

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02F 1/03 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02807922.1

[45] 授权公告日 2006 年 12 月 13 日

[11] 授权公告号 CN 1289943C

[22] 申请日 2002.2.1 [21] 申请号 02807922.1

[30] 优先权

[32] 2001.2.8 [33] GB [31] 0103072.5

[86] 国际申请 PCT/GB2002/000433 2002.2.1

[87] 国际公布 WO2002/063381 英 2002.8.15

[85] 进入国家阶段日期 2003.10.8

[73] 专利权人 马科尼英国知识产权有限公司

地址 英国考文垂

[72] 发明人 P·J·里维莫雷 G·布特勒

M·利斯 D·瓦斯

审查员 谢有成

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 杨 凯 王 勇

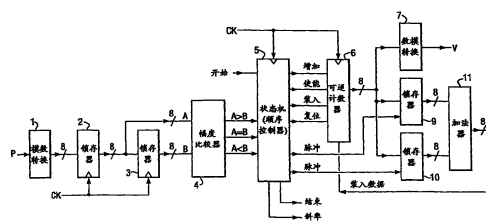
权利要求书 5 页 说明书 9 页 附图 2 页

[54] 发明名称

校准通信系统中的压控光学部件

[57] 摘要

一种用于设置例如马赫-曾德尔光调制器的具有周期性电压/光参数(光功率)特性曲线的压控光学部件的工作(控制)电压的方法和装置。该装置包括: 部件(6, 7)、可逆计数器和数模转换器, 它们可用于将施加到压控光学部件上的电压(V)设置为预定的初始值; 用于测量光参数(P)的部件; 相对于预定值顺序逐步增大和减少电压(使计数器增大/减小)的部件(5, 6)以及用于确定产生光参数的最大和最小值的相应电压值(V_{∞} 和 V_0)的部件(5, 9, 10); 其中, 部件(6, 7)可用于将电压(V)设置为最大和最小电压值的中间值 $(V_{\infty} + V_0)/2$ 。该装置还包括用于确定供光学部件序列操作期间控制循环利用的位于所述最大和最小值之间的部分周期性特性曲线斜率的含义的部件(5)。



1. 一种用于设置具有电压/光参数特性曲线的压控光学部件的工作电压的装置，所述电压/光参数特性曲线相对于在所述光参数的最大值和最小值之间的值来说为周期性的，所述装置包括：控制器（5）；电压产生装置（6，7），用于产生施加于所述压控光学部件上的控制电压；测量部件（1），用于测量所述光参数；和比较部件（4），用于比较两个连续的光参数（A，B），其中在所述控制器的控制下，
- （i）产生所述光参数的所述最大值的电压值（ V_0 ）由以下因素确定：
- 10 a) 所述电压产生装置（6，7）向所述压控光学部件施加一个预定的初始控制电压值（V）；
- b) 所述测量部件（1）测量所述光参数，以给出光参数值（A）；
- c) 由所述电压产生装置（6，7）产生的所述控制电压增加到一个新的电压值（ $V + \Delta V$ ），并且测得合成光参数以给出光参数值（B）；
- 15 d) 所述比较部件（4）用于比较所述两个连续的光参数（A，B），以确定所述光参数是否增加；
- e) 如果所述光参数增加（ $A < B$ ），则重复步骤（c）和（d），直到确定了产生所述光参数的所述最大值的电压值（ V_0 ）为止；
- f) 如果所述光参数减小（ $A > B$ ），则重复地：
- 20 a. 减小由所述电压产生装置产生的所述控制电压，并且测量所述合成光参数；和
- b. 所述比较部件用于比较所述两个连续的光参数，以确定所述光参数是否增加，
- 直到确定了产生所述光参数的所述最大值的电压值（ V_0 ）为止；
- 25 （ii）产生所述光参数的所述最小值的电压值（ V_∞ ）由以下因素确定：
- g) 所述电压产生装置（6，7）向所述压控光学部件施加一个预定的初始控制电压值（V）；
- h) 所述测量部件（1）测量所述光参数，以给出光参数值（A）；

i) 由所述电压产生装置(6, 7)产生的所述控制电压减小到一个新的电压值, 并且测得合成光参数以给出光参数值(B);

j) 所述比较部件(4)用于比较所述两个连续的光参数(A, B), 以确定所述光参数是否减小;

