

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04B 10/04 (2006.01)

H01S 5/00 (2006.01)

H04B 10/12 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410091929.6

[43] 公开日 2006年7月5日

[11] 公开号 CN 1797994A

[22] 申请日 2004.12.27

[21] 申请号 200410091929.6

[71] 申请人 中兴通讯股份有限公司

地址 518057 广东省深圳市南山区高新技术产业园科技南路中兴通讯大厦 A 座 6 层

[72] 发明人 张 赞

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司  
代理人 樊卫民

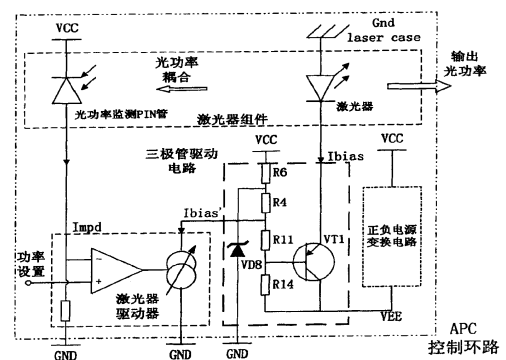
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 4 页

## [54] 发明名称

一种直调激光器偏置电路

## [57] 摘要

本发明的一种直调激光器偏置电路，其设置在一光发送模块中，包括一采用正电源供电的光发送模块的激光器驱动器，和直接调制激光器之间设计的一三极管驱动电路，以及一个正负电源变换电路为所述三极管驱动电路和所述激光器提供负电源；所述激光器驱动器压控电流源的输出为所述三极管驱动电路的输入控制信号；并且所述驱动器的压控电流源输出的电流变化用于控制所述三极管基极电压，再用集电极电流来驱动所述激光器输出相应变化的光功率；通过三极管驱动电路形成光功率自动控制电路控制回路。本发明电路的光发送模块电路设计简单高效，在保证光发送模块工作性能的前提下，提高了模块性能的稳定性，减少了电路的重复及实现成本。



- 1、 一种直调激光器偏置电路，其设置在一光发送模块中，该电路包括激光器内部组件，所述激光器内部组件包括实现平均光功率监测的 PIN 管以及激光器，所述激光器用于进行光功率的输出，所述 PIN 管用于感应输出与光功率对应的监测电流；其特征在于，所述电路还包括一采用正电源供电的光发送模块的激光器驱动器，和驱动器与直接调制激光器之间设计的一三极管驱动电路，以及一个正负电源变换电路为所述三极管驱动电路和所述激光器提供负电源；
- 5
- 10 所述激光器驱动器包括光功率自动控制电路的反馈控制电路，其压控电流源的输出为所述三极管驱动电路的输入控制信号；并且
- 所述驱动器的压控电流源输出的电流变化用于控制所述三极管基极电压，再用集电极电流来驱动所述激光器输出相应变化的光功率；
- 通过三极管驱动电路在驱动器控制电路和激光器内部组件之间形成光功率自动控制电路控制回路。
- 15
- 2、 根据权利要求 1 所述的电路，其特征在于，所述三极管驱动电路包括一电阻分压电路以及一温度特性稳定的三极管，所述电阻分压电路包括串联的多个分压电阻，并在所述分压电阻间连接所述三极管的基极，所述电阻分压电路把正电源供电的驱动器压控电流源输出电流的变化转变为所述三极管基极电压的变化，从而引起三极管集电极电流的变化。
- 20
- 3、 根据权利要求 2 所述的电路，其特征在于，所述三极管驱动电路还包括稳压电路，其包括一稳压二极管与至少一稳压电阻，所述三极管驱动电路通过所述稳压二极管与所述激光器驱动器电性连接。

## 一种直调激光器偏置电路

## 技术领域

- 5 本发明涉及适用于数字光纤传输系统技术领域的直调激光器偏置电路，尤其涉及的是一种为数字光纤通信系统或数字光纤网络中光发送模块实现直调激光器偏置电流供电的电路。

## 背景技术

- 10 现有技术的光传输系统使用 2.5Gb/s 光发送模块来发送光信号业务，包括 STM-16 信号及 OC-48 信号，它们的速率为 2488.320Mb/s。通常 WDM 光传输系统中的光发送模块大量使用有制冷直调激光器，这种激光器满足 80Km~360Km 的传输性能要求。通过激光器驱动器芯片及外围电路为直调激光器提供偏置电流和调制电流，从而实现数字信号的电/光转换，直调激光器
- 15 光器的偏置电路和调制电路设计对于光发送模块整体性能的起着重要的作用。

