



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113686434 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 18

(21) 申请号 202110967587.3

G01J 1/02 (2006.01)

(22) 申请日 2021.08.23

H04B 10/07 (2013.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 周勇

申请公布号 CN 113686434 A

(43) 申请公布日 2021.11.23

(73) 专利权人 长飞光纤光缆股份有限公司

地址 430074 湖北省武汉市东湖新技术开
发区光谷大道九号

(72) 发明人 黄正武 汪松 马晓 杨晨

曹蓓蓓 谭浩柏

(74) 专利代理机构 武汉臻诚专利代理事务所

(普通合伙) 42233

专利代理师 胡星驰

(51) Int. Cl.

G01J 1/42 (2006.01)

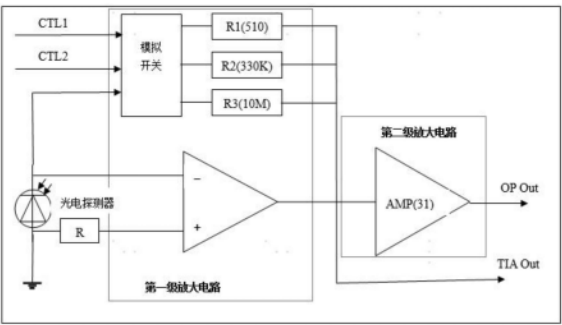
权利要求书2页 说明书10页 附图6页

(54) 发明名称

一种光电探测装置温度模拟补偿方法及系
统

(57) 摘要

本发明公开了一种光电探测装置温度模拟补偿方法及系统。所述方法包括以下步骤：对于特定测的光电探测装置，采用工作温度的二阶多项式函数分别回归拟合光功率值与输出量线性关系的斜率和/或截距，并采用拟合获得的斜率与工作温度的二阶多项式函数和/或斜率与工作温度的二阶多项式函数，根据工作温度对光功率值进行温度补偿。仅需要3个标定温度即可获得光功率值与输出量对数值的线性关系，大大减少了对于光电探测装置进行温度补偿的标定工作，降低了高精度光电探测装置的成本。应用该方法的光电探测系统通过对光电探测器线性拟合工作区段，针对工作温度进行补偿，提高光电探测精度，从而拓宽了光电探测范围。



1. 一种光电探测装置温度模拟补偿方法,其特征在于,包括以下步骤:

对于特定测的光电探测装置,采用工作温度的二阶多项式函数分别回归拟合光功率值与输出量线性关系的斜率和/或截距,并采用拟合获得的斜率与工作温度的二阶多项式函数和/或斜率与工作温度的二阶多项式函数,根据工作温度对光功率值进行温度补偿;

采用二阶多项式函数进行回归拟合暗电流补偿功率 P_{dark} ,并采用拟合获得的暗电流补偿功率与工作温度的二阶多项式函数,根据工作温度对光功率值进行暗电流补偿,经温度及暗电流补偿的探测功率 P_{dBm} 按照如下方法计算:

$$P_{\text{dBm}} = \text{mw2dB}(\text{dB2mw}((a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{OUTPUT} + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)) - \text{dB2mw}(P_{\text{dark}}))$$

其中,dB2mw()为将dBm值转化为mW值的转换函数 $P_{\text{mW}} = 10^{P_{\text{dBm}}/10}$;mw2dB()为将mW值转化为dBm值的转换函数 $P_{\text{dBm}} = 10 * \log_{10} P_{\text{mW}}$;

$$P_{\text{dark}} = a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3$$

其中, a_3 、 b_3 、 c_3 为二阶多项式函数的参数。

2. 如权利要求1所述的光电探测装置温度模拟补偿方法,其特征在于,当光电探测装置的处于特定的线性工作区段下,输出量OUTPUT为接口采样ADC数据或ADC数据的对数值,其与探测功率 P_{dbm} 的线性关系表示为:

$$P_{\text{dbm}} = K * \text{OUTPUT} + C$$

其中,K为斜率,C为截距。

3. 如权利要求1或2所述的光电探测装置温度模拟补偿方法,其特征在于,对光功率值与输出量对数值线性关系的斜率K、以及截距C分别采用温度的二阶多项式函数进行拟合,具体如下:

$$K = a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1$$

$$C = a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2$$

其中,T为工作温度, a_1 、 b_1 、 c_1 、 a_2 、 b_2 、 c_2 为二阶多项式函数的参数,通过数据拟合确定。

4. 如权利要求1所述的光电探测装置温度模拟补偿方法,其特征在于,采用拟合获得的斜率与工作温度的二阶多项式函数和斜率与工作温度的二阶多项式函数,根据工作温度对光功率值进行温度补偿,经温度补偿的探测功率 P_{dBm} 按照如下方法计算:

$$P_{\text{dBm}} = (a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{OUTPUT} + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)。$$