5 k) 如果所述光参数减小($A > B$), 则重复步骤(h)和(i), 直到确定了产生所述光参数的所述最小值的电压值(V_0)为止;

l) 如果所述光参数增加($A < B$), 则重复地:

a. 增加由所述电压产生装置产生的所述控制电压, 并且测量所述合成光参数; 和

10 b. 所述比较部件用于比较所述两个连续的光参数, 以确定所述光参数是否减小,

直到确定了产生所述光参数的所述最小值的电压值为止;

(iii) 所述控制器(5)用于从对应于所述最大和最小值(V_0, V_∞)来确定位于所述最大值和最小值之间的所述周期性特性曲线部分的斜率符号; 并且用于设置所述电压产生装置(6, 7), 以产生处于在所述
15 最大和最小电压值(V_0, V_∞)之间的所述工作电压。

2. 如权利要求1所述的装置, 其中, 将所述压控光学部件的所述工作电压设置成等于在所述最大(V_0)和最小(V_∞)电压值之间的中间点($(V_0 + V_\infty)/2$)的电压值。

20 3. 如权利要求1或2所述的装置, 还包括所述控制器(5), 以根据最大(V_0)和最小(V_∞)电压值之差($V_0 - V_\infty$)的模数来确定在所述最大(V_0)和最小(V_∞)电压值之间的电压差(V_π)。

4. 如权利要求1所述的装置, 其中, 所述电压产生装置(6, 7)包括可逆计数器(6)和数模转换器(7), 所述可逆计数器(6)的计
25 数值代表当前控制电压, 所述数模转换器(7)可将所述数字值转换为对应的模拟控制电压(V)。

5. 如权利要求4所述的装置, 其中, 由所述控制器(5)增加或者减小可逆计数器(6)的计数来增加或者减小所述控制电压(V)。

6. 如权利要求1所述的装置, 其中, 所述测量部件包括一个模数转换器, 可以将所述光参数转换成对应的数字光参数值。

7. 如权利要求6所述的装置, 还包括: 两个串连的锁存器(2, 3)连接到所述模数转换器的数字输出端, 并且可以在所述控制器(5)的控制下工作以使用时钟将所述连续数字光参数值(A, B)锁存于对应的锁存器中。

8. 如权利要求7所述的装置, 其中, 所述比较部件(4)包括幅度比较逻辑可用于比较在所述锁存器(2, 3)中的所述连续数字光参数值(A, B)。

9. 如权利要求1所述的装置, 其特征在于, 当把所述压控光学部件用于通信系统中传送通信量时, 所述装置还包括这种部件: 用于检测通信量存在与否并响应对所述通信量不存在的检测, 使所述装置设置所述压控光学部件的所述工作电压。

10. 如权利要求1或2所述的装置, 其特征在于, 所述压控光学部件是光调制器且所述光参数为光衰减或光功率。

11. 如权利要求1所述的装置, 其特征在于, 所述压控光学部件是马赫-曾德尔干涉仪。

12. 一种用于设置具有电压/光参数特性曲线的压控光学部件的工作电压的方法, 所述电压/光参数特性曲线相对于在所述光参数的最大值和最小值之间的值来说为周期性的, 所述方法包括:

(i) 通过以下步骤确定产生所述光参数的所述最大值的电压值(V_0):

a) 设定向所述压控光学部件施加一个预定的初始控制电压值(V);

b) 测量所述光参数(P)以给出光参数值(A);

c) 将所述控制电压增加到一个新的电压值($V + \Delta V$), 并且测得合成光参数以给出光参数值(B);

d) 比较两个连续的光参数(A, B), 以确定所述光参数是否增加;

e) 如果所述光参数增加($A < B$), 则重复步骤(c)和(d), 直

到确定了产生所述光参数的所述最大值的电压值 (V_0) 为止;

f) 如果所述光参数减小 ($A > B$), 则重复地:

c. 减小由所述电压产生装置产生的所述控制电压, 并且测量所述合成光参数; 和

5 d. 所述比较部件用于比较所述两个连续的光参数, 以确定所述光参数是否增加,

直到确定了产生所述光参数的所述最大值的电压值 (V_0) 为止;