- 当前的 2.5Gb/s 有制冷直调激光器主要采用了 14 脚蝶形封装结构，在封装结构内部集成了激光器管芯、实现平均光功率监测的 PIN 管以及用于管芯温度控制的负温度系数热敏电阻和 TEC 器件。有制冷直调激光器内部组
- 20 件及管脚定义示意图如图 1 所示，内部组件包括 LD、背向功率监测 PIN 管、热敏电阻 TH 和 TEC 制冷器，图中激光器阳极与激光器封装之间通过虚线相连，表示大多数厂家在激光器内部将激光器阳极与封装连接在一起，考虑到模块设计上需要兼容多厂家激光器产品，而且大多数激光器厂家的激光器阳极在封装内部与封装外壳电气相联，为了避免激光器管壳带电，激光器阳
- 25 极必须连同激光器外壳一起良好接地，因此决定了直调激光器需要采用负电源供电来给激光器提供偏置电流。

激光器偏置电流为直接调制激光器提供了正常工作所需的直流工作电流,该电流大于阈值电流时激光器才能工作在受激辐射状态。高速调制电流可以通过两种方式加载在偏置电流之上,一种为直流 DC 耦合方式,即调制电流直接叠加在偏置电流之上,驱动器与激光器的高频调制接口直接连接。

5 另一种为交流 AC 耦合方式,即调制电流以正负交变的形式叠加在偏置电流之上,驱动器与激光器高频调制接口通过电容交流耦合。

如图 2 给出的两种耦合方式的激光器 P/I 曲线,其中,图 2A 给出了驱动器和激光器的高频信号采用直接耦合的方式时,激光器偏置电流  $I_{bias}$  和调制电流  $I_{mod}$  与激光器输出光信号的关系,图 2B 给出了驱动器与激光器的高频信号采用交流耦合的方式时, $I_{bias}$  和  $I_{mod}$  与激光器输出光信号的关系。从第一种耦合方式的 P/I 曲线中可以看到,在激光器调制电流  $I_{mod}$  不变的前提下,激光器的工作电流  $I_{op}=I_{bias}+I_{mod}/2$ ,改变偏置电流  $I_{bias}$  将引起激光器工作电流  $I_{op}$  的变化,从而引起输出平均光功率  $P_{av}$  的改变。在第二种耦合方式的 P/I 曲线中,激光器的工作电流  $I_{op}=I_{bias}$ ,因此改变偏置电

10 流  $I_{bias}$  将直接引起输出平均光功率的改变。对于驱动器和直调激光器采用不同供电系统的模块电路设计,驱动器与直调激光器的高频信号只能采用交流 AC 耦合方式,因此在这种耦合方式下,激光器的偏置电流  $I_{bias}$  的大小直接决定了激光器输出平均光功率  $P_{av}$  的大小。

对于光通讯系统,光载波的均值功率稳定对于系统的整体稳定性起到至

20 关重要的作用,因此在光发送模块设计中包括了维持激光器输出功率稳定的控制电路。该电路使用激光器组件中的光功率监测 PIN 管提供的与激光器输出均值光功率对应的光生电流  $I_{mpd}$  来反馈控制激光器的工作电流  $I_{op}$ ,工作电流  $I_{op}$  为流过激光器的均值电流,该电流决定了激光器输出均值光功率  $P_{av}$  的大小。稳定了激光器的工作电流  $I_{op}$ ,就能达到稳定激光器输出光

25 功率的目的。为此大多数激光器驱动器芯片都集成了维持激光器工作电流稳定的控制电路,它将光功率监测 PIN 管的光生电流作为监控信号引入内部

控制电路，通过一个压控电流源来为激光器提供偏置电流，该电路能够根据激光器输出平均光功率的变化自动调整激光器偏置电流的大小来实现激光器输出平均光功率的自动控制，这就是光发送模块上普遍采用的光功率自动控制电路 APC ( Automatic Power Control )。

5       如图 3 给出了基本 APC 电路的原理框图。在这种 APC 电路中，驱动器与激光器都采用负电源供电，激光器组件中的光功率监测 PIN 管提供与激光器输出均值光功率  $P_{av}$  对应的光生电流  $I_{mpd}$ ， $I_{mpd}$  提供给驱动器的内部控制电路，通过固定电阻将  $I_{mpd}$  转换为电压信号，用这个电压信号与用户设定电压 Power Set 作比，运算放大电路将电压差转变为压控电流源的驱动  
10 电压，压控电流源的输出电流采用直流耦合方式提供给激光器，即为激光器的偏置电流  $I_{bias}$ ，此时激光器的工作电流与输出光功率的关系如图 2A 所示，在激光器调制电流不变的前提下，调整偏置电流  $I_{bias}$  的大小就能实现稳定激光器输出功率  $P_{av}$  的目的。目前大多数激光器驱动器内部集成了这部分电路，只留出了光功率设置端口及为激光器组件提供偏置电流和调制电流的接  
15 口。