5. 一种光电探测装置温度模拟补偿系统,其特征在于,包括温度传感器、存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序;所述温度传感器,用于测定光电探测器工作温度,所述处理器用于根据光电探测器工作温度执行所述计算机程序时实现权利要求1至4中任意一项所述的光电探测装置温度模拟补偿方法对光电探测器输出量的对数进行线性拟合及温度补偿,获得探测光功率。

6. 一种光电探测系统,其特征在于,包括光电探测装置、以及权利要求5所述的光电探测装置温度模拟补偿系统,所述光电探测装置的输出量输出给所述光电探测装置温度模拟补偿系统,所述光电探测装置温度模拟补偿系统对光电探测器输出量进行线性拟合及温度补偿,获得探测光功率。

7. 如权利要求6所述的光电探测系统,其特征在于,所述光电探测装置为所述光电探测装置为线性光电探测器或对数光电探测器。

8. 如权利要求7所述的光电探测系统,其特征在于,所述光电探测装置为线性光电探测器,包括串联的光电二极管、跨阻放大器 and 运算放大器;所述跨阻放大器包括多个控制端以及多个并联的分压电阻,所述跨阻放大器的多个控制端通过使不同的分压电阻处于接入或非接入状态,改变光电探测装置的电气性能,使该线性光电探测器处于不同的特定的线性工作区段下;所述跨阻放大器输出端和所述运算放大器输出端,分别输出不同电探测装置的电气性能下的光电探测器输出量;所述光电探测装置温度模拟补偿系统,通过读取接入端口以及跨阻放大器控制端信号,确定所述光电探测装置的电气性能,并采用相应光电探测装置的电气性能下的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} 的二阶函数的参数计算线性拟合采用的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} ,对光电探测器输出量进行线性拟合获得探测光功率。

9. 如权利要求7所述的光电探测系统,其特征在于,所述光电探测装置为对数光电探测器,包括串联的光电二极管、对数互阻放大器、以及运算放大器;所述光电探测装置温度模拟补偿系统,获取对数光电探测器的输出量,即接口采样ADC数据,根据接口采样ADC数据确定其所在的线性段,并采用相应线性段的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} 的二阶函数的参数计算线性拟合采用的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} ,对光电探测器输出量进行线性拟合获得探测光功率。

一种光电探测装置温度模拟补偿方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于光模块技术领域,更具体地,涉及一种光电探测装置温度模拟补偿方法及系统。

背景技术

[0002] 随着光通信技术的飞速发展,光网络上应用的高速通信及数据通信的光网络器件、模块和子系统产品也逐渐发展起来。掺铒光纤放大器(EDFA)的诞生是光纤通信领域革命性的突破,它使长距离、大容量、高速率的光纤通信成为可能,也是DWDM系统及未来高速系统、全光网络不可缺少的重要器件。放大器的相关技术,尤其PD探测技术深入研究和应用,对光纤通信的发展有着重要的意义。

[0003] 尤其是在核心网、骨干网的构建中,掺铒光纤放大器(EDFA)的相关技术深入研究和应用,对光纤通信的发展有着重要的意义。高性能的掺铒光纤放大器(EDFA),有赖于高精度、超宽范围的光电探测技术。

[0004] 目前光电探测技术,受到多种因素的干扰,尤其是在高精度或者低功率的光电探测技术中,难以达到应用要求。为了提高探测精度,一般采用插值补偿法,需要针对不同批次,进行大量实验获得校验数据,开发成本高昂。

发明内容

[0005] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种光电探测装置温度模拟补偿方法及系统,其目的在于通过对现有的采用线性拟合的光电探测器探测技术,针对工作温度以及暗电流功率进行补偿,从而提高低功率范围和高功率范围光功率的探测精度,配合多段拟合技术,实现高精度、超宽范围的光电探测,由此解决现有技术探测精度不高或者探测范围有限的技术问题。

