现象限制了光信号强度被幅度调制过的现有的光线路所能承载的射频频道的数量。这些现象中的第一个现象是，射频能量总量的限制，这些射频能量作为调幅信号在光发生装置产生各种失真之前供给激光器或其他光发生装置。该功率限制与每个射频频道的射频功率分布之和有关。因此，假若希望在单根光线路上传输 80 射频频道，所能给予这些频道中的每个频道的功率仅是在线路上只传输 40 频道所得功率的一半。每个射频载波功率上的这种限制使每个这种载波更接近系统的白噪声电平，因此，对系统的信噪比有不利影响。为了改善信噪比，减少每根光线路所承载的频道数量，就必然要增加所用激光器和光纤的数量，因此，增加了系统总体的复杂程度和造价。另一方面，企图增加供给激光器的射频功率总量以超出确定的限制，导致激光器产生几种失真，由此降低了信号质量。

根据本发明，提出一种采用射频信号幅度调制光信号强度的系统，只需几根光纤就能传输与常规系统相同数量的频道。按本发明的系统比数字式系统或 FM 系统具有更好的经济效益，并保持 AM 信号制式。

根据本发明，在单根光纤上能够传输多个具有不同波长的光信号。例如在发射地点，用第一组射频信号幅度调制输出信号波长为 1310nm 的第一光发射装置的输出强度。用第二组射频信号幅度调制输出信号波长为 1550nm 的第二光发射装置的输出强度。第一和第二光发射装置如激光器的输出信号供给像波长分割多路调制器 (Wavelength division multiplexer) 那样的光信号组合器。光信号组合器把光发射装置的输出信号组合起来，用于在单根光纤上传输。在接收地点，组合光信号被解除组合或使信号分离，并供给接收机，使光信号变回

原始的第一和第二组射频信号。这些射频信号组然后再组合成单一的宽频带射频信号。这种典型系统可以使传送光信号用的光纤数量减少二分之一。

本发明的系统设计成与在单根光纤上具有不同波长的光信号传输相关的寻址问题。例如，由于光纤通常是在零色散波长下传输具有极小色散的光信号，因此，在不是该零色散波长的其它波长下传输的光信号的质量就会变坏。色散单位是每一千米光纤每毫微米源带宽脉冲展宽的微微秒。现有的光通信系统，通常光纤最适合传输波长为1310nm的光信号，以便使色散减至最小。但是，对波长不是1310nm的光信号的传输其质量变坏。根据本发明的一个特征，用以下方法可以减小光信号恶化，即，对输出光信号波长不是零散色波长的光发射装置的调制用射频信号组限制，使在给定的光纤上的传输占据不足一个八度倍频程。简而言之，就是信号组的最高频率小于信号组最低频率的两倍。这种编组允许在接收机位置利用滤波器来消除由于色散引起的二次谐波失真。

根据本发明的另一特征，设置电的和/或光的补偿元件，用来对在同一根光纤上传输的多路信号进行独立补偿。这种补偿可以对光通信系统中引起的失真作选择性补偿。例如，对由激光器的电-光转换过程和/或由光纤线路中的任何放大器造成的失真进行选择补偿。也可以用补偿元件对未能由上述频率编组来消除的色散所引起的失真进行补偿。补偿可以在发射机处，接收机处进行，或在这两处同时进行。

根据本发明，从接收机处向发射机处的反向传输也可以在一根光纤上进行。

因此，本发明的一个目的是，提供一种 A M 光通信系统，用于传输信息电视信号，它所需的光纤量减少。

本发明的另一个目的是，提供一种 A M 光通信系统，用于传输信息电视信号，在该系统中，使光纤中传输的波长不等于零色散波长的光信号由于色散引起的谐波失真减至最小。

本发明还有的另一目的是，提供一种 A M 光通信系统，在该系统中可以选择性补偿光信号的失真。

本发明还有的另一目的是，提供一种 A M 光通信系统，它有反向传输路径，用于传输信息电视信号。

结合附图，阅读以下的详细说明，会很好地理解本发明的这些目的和其它目的、本发明的特征和优点。

图 1 是根据本发明第一个实施例构成的 C A T V 起始部分的传输部分的方框图；

图 2 是图 1 所示 C A T V 起始部分中使用的一种电补偿元件的功能框图；

图 3 是图 1 所示 C A T V 起始部分中使用的另一种电补偿元件的功能框图；

图 4 是图 1 所示 C A T V 起始部分中使用的另一种电补偿元件的功能框图；

图 5 是根据本发明第一实施例构成的 C A T V 起始部分或远程中心的接收机部分的方框图；

图 6 是图 5 所示接收机中使用的电补偿元件的功能框图；

图 7 是根据本发明第二实施例构成的 C A T V 起始部分的传输部分的方框图；

图 8 是根据本发明第二实施例构成的 C A T V 起始部分或远程中心的接收机部分的方框图。

通过下述光通信系统对本发明进行说明，该光通信系统在CATV起始地点之间或从 C A T V 起始地点向一个或多个位于该起始地点服务范围内的远程地点传输与宽频带射频信号对应的光信号。这种描述仅仅是为了解释，本发明并不受此限制。

现在参看图 1，它给出了按本发明第一实施例构成的 C A T V 起始部分的传输部分框图。在该起始部分，有许多信息频道（频道 2 至频道 d）传输给其他起始部分或传输给远程中心。在该说明例中，这些频道是在基带中占据 6MHz 带宽的电视频道。但是，将会看到，本发明可能同样等效地适合用于通过网络传输任何形式的信息。每个信息基带频道提供给 CATV 起始装置中常见的各个调制器（例如，Scientific Atlanta 6350 型）。每个调制器用于将基带频道加到调制器提供的射频载波上。在 C A T V 起始部分共用的标准插入式调制器，它能产生调制过的增益为 6MHz 的在例如 54-550MHz 范围内和更高频率的射频信号。因此，如图 1 所示，指定为频道 2 至 a 的第一组基带信号可以馈给载波频率例如在 54-174MHz 范围内的第一组调制器。指定为 a + 1 至 b 的第二组基带信号可以分别馈给载波频率例如在 174-276MHz 范围内的第二组调制器。指定为 b + 1 至 c 的第三组基带信号可以分别馈给载波频率范围例如在 276-402MHz 范围的第三组调制器，指定为 c + 1 至 d 的第四组基带信号可以分别馈给载波频率例如在 402-552MHz 范围内的第四组调制器。

在上述的说明例中，指定了四组基带信号。将会发现，本发明同样适用于规定有各种数量的信号组的系统。在图 1 所示的实施例中，

四组基带信号中的每个信号由各射频信号组合器11-14组合进各个频率范围内的宽频带信号中。从组合器11-14中输出的每个宽带射频信号可以通过相应缓冲放大器BA和均衡器，以提供等量信号用于幅度调制每个激光器21-24的输出光。图1所示系统中适用的发射机详细电路图可见申请日为1991年9月3日、申请号为07/754029的共同受让申请。

激光器21和22构成发射不同波长光信号的第一激光器对，所发射的不同波长的光信号由波长分割多路调制器(wavelength division multiplexer)15进行光学组合或多路调制，用于在单波模1310nm零色散光纤1上传输。激光器23和24构成发射不同波长光信号的第二激光器对，所发射的不同波长光信号由波长分割多路调制器20多路调制，用于在单波模1310nm零色散光纤2上传输。波长分割多路调制器15和20最好用耦合光纤型，尽管本发明不受此限制。通常优选的实施方式是，激光器21输出的光信号波长为1310nm，激光器22输出光信号波长1550nm，激光器23输出光信号波长为1310nm，激光器24输出光信号波长为1550nm，激光器21-24最好是分布反馈型激光器。可以设置一个1310nm后备激光器（未画出）和一个1550nm后备激光器（未画出），以分别后备1310nm和1550nm激光器中的一个或同时后备两个，可见申请日为1991年9月3日、申请号为07/753952、名称为“光纤通信系统中的光转换”的共同受让美国专利申请。已经注意到，尽管图1所示的系统说明了在单根纤上多路调制的不同波长的两个光信号，但本发明可以容易地实用于在单根光纤上多路调制两个以上的不同波长光信号的系统。