(ii) 通过以下步骤确定产生所述光参数的所述最小值的电压值 (V_∞):

10 g) 设定向所述压控光学部件施加一个预定的初始控制电压值;

h) 测量所述光参数以给出光参数值 (A);

i) 将所述控制电压减小到一个新的电压值 ($V - \Delta V$), 并且测得合成光参数以给出光参数值 (B);

15 j) 比较所述两个连续的光参数 (A, B), 以确定所述光参数是否减小;

k) 如果所述光参数减小 ($A > B$), 则重复步骤 (h) 和 (i), 直到确定了产生所述光参数的所述最小值的电压值 (V_0) 为止;

l) 如果所述光参数增加 ($A < B$), 则重复地:

20 e. 增加由所述电压产生装置产生的所述控制电压, 并且测量所述合成光参数; 和

f. 所述比较部件用于比较所述两个连续的光参数, 以确定所述光参数是否减小,

直到确定了产生所述光参数的所述最小值的电压值为止; 和

25 (iii) 采用对应于所述最大和最小值 (V_0, V_∞) 来确定位于所述最大值和最小值之间的所述周期性特性曲线部分的斜率符号; 并且用于将所述压控光学部件的工作电压设置成一个在所述最大和最小电压值之间的电压值。

13. 如权利要求 12 的方法, 其中, 将所述压控光学部件的所述工

作电压设置成等于在所述最大 (V_0) 和最小 (V_∞) 电压值之间的中间点 ($(V_0 + V_\infty) / 2$) 的电压值。

14. 如权利要求 12 的方法, 还包括: 根据最大 (V_0) 和最小 (V_∞) 电压值之差 ($V_0 - V_\infty$) 的模数来确定在所述最大 (V_0) 和最小 (V_∞) 电压值之间的电压差 (V_π)。
- 5

15. 如权利要求 12 所述的方法, 其特征在于, 当所述压控光学部件用于通信系统中传送通信量时, 所述方法还包括检测通信量存在与否并响应对所述通信量不存在的检测而设置所述压控光学部件的所述工作电压。

- 10 16. 如权利要求 12 所述的方法, 其特征在于, 所述压控光学部件是光调制器且所述光参数为光衰减或光功率。

校准通信系统中的压控光学部件

5 本发明涉及一种用于设置通信系统中的压控光学部件的操作的方法和装置，特别地，虽然不排除其它，但本发明涉及例如马赫-曾德尔干涉仪（Mach-Zehnder interferometer）的光调制器，具体说，涉及用铌酸锂制造的这种干涉仪。

10 铌酸锂（ LiNbO_3 ）马赫-曾德尔干涉仪，称为 MZ 装置，是一种具有周期性光衰减/电压特性曲线的压控光衰减器。其主要用于 DWDM（密集波分复用）应用中，其中，通过远程光纤传输精确控制的光波长（通常称为波长信道）集。这种设置允许单根光纤以极高的带宽传送数字数据。当插入发射激光器的输出端处的光路径中时，MZ 装置可用于提供两种不同的功能：

- 15 i. 用于精确控制特定波长的光功率电平；
 ii. 用于采用高速数字数据来调制光信号。

 从控制的观点来看，两种功能几乎是相同的。唯一的显著区别在于，用于调制的 MZ 装置通常具有两个差分输入信号。一个传送高速数据，而另一个用于设置该装置的偏置点。本发明与上述功能 i
20 和 ii 均相关。但是，在功能 ii 的情况下，偏置方面尤其令人关注。

 图 1 显示说明 MZ 装置的工作原理的框图。光（光辐射）从光缆进入 MZ 装置，在 S 处分成两条路径。每条路径通过一半入射光功率。沿各路径传播的光经历由铌酸锂（ LiNbO_3 ）薄片引入的一段相应的延迟。通过将电场（即外部控制电压 V1 和 V2 的结果）施加
25 到 LiNbO_3 上，就可以改变延迟。沿两条路径传播（其中每条都经历一段可能的延迟）的光在馈送到输出光缆之前在 C 处混合。