在这种 APC 电路中，采用负电源供电的驱动器的接口电路设计会变得非常复杂，特别是在模块内部普遍使用数字电位器来进行参数调整和控制的情况下，如果数字电位器在负电源环境中做参数调整，则数字电位器的通讯接口等需要通过电平转换到正电源环境中。目前光模块普遍使用数字电位器  
20 实现调整控制的参量，通讯接口转换也会相应增加，这导致模块电路设计冗余复杂。如果驱动器采用正电源供电，则控制电路和接口电路设计简化，但驱动器的压控电流源无法直接给直调激光器提供偏置电流，如果不使用驱动器提供的压控电流源为激光器提供偏置电流，则需要抛开驱动器内部集成的 APC 电路而重新设计激光器的 APC 电路，这样光发送模块的电路设计就过  
25 于复杂。

另外，光发送模块的正负供电电源出现波动时会对模块的性能产生影

响，特别是负电源的波动会对 APC 电路的稳定性造成影响，这就要求在模块内增加抵抗正负电源波动的电路设计。在现有的关于直调激光器 APC 电路设计的技术文献及专利中，没有一项涉及直调激光器与正电源供电的驱动器之间偏置电路的设计的。

5 因此，现有技术还有待于改进和发展。

### 发明内容

本发明的目的是提供一种直调激光器偏置电路，做为一种直调激光器与驱动器之间的偏置电流的接口电路，灵活解决直调激光器与正电源供电的驱动器之间偏置电路设计的问题，提供一种简单高效的实现方案；实现在正电源供电条件下驱动器与直调激光器的偏置电路设计，在模块内部采用单一正电源供电，使用正负电源变换电路来单独为直调激光器提供负电源，从而避免了负电源波动对模块性能的影响，增加了模块产品的稳定度，成为光发送模块设计中具有挑战性的技术之一。

15 本发明的技术方案如下：

一种直调激光器偏置电路，其设置在一光发送模块中，该电路包括激光器内部组件，所述激光器内部组件包括实现平均光功率监测的 PIN 管以及激光器，所述激光器用于进行光功率的输出，所述 PIN 管用于感应输出与光功率对应的监测电流；其中，所述电路还包括一采用正电源供电的光发送模块的激光器驱动器，和驱动器与直接调制激光器之间设计的一三极管驱动电路，以及一个正负电源变换电路为所述三极管驱动电路和所述激光器提供负电源；

所述激光器驱动器包括光功率自动控制电路的反馈控制电路，其压控电流源的输出为所述三极管驱动电路的输入控制信号；

25 所述电阻分压电路将所述驱动器的压控电流源输出的电流变化用于控制所述三极管基极电压，再用集电极电流来驱动所述激光器输出相应变化的

光功率；

通过三极管驱动电路在驱动器控制电路和激光器内部组件之间形成光功率自动控制电路控制回路。

所述的电路，其中，所述三极管驱动电路包括一电阻分压电路以及一温度特性稳定的三极管，所述电阻分压电路包括串联的多个分压电阻，并在所述分压电阻间连接所述三极管的基极，所述电阻分压电路把正电源供电的驱动器压控电流源输出电流的变化转变为所述三极管基极电压的变化，从而引起三极管集电极电流的变化。

所述的电路，其中，所述三极管驱动电路还包括稳压电路，其包括一稳压二极管与至少一稳压电阻，所述三极管驱动电路通过所述稳压二极管与所述激光器驱动器电性连接。

本发明所提供的一种直调激光器偏置电路，采用本发明所述方法，激光器驱动器可以采用正电源供电，通过在驱动器与激光器之间设计一个三极管驱动电路，解决了 APC 反馈控制电路需要重复设计的问题，采用正负电源变换电路来为三极管驱动电路和激光器提供负电源，增加了 APC 电路工作的稳定性，消除了模块负电源波动对其性能的影响；与现有技术相比，光发送模块电路设计简单高效，在保证光发送模块工作性能的前提下，提高了模块性能的稳定性，减少了电路的重复及实现成本。

## 20 附图说明

图 1 是现有技术的激光器内部组件示意图；

图 2A 和图 2B 分别是现有技术的 DC 耦合模式和 AC 耦合模式下的 P/I 曲线图；

图 3 为现有技术的基本光功率自动控制电路 APC 的电路原理框图；

25 图 4 是本发明的所述光功率自动控制电路中的采用单一正电源供电的 APC 电路原理框图；

图 5 是本发明电路中的典型 PNP 三极管  $V_{be}$  电压随  $I_c$  变化的特性曲线图;

图 6 是本发明所述直调激光器偏置电路的三极管驱动电路原理图;

图 7 是本发明电路中有制冷直调激光器输出光功率随温度变化的曲线图;

图 8 是本发明电路中有制冷直调激光器输出光功率随模块供电电压变化的曲线图。

### 具体实施方式

以下结合附图, 对本发明的具体较佳实施例加以详细描述。

本发明所述直调激光器偏置电路, 其核心技术是在采用正电源供电的光发送模块的驱动器与直接调制激光器之间设计一个三极管驱动电路, 该三极管驱动电路和激光器由一个正负电源变换电路来提供负电源; 使用驱动器的压控电流源输出来控制三极管基极电压, 从而控制三极管的集电极电流, 再用集电极电流来驱动激光器。