每个频率范围中的最佳频道数，相应于射频带宽的光信号波长，

和第一实施例系统中的激光器的激光器功率列于表 1 中。

表 1

| 带宽 | 频道数 | 波长 | 功率 |
|---------------|-----------|------------|----------|
| 5 4 - 1 7 4 | 1 4 - 1 6 | 1 3 1 0 nm | 6 或 8 mw |
| 1 7 4 - 2 7 6 | 1 7 | 1 3 1 0 nm | 6 或 8 mw |
| 2 7 6 - 4 0 2 | 2 1 | 1 5 5 0 nm | 4 或 6 mw |
| 4 0 2 - 5 5 2 | 2 5 | 1 5 5 0 nm | 4 或 6 mw |

这些数字仅仅是为了说明，发明不受此限制。

根据表 1 的实施例，组合的并提供给 1550nm 激光器 22、24 和 1310nm 激光器 23 的射频信号的频带各覆盖的范围小于一个八度倍频程。这就是说，频带中的最高信号频率小于其最低信号频率的两倍。这种编排的优点是任何二次谐波失真，如对 1500nm 光信号的色散引起的谐波失真，位于频带范围之外，因而可以在接收机处被滤除。

由于光纤 1 和 2 是 1 3 1 0 nm 的零色散波长光纤，1 3 1 0 nm 光纤信号是以最小的色散传输的，而在同一光纤上传输的 1 5 5 0 nm 光信号，其色散增大但光损耗最小。此外，1 3 1 0 nm 和 1 5 5 0 nm 信号两者均会发生其他形式的失真。这种失真的主要来源之一是本系统中的电-光传感器、激光器。光线路中的光放大器也会产生失真。

为了补偿这种失真，本发明的 C A T V 起始部分包括用于单独补偿各光信号谐波失真的电补偿元件 3 6 - 3 9。图 2 是一种电补偿元件的功能框图。元件在引线端 9 1 7 处连接到相应的均衡电路的输出端，并在引线端 9 1 9 馈入相应的激光器。该图所示的元件特别适于色散补偿。射频调制信号由定向耦合器 9 1 0 分隔进入两条路径，使信号功率大部分通过主路径传输，而只有极少部分通过失真路径传输，

主路径包括插入式电阻衰减器 9 1 2、延迟网络 9 1 4 和匹配网络 9 1 6。电阻衰减器设定主路径中射频调制信号电平，作为激光二极管所希望的调制指数。延迟网络可以是一个预先确定了长度的同轴电缆，对主路径信号进行延迟，延迟时间量与通过失真路径的 R F 调制信号传输时间实质相同。用匹配网络 9 1 6 使延迟网络 9 1 4 的输出阻抗与激光器的低输入阻抗匹配。

失真路径包括插入式电阻衰减器 9 1 8，失真发生器 9 2 0，失真信号调节网络 9 2 3，和匹配网络 9 3 2。衰减器 9 1 8 设定调制信号取样电平，致使失真路径将供给一个与光信号具有的失真实质上相同幅度的失真信号。然后，失真发生器 9 2 0 按与光传输系统使光纤系统中的光信号失真相同的方式使输入调制信号的取样失真。失真发生器 9 2 0 例如可以产生二次失真或三次失真。用调节网络 9 2 3 分别调节失真信号的相位和幅度，并将信号输入匹配网络 9 3 2。匹配网络 9 3 2 使网络 9 2 3 的输出阻抗与激光器的低输入阻抗匹配。

产生一个具有相同相位和相同幅度方向相反（异相 1 8 0 度）的失真信号，以此消除由光传输系统引起的失真，用失真信号调节网络 9 2 3 进行调节。网络 9 2 3 包括两条支路，特定的一个同相支路和一个 9 0° 相移支路。分开的两条支路由对失真发生器 9 2 0 产生的失真信号进行分隔的定向耦合器 9 2 2 馈入。失真信号的一部分通过同相支路，该支路包括反向网络 9 2 4 和幅度调节网络 9 2 8。失真信号的另一部分通过 9 0° 相移支路，该支路包括反向网络 9 2 6 和相位调节网络 9 3 0。

反向网络 9 2 4 提供对失真信号正确的判断，这样可消除传输系统中产生的失真。然后，失真信号的幅度作为频率的函数被调节。90°

相移支路与这种调节无关，并产生一个相位调节信号，相位调节信号的总幅度可用相位调节网络 9 3 0 改变。相位调节信号与来自网络 9 2 8 的幅度调节后的信号组合，以产生一个相位和幅度均调节过的失真信号输入匹配网络 9 3 2 中。反向网络 9 2 6 允许选择失真信号的正确判断，这样，相位调节可以提前或延后。

调节网络 9 2 8 和 9 3 0 包含增益随温度作函数变化的元件。为保持由这些元件产生的预定增益，设置了温度补偿电路 9 3 6。温度补偿电路 9 3 6 用温度传感器测量环境温度并由此相应调节偏压电流和温度敏感装置的工作点。

图 3 是本发明系统中可以使用的另一种电补偿元件的功能框图。图 3 所示的补偿元件特别适用于由电—光转换和/或光放大器引起的失真补偿。在该实施例中，那些执行功能与图 2 的电补偿元件相同的元件用同样的标记。图 3 的电补偿元件与图 2 的电补偿元件的主要差别是失真信号调节网络 9 2 3 的结构。特别是，幅度调节网络 9 2 8 包括双通滤波器配置，其中用高频带滤波器 936 和低频带滤波器 9 3 8 进行作为频率函数的幅度调节。馈入高频带和低频带滤波器网络 936，9 3 8 的反向网络 9 2 4 有双输出，因此，结构不同，但在功能上与图 2 的反向网络 9 2 4 相同。幅度调节网络 928 还包括均衡网络 939，用来平滑组合来自高频带滤波器 9 3 6 和低频带滤波器 9 3 8 的输出。失真信号调节网络 9 2 3 中的 90° 相移支路包括一个反向网络 926 和一个相位调节网络 9 3 0，其功能与图 2 中的那些元件相同。幅度调节网络 9 2 8 和相位调节网络 9 3 0 的输出在输入匹配网络 9 3 2 之前，在定向组合器 9 4 0 中组合。例如是用一段同轴电缆构成的延迟网络 9 4 2，使在 90° 相位支路中能看到的延迟与在同相支路中因

均衡网络 9 3 9 产生的延迟均衡。

优选的但仅是说明性的，适于用作图 2 和图 3 的元件的电路可见共同受让的待审查专利申请 No.805.251,发明名称为“预失真方法和设备”和 No.805259,发明名称为“预失真方法和设备”。

本发明系统中使用的较好的电补偿元件包括产生二次和三次失真的失真发生器。该元件将参见图 4 说明。图 4 的补偿元件包括产生二次和三次失真的失真发生器 8 2 0。失真路径包括二次失真成分用的第一失真路径和三次失真成分用的第二失真路径。这些失真路径中的每个路径中的调节网络的各个输出用定向耦合器 8 5 0 组合。来自定向耦合器 8 5 0 的补偿信号在定向补偿器 8 1 6 处与有失真的射频输入信号组合。优选的但仅是说明性的、适于用作图 4 的元件的电路可见共同受让的、待审查的专利申请 No.07/958976,发明名称为“光通信系统中减少失真的后失真电路”，申请日为 9 2 年 1 0 月 9 日。

如上所述，馈入 1 5 5 0 nm 激光器 2 2 和 2 4 的射频频带限于小于一个倍频。还注意到，供给 1 3 1 0 nm 激光器 2 3 的 1 7 4 - 2 7 6 MHz 射频频带也限制在小于一个倍频。这些频带中的每个频带的二次谐波失真可以以后在接收机处用滤波器消除。因此，补偿这些信号的补偿元件 3 7, 3 8 和 3 9, 通常只需补偿三次失真分量，图 2 和图 3 用的补偿元件可以带产生三次失真的失真发生器。但是，54 - 1 7 4 MHz 射频频带宽于一个倍频程。此外，配置在组合器 11 的输出和激光器 2 1 之间的电补偿元件 3 6 最好是对与这种频带对应的光信号的二次和三次失真分量进行补偿，可以使用图 4 中那样的补偿元件。按与系统中补偿元件的单一类型相关的生产效率的观点，每个补偿元件 3 6 - 3 9 可以是图 4 的类型。