 可以看出，输出幅度与输入幅度的比率随两条路径之间的延迟差变化。如果这种延迟为 τ ，而特定光波长的角频率为 ω ，则：

幅度比率 = 输出幅度/输入幅度 = $0.7071 (1 + \cos(\omega \tau))^{0.5}$

于是得到相应的功率比（即输出功率/输入功率）为升余弦响应：

$$\text{功率比} = 1/2 (1 + \cos(\omega \tau)),$$

5

如果一个控制电压是固定的，而另一个是可变电压 V （忽略缺陷和非线性），可得到：

$$\text{功率比} = 1/2 (1 + \cos(\pi(V - V_0)/V\pi)),$$

10

其中， $V\pi$ 和 V_0 均是常数。 $V\pi$ 表示输出功率连续波峰和波谷之间的电压差，而 V_0 表示导致最大输出功率的控制电压。尽管 V_0 是多值的，但通常引用其最接近零伏的值。

图 2 显示说明功率比随所加控制电压 V 变化的曲线： V - P 特性曲线。应注意， Y 轴的刻度相对于功率是线性的。还应理解，归一化的光衰减随控制电压的变化（电压/光衰减特性曲线）为图 2 中功率比随所加控制电压 V 变化的倒数，以致当控制电压 = V_0 时，功率比处于最大值，而光衰减相应处于最小值。

如上所示，常数 V_0 和 $V\pi$ 是控制 MZ 装置的关键。遗憾的是，这些所谓的常数实际上是依赖于以下这些因素的变量：

- i. 制造公差（它们的制造后值难于控制）。
- ii. 老化（它们的值随使用时间而漂移）。
- iii. 环境条件（例如温度）。

任何设计用于维持某些规定输出功率电平的控制电路因此需要执行以下这些概念步骤：

- (a) 测量输出光纤处的功率电平 (P)。
- (b) 将 (P) 与所需值相比较（所需值可以是可变的）。
- (c) 调节控制电压 (V)，以便使 P 朝着所需功率变化。

步骤(c)要求知道“V-P 特性曲线”斜率的符号,以便反馈环路可施加抵消输出中不想要的变化的误差校正信号。万一控制电压偏移在选定的特性曲线的 π 段(即 V_{π}),那么因为正反馈将存在,导致误差增加,故控制机制可能失败。甚至由例如瞬间噪声引起的控制电压中的瞬间变化都足以导致这种结果。控制环路于是将失控,直到达到下一 π 段,这时负反馈将再次恢复。然而,在远离最靠近 $V=0$ 的 π 段的 π 段中工作意味着装置使用不必要的高电压工作,导致较大的电应力,增加了不稳定性并有可能导致较短的工作寿命。于是唯一的选择是把控制电压 V 设置为某初始条件,然后重新启用控制环路。

因此有必要校准装置以便为控制电压 V 确定一个可接受的初始条件,该初始条件将确保在特性曲线的选定的 π 段中启动控制环路,并且该初始条件适当地避开V-P(电压/光衰减)特性曲线的转折点。

根据本发明的第一方面,提供一种用于设置具有电压/光参数特性曲线的压控光学部件的工作电压的装置,所述电压/光参数特性曲线相对于在所述光参数的最大值和最小值之间的值来说为周期性的,所述装置包括:控制器(5);电压产生装置(6,7),用于产生施加于所述压控光学部件上的控制电压;测量部件(1),用于测量所述光参数;和比较部件(4),用于比较两个连续的光参数(A,B),其中在所述控制器的控制下,

(i)产生所述光参数的所述最大值的电压值(V_0)由以下因素确定:

a)所述电压产生装置(6,7)向所述压控光学部件施加一个预定的初始控制电压值(V);

b)所述测量部件(1)测量所述光参数,以给出光参数值(A);

c)由所述电压产生装置(6,7)产生的所述控制电压增加到一个新的电压值($V+\Delta V$),并且测得合成光参数以给出光参数值(B);

d)所述比较部件(4)用于比较所述两个连续的光参数(A,B),以确定所述光参数是否增加;