本发明电路在电路设计上巧妙地使用电阻分压电路来实现不同电源供电电路之间的控制, 通过这个三极管驱动电路和一个正负电源变换电路把正电源供电的驱动器和激光器内部组件联系起来, 使得 APC 反馈控制环路重新建立起来, 光发送模块的偏置电路设计大为简化。电路中没有使用外界提供的负电源为三极管驱动电路和激光器供电, 而是使用正负电源变换电路从正电源产生了一个相对稳定的负电源来供电, 由于电源变换电路的电压输出受输入电压波动的影响非常小, 从而提高了三极管驱动电路工作的稳定性, 消除了负电源供电电压的变化对 APC 电路的影响。

本发明所述的直调激光器偏置电路, 其有制冷直调激光器偏置电路如图 4 所示的, 包括激光器内部组件、正负电源变换电路、激光器驱动器和三极管驱动电路几部分, 所述激光器内部组件实现激光器的光功率输出, 并为



APC 电路提供与输出光功率对应的监测电流  $I_{mpd}$ ; 正负电源变换电路实现从正电源到负电源的变换, 为激光器的偏置电流提供负电源; 激光器驱动器则包括了 APC 的反馈控制电路, 驱动器的压控电流源的输出成为三极管驱动电路的输入控制信号; 三极管驱动电路由一组分压电阻和一个温度特性稳定的 PNP 三极管构成。所述电阻分压电路把正电源供电的驱动器压控电

5 流源输出电流的变化转变为三极管基极电压的变化, 从而引起三极管集电极电流的变化, 集电极电流驱动激光器使得输出光功率做出相应变化。激光器内部的 PIN 管检测到输出光功率的变化, 通过光生电流的变化反馈回激光器驱动器, 驱动器再根据光生电流的变化调整压控电流输出电流的大小, 最终

10 形成完整可靠的 APC 控制回路。

对于大多数直调激光器都可形成完整可靠的 APC 控制回路, 所述直调激光器的正向电压  $V_f$  一般情况下为 1.2V~1.8V, 当激光器采用负电源供电时, 激光器阳极与地平面相连, 激光器阴极的电压低于激光器正向导通电压  $V_f^*$  则激光器开启工作。三极管驱动电路如图 4 所示, 与传统 APC 电路相比,

15 该电路引入了一个三极管驱动电路和一个正负电源变换电路, 解决了激光器的偏置电流供电, 驱动器仍然采用正电源供电, 通过三极管驱动电路在驱动器控制电路和激光器内部组件之间重新形成 APC 控制回路, 充分利用了驱动器集成的 APC 监测电路和压控电流源驱动器。

同时使用电源变换电路来为三极管驱动电路和激光器提供负电源, 避免

20 了电源波动对这部分电路造成的影响, 提高了 APC 电路工作的稳定性, 三极管驱动电路的具体应用实例请参阅图 6 所示。其工作原理为当三极管处于放大工作状态时, 激光器偏置电流的大小由流过 PNP 型三极管 VT1 的基极电流决定, 三极管进入放大工作状态的条件是基极电压  $V_b$  低于激光器正向导通电压  $V_f^*$  加上 PNP 型三极管节电压  $V_{be}$ , 即  $V_b \leq -V_f^* + V_{be}$ , 其中  $V_f^*$

25 为激光器的正向导通电压, 由于激光器工作在负电源供电的情况下, 所以式中  $V_f^*$  前加负号, 通常情况下硅材料的 PNP 三极管  $V_{be}$  的典型值为 -0.7V。

此时流过激光器和三极管的电流较小，电流在电阻和滤波电感上产生的压降可以忽略。随着基极电压  $V_b$  电压继续减小，三极管 VT1 的基极电流增大，流过 VT1 的射极电流相应增加，即激光器的偏置电流  $I_{bias}$  增加，同时电阻和电感上的压降增大，激光器正向压降  $V_f$  增大。当  $V_b$  减小到某个数值时，  
5 流过激光器的  $I_{bias}$  正好等于激光器的阈值电流  $I_{th}$ ，此时的基极电压  $V_b$  可以表示为：

$$V_b = V_f + V_{be} + I_{th} * (R_{16} // R_{17} + R_{L9}) \quad (1)$$

上式中  $R_{16} // R_{17}$  为电阻  $R_{16}$  与电阻  $R_{17}$  的并联阻抗， $R_{L9}$  为电感  $L_9$  的直流阻抗。当基极电压  $V_b$  电压再减小时，激光器正向压降  $V_f$  增大， $I_{bias}$   
10 继续增加，直调激光器进入正常工作状态，激光器输出光功率  $P_{av}$  相应增加，采用 AC 耦合方式的激光器的 P-I 曲线如图 2B 所示。由此可见，基极电压  $V_b$  决定了三极管驱动电路提供给激光器的偏置电流  $I_{bias}$  的大小， $I_{bias}$  即为激光器的  $I_{op}$ ，从而直接决定了激光器输出光功率  $P_{av}$  的大小。