因此，根据本发明，发射机处的“预失真”补偿用于补偿激光器的非线性。假若在光线路中有光放大器，预失真补偿可用于补偿激光器和光放大器的非线性。在具有接收地点多重性的系统中，可以为发射机与接收机之间的光纤公共段提供对色散、特别是1550nm信号进行一定程度的独立的预补偿。适当调节上述的电补偿电路或引入光补偿元件25和30可以完成这种预补偿。光补偿元件25和30用虚线方框表示，以表明它们是可选择地包括在系统中的。光补偿元件25和30例如可以是光纤，这些光纤所具有的色散分布与由激光器22和24输出的光信号在标准的光纤1和2上传输到接收机地点时所经受的色散分布相反。首先确定传输过程中得到补偿的光信号经受的色散分布，可研制出适用于补偿特定分布的光补偿光纤。通常，这种分布代表二次和三次谐波失真，已有技术中分别周知为复合二次和复合三次差频。改变光纤参数，例如材料，添加剂，芯线与外皮之间的光分配，开发出了色散分布与预定分布相反的光纤。

因此，本系统中的电补偿元件和/或光补偿元件有能力独立“预补偿”由于色散、电-光-转换过程、和或光线路中的放大造成的光纤通信系统中的光信号谐波失真。在发射机处预补偿的一种优点是，可以使用单个电的和/或光的预补偿元件，例如，补偿传输到多个远程中心的光信号。

本发明的指教可容易地适用于采用色散-漂移的单模1550nm光纤的光通信系统。在色散-漂移的光纤中，零色散波长已移到1550nm。1550nm信号可以以零色散和最小损耗在这种光纤中传输。但是，在这种光纤中传输1310nm光信号会受到色散。由于电-光转换处理和/或放大器使1310nm和1550nm光信号都再次失真。

现在参看图 5，图 5 说明了按本发明第一实施例构成的 C A T V 起始部分的接收机部分或远程中心。光纤 1 和 2 发送由图 1 的发射机部分输出的经过组合或多路调制过的 1310nm 和 1550nm 光信号。从光纤 1 和 2 来的光信号分别供给光解除组合器或波长分割多路调制器 4 5 和 4 6。波长分割多路调制器 4 5 将光纤 1 承载的多路调制过的光信号分离为来自激光器 2 2 的 1510nm 光信号，用于馈入光电探测器 5 1 和来自激光器 2 1 的 1310nm 信号，用于馈入光电探测器 50。波长分割多路调制器 4 6 将光纤 2 承载的多路调制过的光信号分离为来自激光器 2 4 的 1510nm 光信号，用于馈入光电探测器 53，和来自激光器 2 3 的 1310nm 光信号，用于馈入光电探测器 52。

分离的光信号输入各个光电探测器。光电探测器、如 P I N 光电二极管，将输入给它们的强度调制光信号转换成幅度调制的电流信号。用光电探测放大器放大光电探测器的输出。光电探测放大器可以是推挽互跨阻抗放大器或适用于 C A T V 应用的其它类型放大器。用缓冲放大器放大光电探测放大器的射频输出，放大后的信号输出给滤波器 8 0，8 1，8 2，和 8 3 中的一个。光电探测器，光电探测放大器和缓冲放大器合起来构成一个光接收器。适用于本系统的光接收机的详细内容可见共同受让的美国专利申请，No. 07/754029，申请日为 1 9 9 1 年 9 月 3 日。此外，用于接收器 7 0 - 7 3 中的一个或多个后备的后备光接收器(未画出)可见共同受让的美国专利申请 No. 07/753952，申请日为 1 9 9 1 年 9 月 3 日，发明名称为“光纤通信系统中的光转换”。

缓冲放大器的输出分别供给滤波器 8 0 - 8 3，滤波器可以是多极椭圆带通滤波器。这些滤波器被设计成对与特定信号通道有关的频

带之外的频率进行衰减，并且，也可用于从频带之间的组合中除去宽频带噪声。滤波器 80 - 83 中的每一个连接到相应的射频测试点 85 - 88。射频测试点是定向耦合器，用以耦合出相应滤波器的信号输出的一部分。射频测试点依次分别耦合到衰减器 90 - 93。这些衰减器是常规设计的。衰减器 90 和 91 连接到组合器 95，衰减器 92 和 93 连接到组合器 96。衰减器 90 - 93 是插件，被选择用以均衡馈入组合器 95 和 96 的信号幅度。每个衰减器所需要的衰减可以通过射频测试点 85 - 88 监控滤波器 80 - 83 的输出来确定。组合器 95 和 96 各自的输出供给连接到组合器 97 的滤波器 78 和 79。组合器 97 的输出连接到均衡微调电路 98，并依次馈入像 Scientific-Atlanta 6451 HE 型驱动放大器这样的混合放大器 99 中。混合放大器 99 的输出是与供给图 1 所示发射机部分的射频输入对应的宽频带射频信号。

已经注意到，如果在接收机处使用带通滤波器，就可能期望对滤波器 80 - 83 的输出进行组合，这样就可以制成单一频带。例如，滤波器 80 的输出与滤波器 82 的输出组合会产生一个 54-276MHz 的单一频带。

均衡微调电路 98 的用途是整平组合器 97 的信号输出。关于这一点，信号需要进行两类调节。首先，来自组合器的信号可以是“倾斜的”，也就是说，较高频率信号的幅度与较低频率信号的幅度之间可能存在差别，它们以线性方式变化地跨越频带。其次，在频带中的某些点，特别是在由各种光线路承载的辅助频带之间的交界处，可能有凹陷，与比其周围频道的幅度高一些或低一些的频道或频道组响应。希望平整频率响应中的凹陷和尖峰。

尽管普遍希望采用只在发射机处用电的和/或光的补偿元件的第一实施例，此外，除了在发射机处设置补偿元件之外，也希望在接收机处用电的和/或光的补偿元件单独补偿光信号，或者来代替在发射机处的补偿元件。为进行这种“后-补偿”，电补偿元件130-133可以配置在光接收器中的光电探测放大器与缓冲放大器之间。另外，光补偿元件也可以配置在缓冲放大器之后。电补偿元件130-133可以是幅度和相位调节的信号发生电路，使各个光信号的传输中产生的失真被消除。

图6是在接收机处适用的电补偿元件的方框图。馈至电补偿元件的射频输入是来自图5的光电探测放大器的输出。定向耦合器810将带失真的射频信号分成两条路径，输出的大部分连接到第一主路径中的插入式衰减器812，少部分输出连接到第二补偿路径中的插入式衰减器815。主路径包括插入式衰减器812和延迟网络814。延迟网络814可以是同轴传输线，分布延迟线或其它适合的延迟网络，给主路径信号延迟基本上等于信号通过后失真路径的时间。

失真路径包括插入式衰减器815、失真发生器820、定向耦合器822、832和834，和失真信号调节网络823。插入式衰减器815用于设定输入失真发生器820的信号电平，使失真发生器的输出相对于所需失真的幅度、较高次失真的抑制和宽频带射频信号的抑制而优化。带失真的宽频带射频信号从插入式衰减器815通入失真发生器820。失真发生器820的作用是产生互相调制失真，主要是二次或三次失真，而主要抑制宽频带射频信号。失真发生器820的输出供给调节网络823，用以调节失真信号的相位和幅度。特别是，定向耦合器822将失真发生器820的输出分入两条

路径：称为 I 频道的同相路径和称为 Q 频道的 90 度相移路径。I 频道包括 I 频道可变增益网络 824，Q 频道包括微分器 826、Q 频道可变增益网络 828，和延迟器 830。调节 I 频道和 Q 频道中的信号的增益和相位，以便适当地补偿所收到的射频信号的失真。定向耦合器 832 将 I 频道和 Q 频道的输出组合成补偿信号。定向耦合器 834 提供一个用于测试的来自补偿路径的输出。来自定向耦合器 832 的补偿信号由定向耦合器 816 与主信号路径中的带失真的射频输入信号组合。适当调节 I 和 Q 频道中的增益和相位，带失真的射频输入信号与补偿信号组合，以此消除或基本上抑制射频输入信号中的失真。已注意到，电阻式匹配也可以用于组合路径。

优选的但仅是说明性的，适合于用作图 6 中的元件的电路，以及用作补偿二次和三次失真的电路，可以参见共同受让的、待审查的，申请日为 1992 年 10 月 9 日，发明名称为“减少光通信系统中失真用的后失真电路”，美国申请号为 07/958.976 的美国专利申请。

因此，在图 5 的接收机装置中设置电补偿元件可以对光信号独立“后补偿”。如上所述，在优选的实施例中、设置了相应于 1550nm 光信号和 1310nm 光信号之一的射频频带，使得可以用滤波器 81-83 滤除二次失真。因此，可以用电补偿元件 131-133 对相应信号进行三次失真分量的补偿。可用补偿元件 130 对二次失真和三次失真分量两者提供补偿。