- e) 如果所述光参数增加 ($A < B$)，则重复步骤 (c) 和 (d)，直到确定了产生所述光参数的所述最大值的电压值 (V_0) 为止；
- (ii) 产生所述光参数的所述最小值的电压值 (V_∞) 由以下因素确定：
- f) 所述电压产生装置 (6, 7) 向所述压控光学部件施加一个预定的初始控制电压值 (V)；
- 5 g) 所述测量部件 (1) 测量所述光参数，以给出光参数值 (A)；
- h) 由所述电压产生装置 (6, 7) 产生的所述控制电压减小到一个新的电压值，并且测得合成光参数以给出光参数值 (B)；
- i) 所述比较部件 (4) 用于比较所述两个连续的光参数 (A, B)，
- 10 以确定所述光参数是否减小；
- j) 如果所述光参数减小 ($A > B$)，则重复步骤 (h) 和 (i)，直到确定了产生所述光参数的所述最小值的电压值 (V_0) 为止；
- (iii) 所述控制器 (5) 用于从对应于所述最大和最小值 (V_0, V_∞) 来确定位于所述最大值和最小值之间的所述周期性特性曲线部分的斜率符号；并且用于设置所述电压产生装置 (6, 7)，以产生处于
- 15 在所述最大和最小电压值 (V_0, V_∞) 之间的所述工作电压。

有利的是，当把压控光学部件用于通信系统中传送通信量时，所述装置还包括这种部件：用于检测通信量存在与否并响应对通信量不存在的检测，使所述装置设置压控光学部件的工作电压。

- 20 本发明特别适用于压控光学部件是光调制器且光参数为光衰减或光功率的情况。较可取的是压控光学部件是马赫-曾德尔干涉仪，最好是铌酸锂干涉仪。

根据本发明的第二方面，提供一种包括上述装置的通信系统。

根据本发明的再一方面，提供一种用于设置具有电压/光参数特性曲线的压控光学部件的工作电压的方法，所述电压/光参数特性曲线相对于在所述光参数的最大值和最小值之间的值来说为周期性的，所述方法包括：

- 5 (i) 通过以下步骤确定产生所述光参数的所述最大值的电压值(V_0):
- a) 设定向所述压控光学部件施加一个预定的初始控制电压值(V);
- b) 测量所述光参数(P)以给出光参数值(A);
- c) 将所述控制电压增加到一个新的电压值($V + \Delta V$), 并且测得
- 10 合成光参数以给出光参数值(B);
- d) 比较两个连续的光参数(A, B), 以确定所述光参数是否增加;
- e) 如果所述光参数增加($A < B$), 则重复步骤(c)和(d), 直到确定了产生所述光参数的所述最大值的电压值(V_0)为止;
- 15 (ii) 通过以下步骤确定产生所述光参数的所述最小值的电压值(V_∞):
- f) 设定向所述压控光学部件施加一个预定的初始控制电压值;
- g) 测量所述光参数以给出光参数值(A);
- h) 将所述控制电压减小到一个新的电压值($V - \Delta V$), 并且测得
- 20 合成光参数以给出光参数值(B);
- i) 比较所述两个连续的光参数(A, B), 以确定所述光参数是否减小;
- j) 如果所述光参数减小($A > B$), 则重复步骤(h)和(i), 直到确定了产生所述光参数的所述最小值的电压值(V_0)为止;
- 25 (iii) 采用对应于所述最大和最小值(V_0, V_∞)来确定位于所述最大值和最小值之间的所述周期性特性曲线部分的斜率符号; 并且用于将所述压控光学部件的工作电压设置成一个在所述最大和最小电压值之间的电压值。

有利的是，当把压控光学部件用于通信系统中传送通信量时，所述方法还包括检测通信量存在与否并响应对通信量不存在的检测而设置压控光学部件的工作电压。较可取的是，压控光学部件为光调制器且所述光参数为光衰减或光功率。压控光学部件最好是马赫-曾德尔干涉仪，最好是铌酸锂干涉仪。

现将参照附图对本发明的实施例加以说明，但仅作为非限制性示例。

图 1 是公知马赫-曾德尔干涉仪的示意图；

图 2 是图 1 所示干涉仪的电压/光衰减特性曲线的示意图；以及

图 3 是根据本发明的用于校准如马赫-曾德尔光调制器之类的压控光学部件的电路的框图。

参照图 3，它显示根据本发明的用于校准/操作铌酸锂马赫-曾德尔光调制器（干涉仪）的电路。该电路提供一种自校准机制，只要有必要，该机制就会确定 V_0 和 V_π 的值。需要校准控制电压的情况包括：