需要指出的是，PNP 三极管的温度特性是影响该驱动电路正常工作的关键因素之一，通常情况下 PNP 三极管的节电压  $V_{be}$  会随着环境温度发生变化。  
15 如果假设三极管的集电极电流  $I_c$  不变， $I_e = I_c + I_b$ ，其中基极电流  $I_b$  远小于集电极电流  $I_c$ ，所以可以认为发射极电流  $I_e$  近似不变，即激光器偏置电流  $I_{bias}$  不变，随着温度变化三极管的节电压  $V_{be}$  将发生变化。

如果该参数在  $-55^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$  的环境温度下变化显著，则控制电压基极电压  
20  $V_b$  的变化量  $\Delta V_b$  可能超出三极管驱动电路的调节范围，如图 5 所示给出了一个典型 PNP 三极管节电压  $V_{be}$  的随集电极电流  $I_c$  变化的特性曲线，其中包括温度对曲线的影响，如果 PNP 三极管的节电压  $V_{be}$  在  $-55^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$  环境温度下变化较大，则需要根据具体情况重新确定电路参数。在不同温度下，APC 电路将保持有制冷直调激光器的输出功率稳定，对于采用 AC 耦合方式的  
25 的激光器意味着偏置电流  $I_{bias}$  应该保持稳定，即三极管驱动电路的发射极电流  $I_e$  保持稳定，此时可以近似认为集电极电流  $I_c$  保持稳定。假设集电极

电流  $I_c=50\text{mA}$ ，从图中可以看出在集电极电流  $I_c$  不变的前提下，不同环境温度对应的节电压  $V_{be}$  电压不同， $-55^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}$  和  $150^\circ\text{C}$  的环境温度下该 PNP 三极管的节电压  $V_{be}$  电压分别为  $-0.95\text{V}$ 、 $-0.8\text{V}$  和  $-0.6$ ， $\Delta V_{be}=0.35\text{V}$ ，在模块正常的工作温度范围内  $\Delta V_{be}$  将小于  $0.35\text{V}$ 。因此 PNP 三极管的基极控制电压  $V_b$  在不同温度下的变化将小于  $0.35\text{V}$ ，这对于本发明电路来说完全能够

5 满足应用的要求。

如图 6 所示是较为实用的三极管驱动电路，该电路由两个部分组成，第一部分为电阻  $R_6$  与稳压二极管  $VD_8$  构成的稳压电路，当  $VD_8$  上的压降  $V_{DD}$  稳定在  $4.0\text{V}$  时，该稳压电路能够提供典型值  $50\text{mA}$  电流，考虑到模块供电电压  $V_{CC}$  存在  $\pm 5\%$  的波动，所以能够提供的最小电流为  $37.5\text{mA}$ ，最大电流

10 为  $62.5\text{mA}$ 。如果需要提供的电流较大，可以更改该电路参数来满足应用需求。第二部分为电阻  $R_4$ 、 $R_{11}$  和  $R_{14}$  在正电源电压  $V_{CC}$  与负电源电压  $V_{EE}$  之间构成的分压电路， $R_{11}$  与  $R_{14}$  之间的分压作为三极管  $VT_1$  的基极控制电压，电阻  $R_4$  上流过分压电路的直流电流和激光器驱动器输出的偏置电流

15  $I_{bias}'$ ，这样电阻  $R_4$  将驱动器的  $I_{bias}'$  的变化转换为电压变化，这个电压变化量再通过  $R_{11}$  和  $R_{14}$  分压提供给三极管  $VT_1$  的基极。 $VT_1$  的基极电压由下面的公式确定：

$$V_b = V_{EE} + R_{14} * (V_{DD} - V_{EE} - R_4 * I_{bias}') / (R_4 + R_{11} + R_{14}) \quad (2)$$

当驱动器的压控电流源输出偏置电流  $I_{bias}'$  为 0 时，通过电阻  $R_{11}$  和  $R_{14}$

20 分压得到的基极电压为  $V_b = V_{EE} + R_{14} * (V_{DD} - V_{EE}) / (R_4 + R_{11} + R_{14})$ ，该电压又等于激光器的正向导通电压、激光器阈值电流在电阻和电感上产生的压降以及三极管基极和发射极之间的节电压之和，即公式 (1)。当驱动器的压控电流源输出电流改变时，电阻  $R_4$  将把电流的变化转换成三极管基极电压的变化，从而改变发射极电流的大小，即改变激光器偏置电流的大小，图 6