已注意到，由于色散的大小取决于光纤长度，因此在远程中心处的后补偿特别有利，这种远程中心用不同长度的光线路与单个 C A T V 起始部分连接。在这些系统中，后补偿允许对特定色散分布和/或光信号传输到相应的远程中心所受到的电-光转换失真进行补偿。因此，

根据本发明，在接收机处的后补偿可以代替在发射机处进行的预补偿或对其补充。为了对色散、特别是对1550nm信号进行补偿，可以设置光补偿元件125和130。光补偿元件125和130可以是例如光纤，这种光纤的色散分布与由激光器2和4输出的光信号在标准单模1310nm光纤1和2上传输到接受部分所受到的色散分布相反。改变光纤参量，例如材料，添加剂，芯线与包皮之间的光分配，开发出了具有与预定色散分布相反的色散分布光纤。

将会理解到，图1至6所示的整个光通信系统中，根据特定系统的需要或要求，可以采用各种技术，对由于色散和/或电-光转换引起的失真分量进行补偿和/或滤除。第一实施例的指教说明了这些技术在传输信息电视信号用的AM光纤系统中是如何有效使用的。这种系统的AM传输不要求信号转换，由此减少了系统组件的数量。重要的是，本发明的系统实现了采用比用波长分割多路调制器的常规AM系统少的光纤传送信号，这就使得能通过每根光纤至少传送两个信号，而不只是一个信号。采用这里公开的色散和失真补偿技术，可使得在不同于光纤的色散波长的波长下传输光信号无损坏。这些技术使长远程多路AM光纤通信系统变成可实用的。对根据本发明第一实施例的说明举例如下，但仅仅是为了便于说明：

| <u>距离 (Km)</u> | <u>估计的损耗预算 (dB)</u> | | <u>CNR</u> |
|----------------|---------------------|---------------|----------------|
| | <u>1310nm</u> | <u>1550nm</u> | <u>550 MHz</u> |
| 20 | 9 | 7 | 56.5 |
| 30 | 12.75 | 9.75 | 54 |
| 40 | 16.5 | 12.50 | 51.5 |
| 50 | 20.25 | 15.25 | 48 |
| <u>失真</u> | | | |
| CTB | | | 70 |
| CSO | | | 70 |

现在参看图 7，图 7 示出的是根据本发明第二实施例构成的 CATV 起始部分的传输部分。第二实施例与图 1 中的 CATV 相似，但它包括传输射频信号附加频带用的激光器，还包括反向传输路径。在图 7 的 CATV 起始部分，有许多信息通道（频道 2 至频道 g）用于传送到其它起始部分或一个或多个远程中心。这些通道是电视频道，它们在基带上占的带宽为 6 MHz。信息基带频道中的每个频道提供给每个调制器，每个调制器用来把基带频道加到由调制器供给的射频载波上。如图 7 所示，指定为频道 2 至 a 的第一组基带信号可以馈入载波频率范围例如在 54 - 150 MHz 的第一组调制器。指定为 a+1 至 b 的第二组基带信号可以分别馈入载波频率例如在 150 - 222 MHz 范围内的第二组调制器。指定为 b+1 至 c 的第三组基带信号可以分别馈入载波频率例如在 222 - 276 MHz 范围内的第三组调制器。指定为 c+1 至 d 的第四组基带信号可以分别馈入载波频率例如 276-330MHz 范围内的第四组调制器。指定为 d+1 至 e 的第五组基带信号可以分别馈入载波频率例如在 330 - 402 MHz 范围内的第五组调制器。指定为

e+1至f的第六组基带信号可以分别馈入载波频率例如在402-474MHz范围内的第六组调制器。最后，指定为f+1至g的第七组基带信号可以分别馈入载波频率例如在474-552MHz范围内的第七组调制器。

图7的实施例中，七组基带信号中的每一个由相应的射频信号组合器301-307在相应的频率范围内组合进宽频带信号中。由组合器300-307输出的每个宽频带射频信号可以通过相应的缓冲放大器BA和均衡器，用以提供均衡信号，对相应激光器311-317的光输出进行幅度调制。

激光器311和312构成第一激光器对，它发射的不同波长的光信号由波长分割多路调制器321进行光组合或多路调制，用于在单模1310nm零色散光纤401上传输。激光器313和314构成第二激光器对，它发射的不同波长的光信号由波长分割多路调制器322进行多路调制，用在单模1310nm光纤402上传输。激光器315和316构成第三激光器对，它发射的不同波长的光信号由波长分割多路调制器323进行多路调制，用在单模1310nm光纤403上传输。激光器317发射第一波长光信号，供给波长分割多路调制器324，在1310nm光纤404上传输。如下面将要详细说明的，波长分割多路调制器324还接收自一个或多个远程地点传输来的反向路径光信号，并将这些反向路径光信号供给光电探测器520。波长分割多路调制器321-324最好是耦合-光纤型，尽管本发明不局限于此。应该注意到，由于有正向和反向路径光信号，波长分割多路调制器324可能要求比其它波长分割多路调制器高的隔离值和较低的串扰值。在流行的优选的实施中，激光器311在1310nm输出光信号；激光器312在1550nm输出光信号；激光器313在1310nm输

出光信号；激光器 3 1 4 在 1 5 5 0 nm 输出光信号；激光器 3 1 5 在 1 3 1 0 nm 输出光信号；激光器 3 1 6 在 1 5 5 0 nm 输出光信号；激光器 3 1 7 在 1 5 5 0 nm 输出光信号；激光器 3 1 1 - 3 1 7 最好是分布-反馈型激光器。可以设置 1 3 1 0 nm 后备激光器（未画出）和 1 5 5 0 nm 后备激光器（未画出），分别作为 1 3 1 0 nm 和 1 5 5 0 nm 激光器中的一个或多个的后备，可参见共同受让的、美国专利申请 No.07/753, 952，申请日为 1 9 9 1 年 9 月 3 日，发明名称为“光纤通信系统中的光转换”应该注意到，图 4 所示系统是在单根光纤上多路调制了两个不同波长的光信号，本发明也可以应用于在单根光纤上发射多路调制的两个以上的不同波长光信号的系统。

第二实施例系统中，每个频率范围内的最佳频道数，与射频带宽对应的光信号波长和激光器的激光功率列于表 2 中。

表 2

| 带宽 | 频道数 | 波长 | 功率 |
|---------|-------|------|-------|
| 54-150 | 10-12 | 1310 | 6或8mw |
| 150-222 | 12 | 1310 | 6或8mw |
| 222-276 | 9 | 1310 | 6或8mw |
| 276-330 | 9 | 1550 | 4或6mw |
| 330-402 | 12 | 1550 | 4或6mw |
| 402-474 | 12 | 1550 | 4或6mw |
| 474-552 | 12 | 1550 | 4或6mw |

应该注意，这些数值主要是为了说明，本发明并不受限于此。

根据表 2 的实施例，射频信号的频带是组合过的，并提供给 1550nm 激光器，每个频带覆盖不足一个倍频程。也就是说，频带中的最高信

号频率小于频带中最小信号频率的两倍。这种配置是最优越性的，因为，任何二次谐波失真、特别是由色散引起的那些谐波失真是位于频带的频率范围之外，因此，可以在接收机处用滤波器滤除。还应注意，射频信号的频带是组合的，并供给1310nm激光器、除54-150MHz频带之外、每个频带覆盖不足一个倍频程。用这种配置，可以在接收机处再次滤除二次谐波失真。

由于光纤401-404 是1310nm零色散波长光纤，1550nm光信号将会受到色散引起的失真。此外，由于电-光转换过程和/或光线路中的放大器会引起1310nm和1550nm两种光信号的失真。

为补偿这种失真，本发明的第二实施例C A T V起始部分将由电补偿元件371-377对光信号的谐波失真进行独立补偿。电补偿元件371-377可以是幅度和相位都调制过的信号发生电路，以消除光信号在传输中产生的失真。图7所示系统适用的电补偿元件已在以上的图2至4中讨论过了。

前面已经说明，馈给1550nm激光器312，314，316和317的射频信号的射频频带，和馈给1310nm激光器313和315的射频信号的射频频带小于一个倍频程。因此、这些频带中每个频带的二次谐波失真都可以在接收机处被滤除。但是，这种滤除不能消除由这些信号产生的三次失真其分量。对信号提供补偿的补偿元件372-377通常只需补偿三次失真分量，图2或图3中那样的补偿元件可以与产生三次失真的失真发生器共用。然而，54-150MHz 射频频带宽于一个倍频程，因此，补偿元件371最好对与该频带对应的光信号的二次和三次失真分量进行补偿。从一定的生产效益来看，补偿元件371-377中的每一个可以是图4中说明的类型。