- 电路初始上电时校准；
- 只要功率控制环路因任何原因失效时校准；
- 只要在受控关闭之后开启激光器时校准；
- 只要电路没有承载流量就定期校准；
- 出于测试目的手动校准。

由所述电路执行的这种自校准机制包括如下步骤：

1. 设 $V = 0$ 并记录光输出功率 (P_0)。
2. 设 $V = V + \Delta V$ 并记录新的光功率 ($P_{\Delta V}$)。
3. 如果 $P_{\Delta V} < P_0$, 则到步骤 8。
4. 使 V 持续按量 ΔV 增加, 直到达到最大光功率。记下 $V_0 = V$ 的当前值。
5. 设 $V = 0$ 。
6. 使 V 持续按量 ΔV 减小, 直到达到最小光功率。记下 $V_\infty = V$ 的当前值。
7. 退出程序。
8. 使 V 持续按量 ΔV 减小, 直到达到最大光功率。记下 $V_0 = V$ 的当前值。
9. 设 $V = 0$ 。
10. 使 V 持续按量 ΔV 增加, 直到达到最小光功率。记下 $V_\infty = V$ 的当前值。

15 已根据以上方法确定了 V_0 的值。 $V\pi$ 是根据 $(V_0 - V_\infty)$ 的模数来确定的, 而“P-V 特性曲线”斜率的极性是根据 V_0 的符号来确定的。已发现 V 值的初始条件由斜率的中值给出, 即:

$$V = (V_0 + V_\infty) / 2.$$

20 参照图 3, 将测得的光输出功率 P 施加到模数 (A/D) 转换器 1, 以提供表示光功率的相应的 8 位数字值。在图 3 中, 所有用 8 表示的连接表示它们代表 8 位数字连接。一般通过从调制器的总输出光功率中抽取一定部分 (百分之几) 来测量光功率。将此 8 位数字表示用时钟连续锁存到两个串连的锁存器 2、3 中。结果, 锁存器 2 中保存的值 A 表示当前测得的光功率, 而锁存器 3 中保存的值 B 表示

25 与控制电压 V 的前一值相对应的光功率。将这些数字值 A 、 B 施加到幅度比较逻辑 4。幅度比较逻辑 4 具有三条输出线, 分别对应于如下条件: $A > B$ 、 $A = B$ 、 $A < B$ 。根据 A 值和 B 值的比较将各输出线设为高电平状态 (逻辑“1”)。这些输出线用于“操纵”控制器块

5, 它依次用于控制可逆计数器 6。计数器 6 的计数值是表示控制电压 V 的当前值的 8 位数字值。该数字值通过数模转换器 7 (D/A) 转换为模拟电压, 数模转换器 7 的输出为模拟电压 V 。此控制电压用于偏置 MZ 装置 (未示出)。可逆计数器 6 及其相关联的数模转换器 7 需在“有符号的”值上工作, 因为控制电压 V 必须在正负值之间摆动。因此, 这里需要二的补码运算。

在每次“搜索”开始时使可逆计数器 6 复位。在校准期间, 该计数器一直计数 (增加或减少) 到达到光功率 P 的最大值和最小值时为止。将对应于光功率的最大值和最小值的计数值 (相当于 $V_0 + V_{\infty}$) 分别保存到锁存器 9 和 10 中。在已经确定对应于最大和最小光输出的计数值之后, 由加法器块 11 将这两个值加在一起, 以得到 9 比特的和。将该和值的最低位丢弃, 从而所得的 8 比特值表示这两个计数值的平均值 (即相当于 $(V_0 + V_{\infty})/2$)。然后将此值装入可逆计数器 6, 从而将控制电压 V 设置为它的中斜率 (mid-slope) 值。这时就完成了校准过程且控制器 5 将用“结束”表示的输出线设置为指示校准过程的高电平状态, 以通过常规控制环路启动对光调制器的控制。控制器 5 还确定为调制器设定的部分电压/光功率特性曲线的斜率的极性, 该极性在调制器工作期间由常规控制环路使用。一旦校准电路已确定斜率极性和合适的开始点 (控制电压), 则禁止其工作并切换到常规控制环路。