25 中的电路参数适用于 BOOKHAM 的 LC25W 系列激光器。

如图 7 所示是使用本发明的直调激光器偏置电路技术的光发送模块在不

同温度下，激光器输出功率随光发送模块环境温度变化的曲线，其中给出了4只测试样品的测试结果，从图中可以看出每一只光发送模块的输出光功率在-15℃到65℃的环境温度下变化小于±0.5dB，这种偏差在系统设计允许的范围内，证明新的APC控制电路对激光器输出功率的控制满足业内对光发送模块输出光功率稳定性的指标要求。

如图8所示是使用本发明电路技术的光发送模块在电源VCC发生±5%变化的情况下，激光器输出功率随电源VCC电压变化的曲线，同样给出了上述4只测试样品的测试结果，从图中可以看出在电源VCC电压发生±5%变化时，每一只光发送模块的输出光功率几乎保持不变，证明使用本发明技术的APC控制电路在克服电源电压波动方面具有良好的效果。

综上所述，使用本发明技术的光发送模块的APC电路具有良好的温度稳定性和抗电源波动的能力；采用本发明所述方法，与现有技术相比，提高了光发送模块电路设计的灵活性。在保证光发送模块性能的前提下，减少了电路的重复设计，降低了成本。

应当理解的是，本发明上述针对具体实施例的描述过于具体，并不能因此而理解为对本发明专利保护范围的限制，本发明的专利保护范围应该以所附权利要求为准。

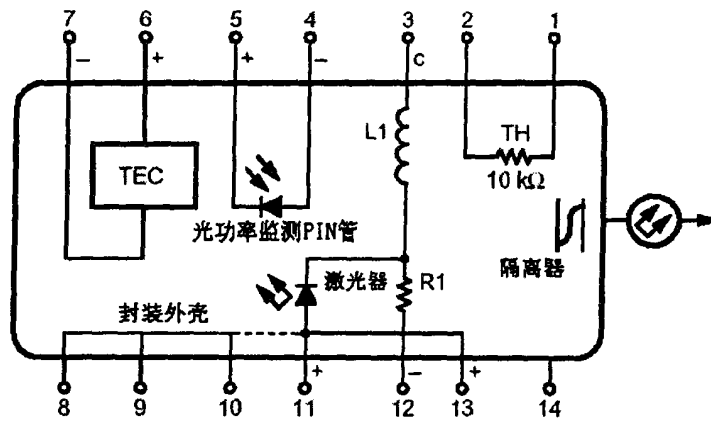


图 1

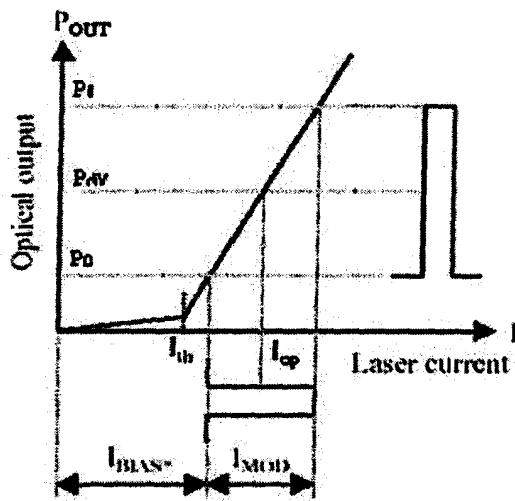


图 2A