因此，根据本发明，在发射机处的“预失真”补偿用于补偿激光器的非线性。假若在光线路中有光放大器，预失真补偿可以用于补偿激光器和光放大器的非线性。在具有多重接收位置的系统中，对色散特别是对1550nm信号的独立预补偿的一定量可以供给发射机与接收机之间的光纤公共段。采用适当调节上述电补偿电路或加入光补偿元件325-328可以完成这种补偿。光补偿元件325-328用虚线框包围、以表明它们是可选择地包括在系统中的。光补偿元件325-328例如可以是光纤，它们的色散分布与从激光器372、374、376和377输出的光信号在标准光纤401-404上传输至接收处时所经受的色散分布相反。

因此，本系统中的电补偿元件和/或光补偿元件具有对光纤通信系统中由于色散、电-光转换处理，或光线路中放大器引起的光信号谐波失真提供独立预补偿的能力。在发射地点预补偿的一种优点是，可以使用单个电预补偿元件和/或单个光预补偿元件，例如，对光信号传输到多处远程中心进行补偿。

现在参看图8，图8示出了根据本发明的第二实施例构成的CATV起始部分或远程中心的接收机部分。光纤401，402和403发送由图7的发射机部分输出的组合的或多路调制的1310nm和1550nm光信号。光纤404发送由激光器317输出的1550nm光信号。来自光纤401-404的光信号分别供给光解除组合器或波长分割多路调制器411-414。波长分割多路调制器411对由光纤401承载的多路光信号进行分离，分成来自激光器312的1550nm光信号，并馈入光电探测器422，和来自激光器311的1310nm信号，并馈入光电探测器421。波长分割多路调制器412对由光纤402承载的多

路光信号进行分离，分成来自激光器 3 1 4 的 1 5 1 0 nm 光信号，并馈入电探测器 4 2 4，和来自激光器 3 1 3 的 1 3 1 0 nm 光信号，并馈入光电探测器 4 2 3。波长分割多路调制器 4 1 3 对由光纤 4 0 3 承载的多路光信号进行分离，分成来自激光器 3 1 6 的 1 5 1 0 nm 光信号并馈入光电探测器 4 2 6，和来自激光器 3 1 5 的 1 3 1 0 nm 光信号并馈入光电探测器 4 2 5。波长分割多路调制器 4 1 4 接收来自激光器 3 1 7 的 1 5 5 0 nm 光信号并将该信号输出给光电探测器 4 2 7。由于存在正向和反向路径光信号，因此，波长分割多路调制器 4 1 4 可能需要比波长分割多路调制器 4 1 1 - 4 1 3 要高的隔离值和较低的串扰值。

分离的双通路光信号供给各个光电探测器。光电探测器，如 PIN 光电二极管，将输入给它们的强度调制光信号转换成幅度调制的电流信号。光电探测器的输出用光电探测放大器放大，光电探测放大器可以是推挽互跨阻抗放大器，或适用于 C A T V 的其它类型放大器。光电探测放大器的射频输出用缓冲放大器放大，以便输给滤波器 4 8 1 - 4 8 7 中的一个。光电探测器，光电探测放大器，和缓冲放大器一起构成光接收器。本发明系统适用的光接收器的详细内容可以参见共同受让的美国专利申请 No. 07/754029，申请日为 1 9 9 1 年 9 月 3 日。此外，也可设置作为一个或多个接收器后备用的后备光接收机(未画出)，可见共同受让的美国专利申请 No. 07/753952，申请日为 1 9 9 1 年 9 月 3 日，发明名称为“光纤通信系统中的光转换”。缓冲放大器的输出分别供给滤波器 4 8 1 - 4 8 7，这些滤波器可以是多极椭圆带通滤波器。这些滤波器被设计成对与特定信号路径有关的频带之外的频率进行衰减，并能用于除去频带间组合产生的宽频带噪声。滤波器 4 8 1 - 4 8 7

中的每一个连接到相应的射频测试点491-497。射频测试点是定向耦合器，用于把相应的滤波器输出的信号的一部分耦合出来。射频测试点依次分别与衰减器501-507 耦合,衰减器是常规设计的。衰减器501和502 连接到组合器511；衰减器503和504 连接到组合器512；衰减器505和506连接到组合器513。组合器511和512 的输出通过相应的滤波器561和562馈入组合器514，组合器513的输出通过滤波器563 和衰减器507供给组合器515。组合器514和515的输出通过相应的滤波器564和565供给组合器516。衰减器501-507 是插件，选择这些插件来均衡馈入组合器的信号幅度。每个衰减器所要求的衰减由通过射频测试点491-497 监测滤波器481-487 的输出来决定。组合器516 的输出连接到均衡微调电路598，它依次馈入像Scientific-Atlanta 6451型HE/驱动放大器那样的混合放大器599中。混合放大器599的输出是一个与供给图4所示发射机部分的射频输入对应的宽频带射频信号。

尽管普遍喜欢采用只在发射机地点采用电和/或光补偿元件的第二实施例，但有可能在接收机处再用电和/或光补偿元件对光信号单独补偿，或代替在发射机处的补偿元件。为进行这种“后补偿”，电补偿元件571-577 可以配置在光电探测放大器与缓冲放大器之间。此外，补偿元件也可以配置在缓冲放大器之后。电补偿元件571-577 可以是幅度和相位均调节的信号发生电路，以消除光信号传输中产生的失真，正如结合图6所作的上述说明，并可参见共同受让的美国申请No.07/958976，申请日为92年10月9日，发明名称为“光通信系统中用于降低失真的后失真电路”。

因此，在图8的接收机装置中用电补偿元件可以对光信号单独“后补偿”。如上所述，在推荐的实施例中，安排了相应于1550nm及全

部且一个1310nm的光信号射频频带，这样，可以在接收机处用滤波器481-487 滤除二次失真。因此，可以用补偿元件572-577 对相应的信号的三次失真分量进行补偿。补偿元件571 可用来对二次和三次失真分量均进行补偿。

应该注意到，由于色散的大小取决于光纤长度，因此，后补偿对用不同长度光线路与单个C A T V 起始部分连接的远程中心特别有利。在这些系统中，后补偿允许对特定的色散分布和/或光信号传输到相应的远程中心所经受的电-光转换失真进行补偿。

因此，根据本发明，可以用在接收机处的后补偿代替或补充接收机的预补偿。为补偿色散，特别是对1550nm光信号补偿，可以设置光补偿元件581-584 。光补偿元件581-584 例如可以是光纤，该光纤的色散分布与1550nm光信号在标准单模1310nm光纤401-404 上传输到接收机地点所经受的色散分布相反。改变光纤参数，例如材料、添加剂、和芯线与外包皮之间光的分配，可以开发出色散分布与预定的色散分布相反的光纤。

图7和图8和系统包括由接收机地点到发射机地点的反向传输路径。典型的，在同轴C A T V 系统中，电视信号是在54-550MHz 频带内从起始部分传输到接收机地点的。在具有能将传输信号从接收机地点返回到起始部分的系统中，返向信号通常载于5-30MHz 的频带范围内。该频带包括频道T7(5.75-11.75MHz)、 频道T8(11.75-17.75MHz)、 频道T9(17.75-23.75MHz)、和频道T10(23.75-29.75MHz)。这些反向路径频道中每个均具有电视信号带宽。

本发明具有在至少一根光纤上传输反向路径信号的能力。混合放大器的输出将54-550MHz 宽频带信号馈入天线共用器(diplexer)673

的 A 入口。该信号在天线共用器的 B 出口退出天线共用器，并由此通入射频输出。要注意的是，5-30MHz 频带中的反向信号从射频输出进入交点，在天线共用器 B 入口进入天线共用器 673。该信号在天线共用器 C 出口退出天线共用器，并供给反向激光器 774。该调制信号是通过光纤 404 在反向路径上传输的，激光器 774 的输出光信号具有的波长最好为 1310nm。

由光纤 404 承载的来自激光器 774 的光信号在图 7 所示的 CATV 起始部分馈入波长分割多路调制器 324。波长分割多路调制器 324 给光电探测器 520 提供信号，该光电探测器将收到的光信号转换成 5-30MHz 的原始频带中的射频信号。