在不进行校准过程时, 将常规控制环路用于保持控制电压 V 的值。因为这种设置是公知的而且有很好的文献, 故在此不对它们作进一步说明。

应理解, 当打算以 MZ 装置利用高速数字数据来对激光器的光辐射进行调制时, 在校准过程期间禁用调制驱动器。

还应理解, 可以对所述特定实施例作各种修改, 但仍在本发明的范围内。例如, 可以在电路中增加额外的复杂性, 以考虑到噪声和 MZ 装置的 V - P 特性曲线的不规则性从而提供更精确的结果。这

些可以包括例如：

- （在同样的 V 值条件下）测量若干 P 的样本值并利用它们的平均；
- 5 ●（在递增的不同的 V 值条件下）测量若干 P 的样本值并利用它们的平均值；
- 多次重复整个校准过程并利用所述数据（ V_0 和 V_∞ ）的平均值；
- 或者
- 执行上述步骤的组合。

10

此外，虽然在上文中联系 MZ 干涉仪对所述电路作了说明，但本发明的电路和方法可应用于其它类型的压控光学部件，特别是那些具有周期性电压/光特性曲线的压控光学部件。

图 1

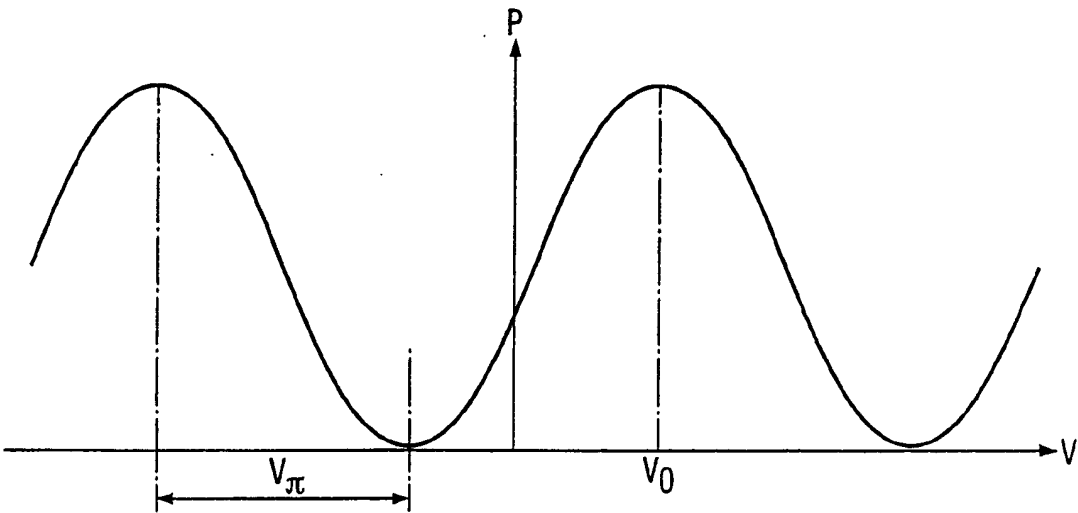
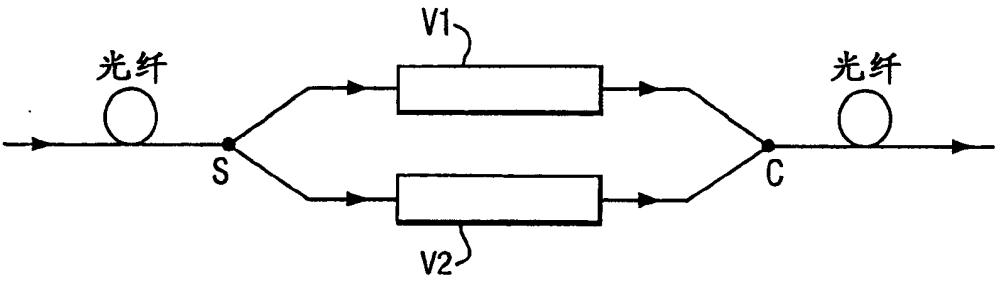


图 2