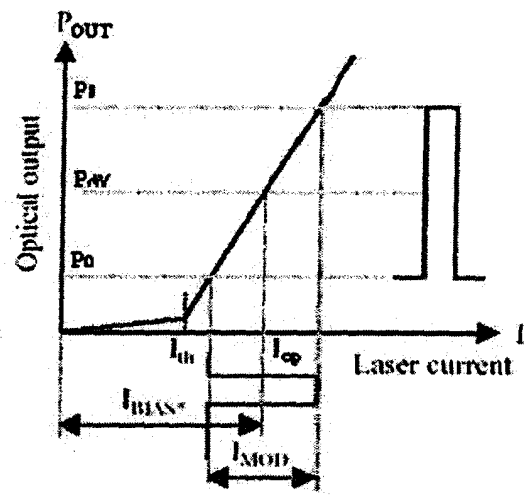


图 2B

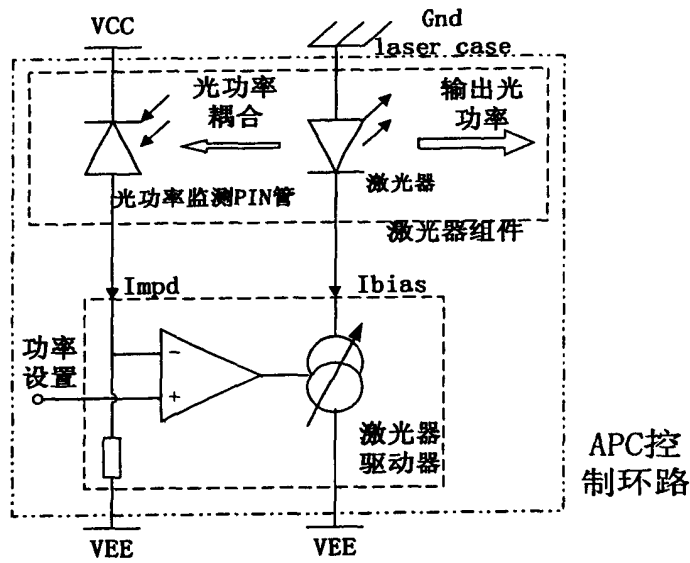


图 3

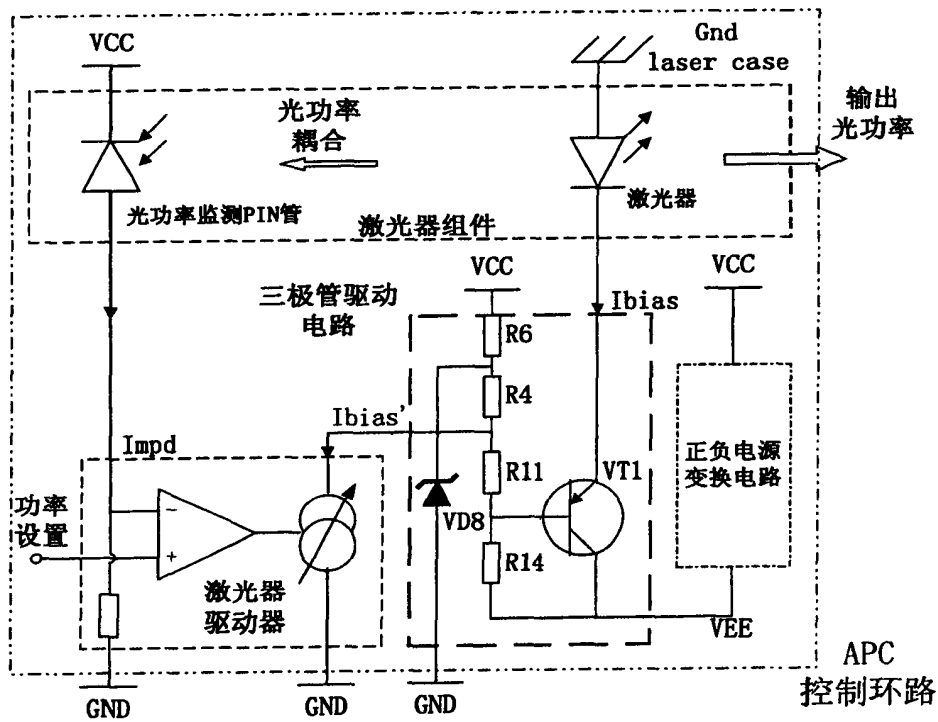


图 4

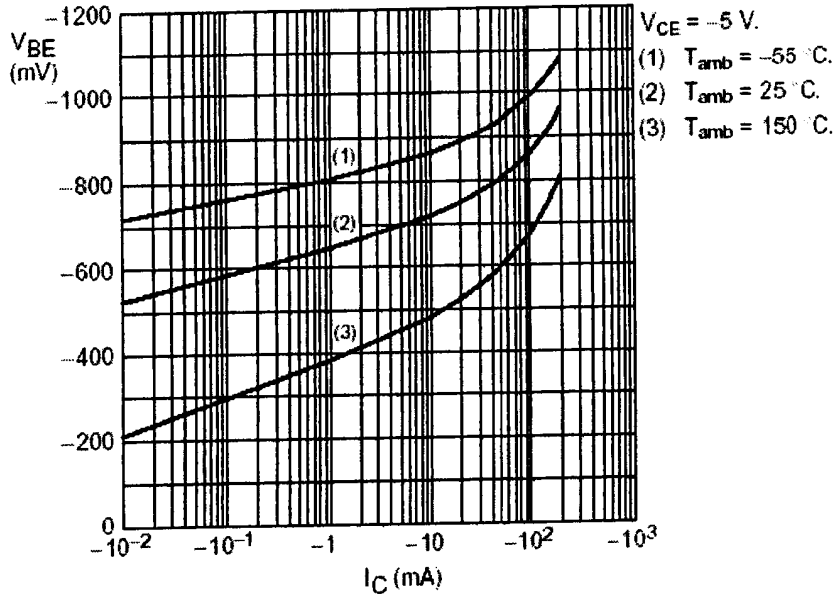


图 5

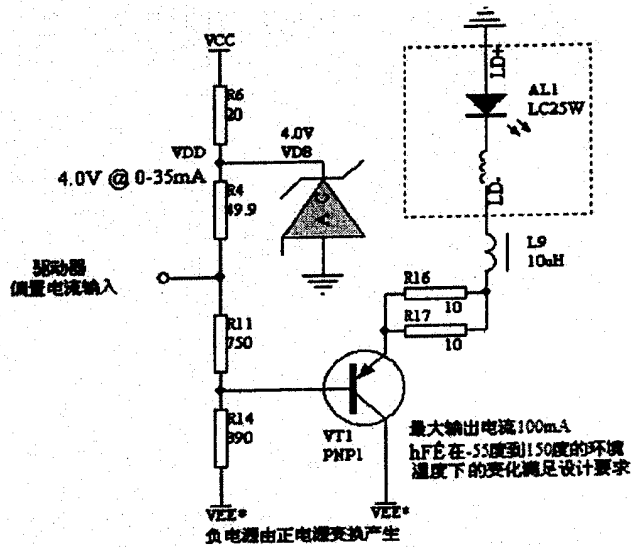


图 6

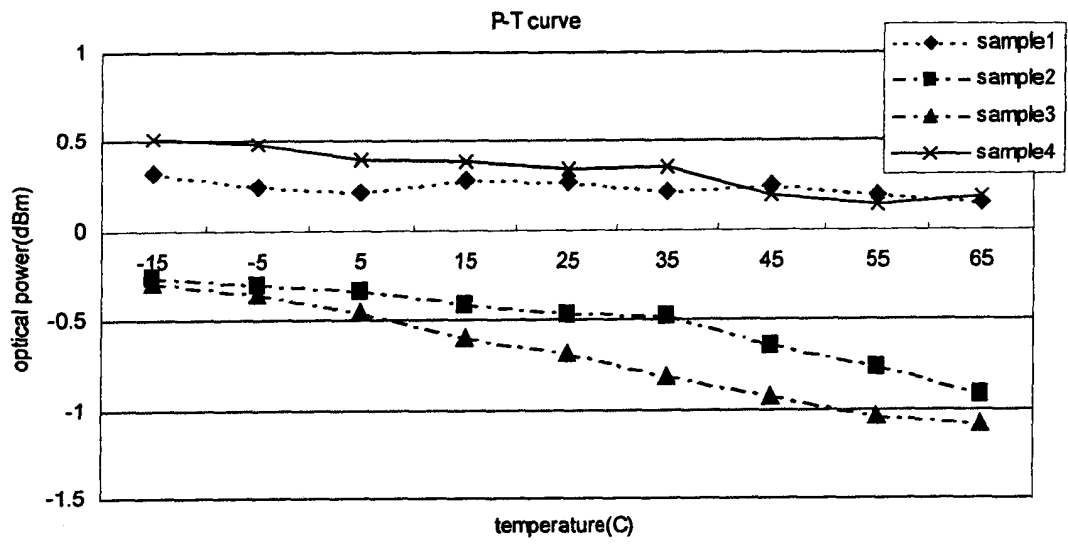


图 7

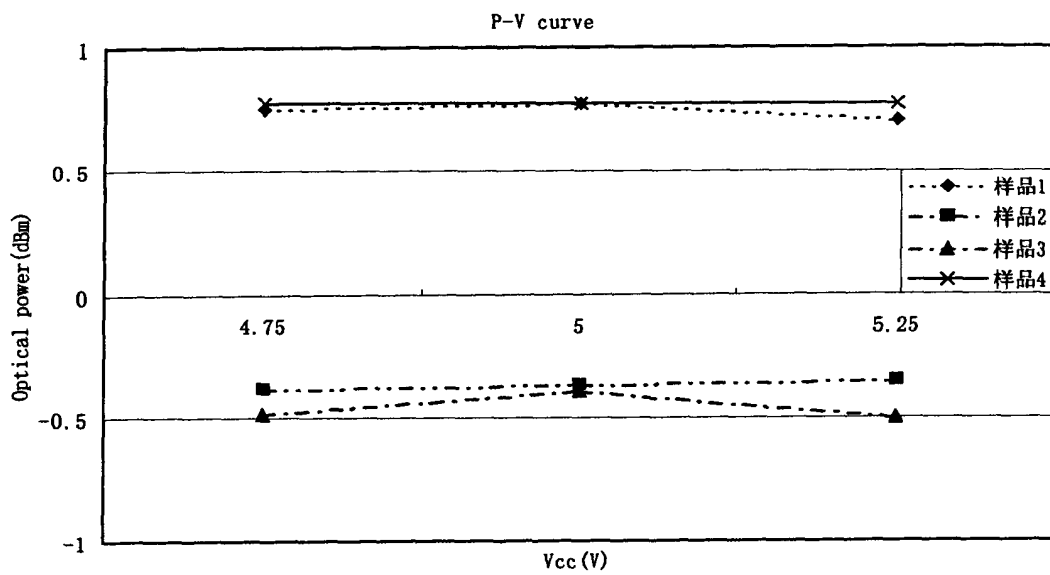


图 8