反向传输用电补偿元件可以对在激光器、接收器、和 / 或在光线路中的任何放大器处由于电 - 光转换而产生的谐波失真提供补偿。假若需要，可以在发射机地点或接收机地点，或在发射和接收机两处用补偿元件对在激光器、接收机和 / 或光线路中任何放大器处由于电 - 光转换处理引起的 1310nm 光信号的谐波失真进行补偿。

第二实施例系统保持了第一实施例的优点，另外还具有光信号反向传输的能力。根据本发明第二实施例的说明举例如下，但这仅仅是为便于说明：

| <u>距离 (Km)</u> | <u>估计的损耗预算 (dB)</u> | | <u>CNR</u> |
|----------------|---------------------|---------------|---------------|
| | <u>1310nm</u> | <u>1550nm</u> | <u>550MHz</u> |
| 20 | 9 | 7 | 58.5 |
| 30 | 12.75 | 9.75 | 56 |
| 40 | 16.5 | 12.50 | 53 |
| 50 | 20.25 | 15.25 | 49.5 |
| <u>失真</u> | | | |
| CTB | | | 70 |
| CSO | | | 70 |

尽管这里对本发明的优选实施例给出了展示和说明，但是在不脱离由权利要求书所确定的本发明的精神和范围的条件下，本领域的技术人员显然可以做出各种改进。

图 7

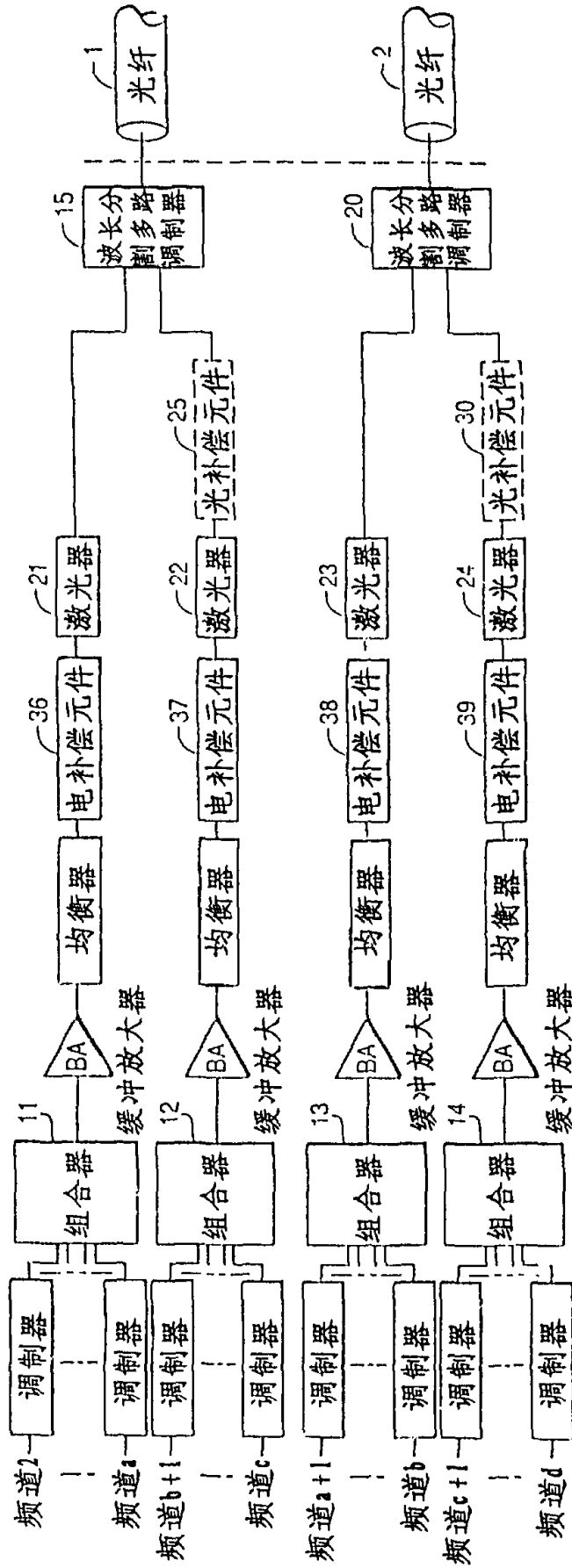


图 2

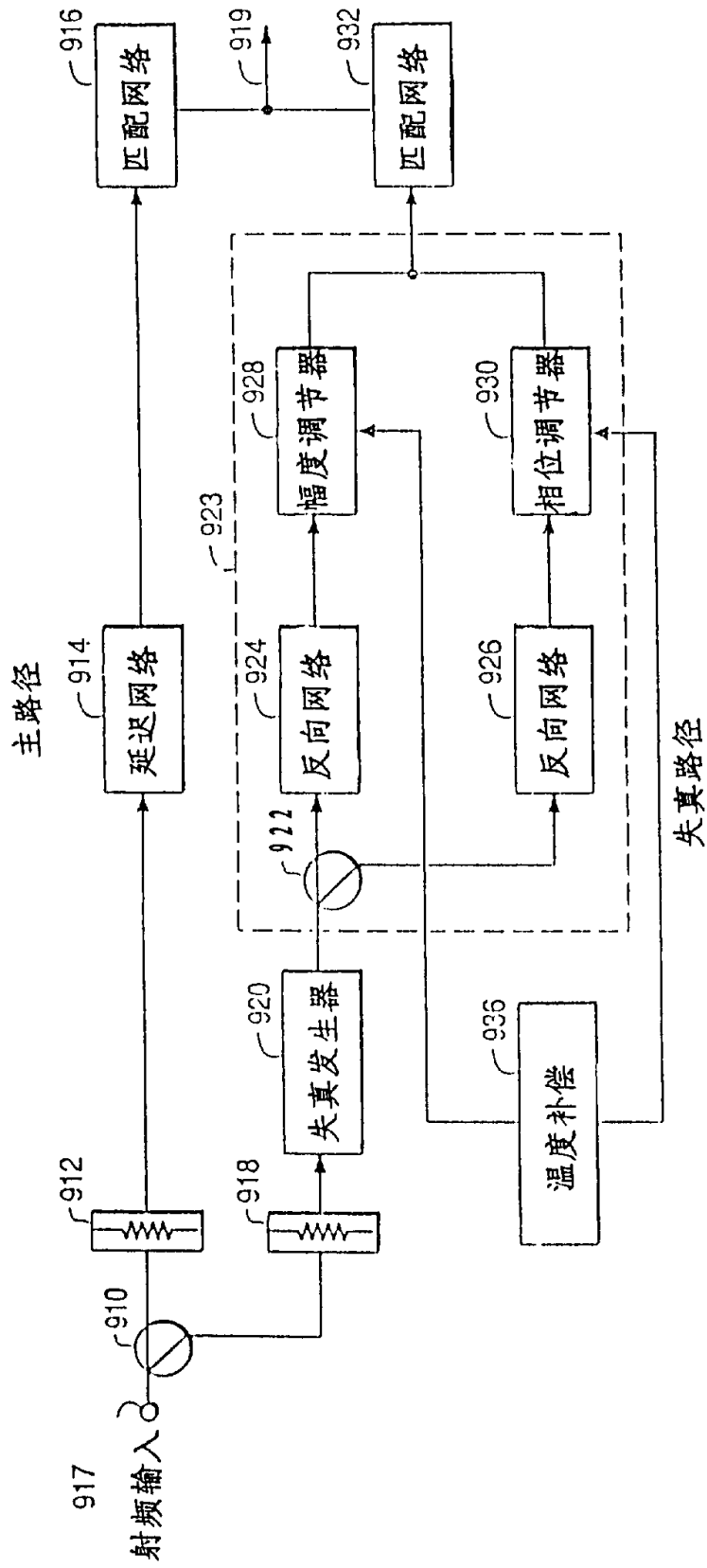


图 3

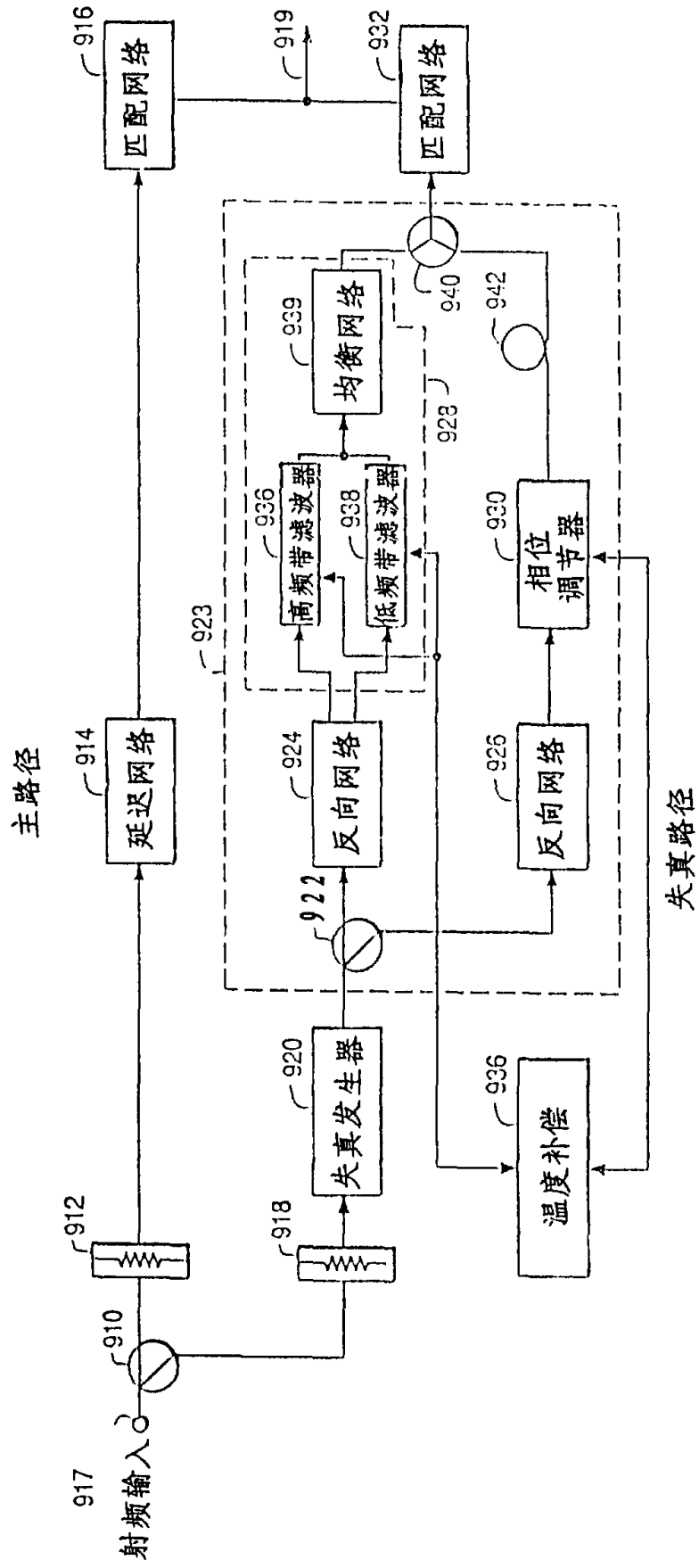


图 4

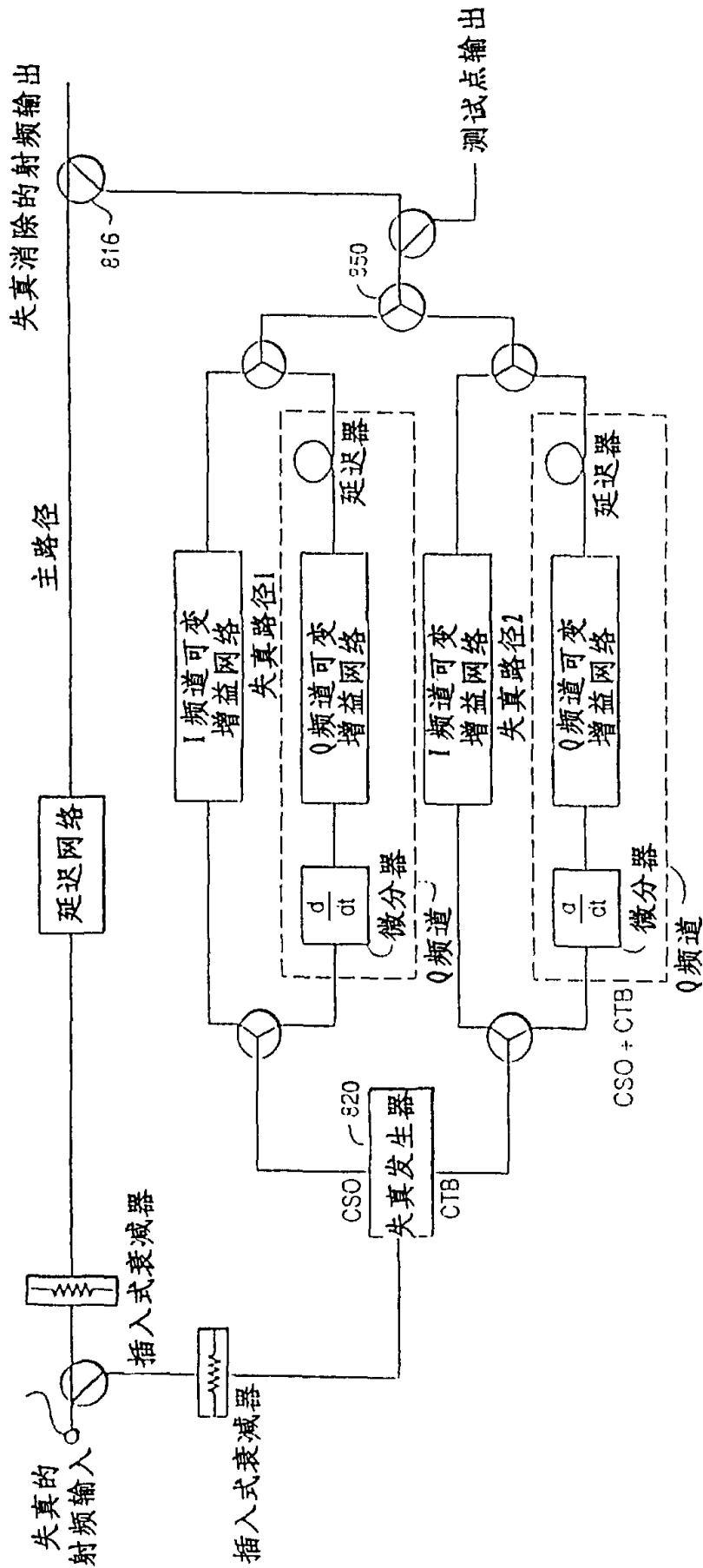


图 5

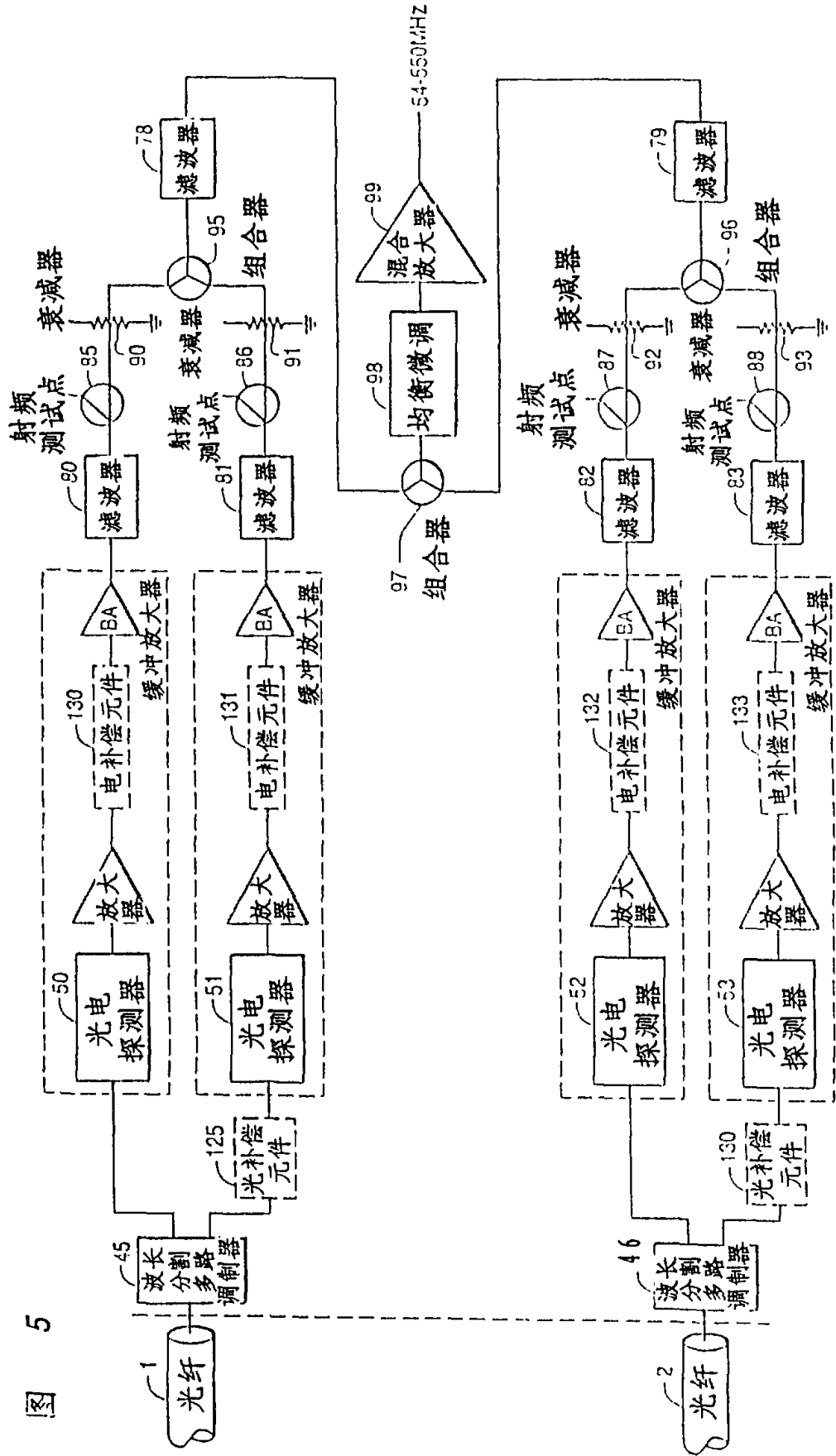
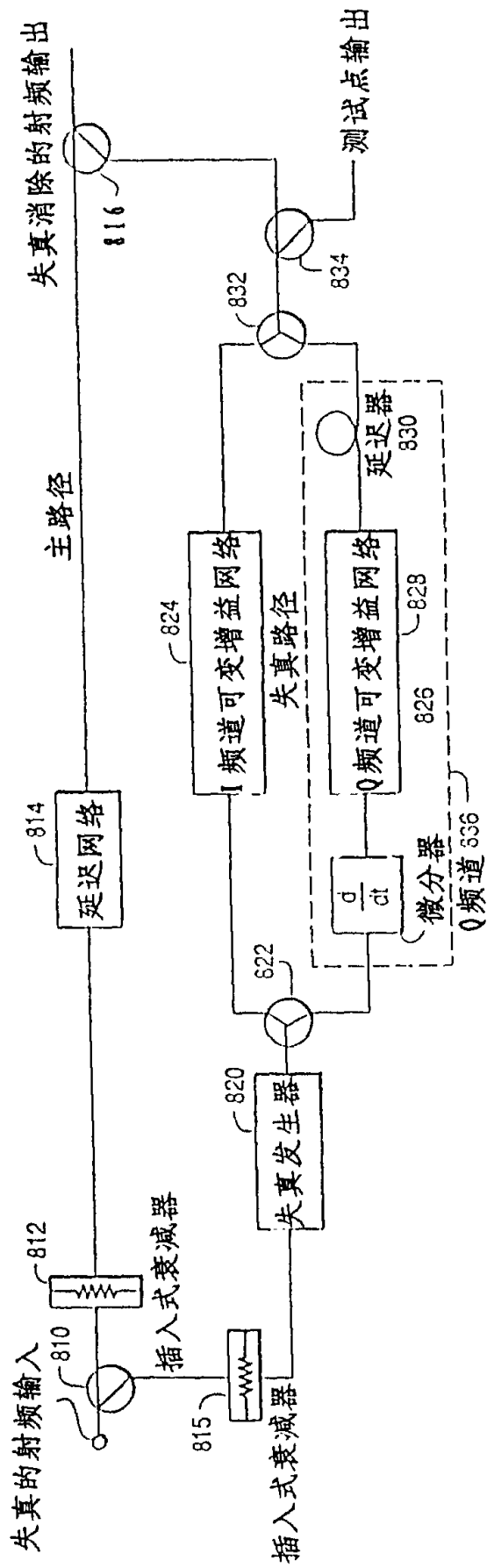


图 6



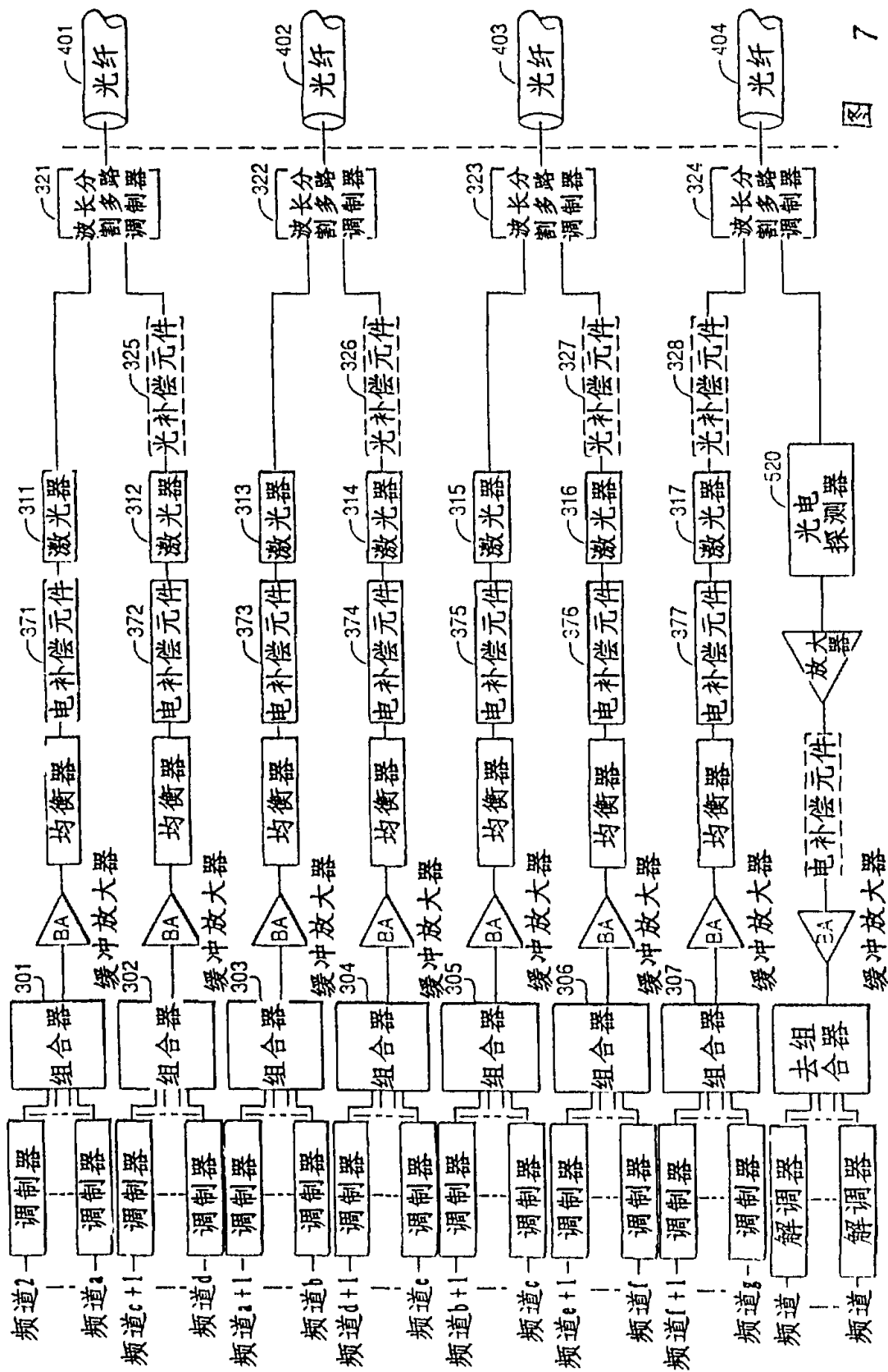


图 7

图 8A