[0006] 为实现上述目的,按照本发明的一个方面,提供了一种光电探测装置温度模拟补偿方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0007] 对于特定测的光电探测装置,采用工作温度的二阶多项式函数分别回归拟合光功率值与输出量线性关系的斜率和/或截距,并采用拟合获得的斜率与工作温度的二阶多项式函数和/或斜率与工作温度的二阶多项式函数,根据工作温度对光功率值进行温度补偿。

[0008] 优选地,所述光电探测装置温度模拟补偿方法,其当光电探测装置的处于特定的线性工作区段下,输出量OUTPUT为接口采样ADC数据或ADC数据的对数值,与探测功率 P_{dBm} 的线性关系表示为:

[0009] $P_{dBm} = K * OUTPUT + C$

[0010] 其中,K为斜率,C为截距。

[0011] 优选地,所述光电探测装置温度模拟补偿方法,其对光功率值与输出量对数值线性关系的斜率K、以及截距C分别采用温度的二阶多项式函数进行拟合,具体如下:

[0012] $K = a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1$

[0013] $C = a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2$

[0014] 其中, T 为工作温度, a_1 、 b_1 、 c_1 、 a_2 、 b_2 、 c_2 为二阶多项式函数的参数, 通过数据拟合确定。

[0015] 优选地, 所述光电探测装置温度模拟补偿方法, 其采用拟合获得的斜率与工作温度的二阶多项式函数和斜率与工作温度的二阶多项式函数, 根据工作温度对光功率值进行温度补偿, 经温度补偿的探测功率 P_{dBm} 按照如下方法计算:

[0016] $P_{dBm} = (a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * OUTPUT + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)$ 。

[0017] 优选地, 所述光电探测装置温度模拟补偿方法, 其采用二阶多项式函数进行回归拟合暗电流补偿功率 P_{dark} , 并采用拟合获得的暗电流补偿功率与工作温度的二阶多项式函数, 根据工作温度对光功率值进行暗电流补偿, 经温度及暗电流补偿的探测功率 P_{dBm} 按照如下方法计算:

[0018] $P_{dBm} = mw2dB(dB2mw((a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * OUTPUT + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)) - dB2mw(P_{dark}))$

[0019] 其中, $dB2mw()$ 为将 dBm 值转化为 mW 值的转换函数 $P_{mW} = 10^{P_{dBm}/10}$; $mw2dB()$ 为将 mW 值转化为 dBm 值的转换函数 $P_{dBm} = 10 * \log_{10} P_{mW}$;

[0020] $P_{dark} = a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3$

[0021] 其中, a_3 、 b_3 、 c_3 为二阶多项式函数的参数。

[0022] 按照本发明的另一个方面, 提供了一种光电探测装置温度模拟补偿系统, 包括温度传感器、存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序, 所述温度传感器, 用于测定光电探测器工作温度, 所述处理器用于根据光电探测器工作温度执行所述计算机程序时实现本发明提供的光电探测装置温度模拟补偿方法对光电探测器输出量的对数进行线性拟合及温度补偿, 获得探测光功率。

[0023] 按照本发明的另一个方面提供了一种光电探测系统, 其包括光电探测装置、以及本发明提供的光电探测装置温度模拟补偿系统, 所述光电探测装置的输出量输出给所述光电探测装置温度模拟补偿系统, 所述光电探测装置温度模拟补偿系统对光电探测器输出量进行线性拟合及温度补偿, 获得探测光功率。

[0024] 优选地, 所述光电探测系统, 其所述光电探测装置为所述光电探测装置为线性光电探测器或对数光电探测器。

[0025] 优选地, 所述光电探测系统, 其所述光电探测装置为线性光电探测器, 包括串联的光电二极管、跨阻放大器和运算放大器; 所述跨阻放大器包括多个控制端以及多个并联的分压电阻, 所述跨阻放大器的多个控制端通过使不同的分压电阻处于接入或非接入状态, 改变光电探测装置的电气性能, 使该线性光电探测器处于不同的特定的线性工作区段下; 所述跨阻放大器输出端和所述运算放大器输出端, 分别输出不同电探测装置的电气性能下的光电探测器输出量; 所述光电探测装置温度模拟补偿系统, 通过读取接入端口以及跨阻放大器控制端信号, 确定所述光电探测装置的电气性能, 并采用相应光电探测装置的电气性能下的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} 的二阶函数的参数计算线性拟合采用的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} , 对光电探测器输出量进行线性拟合获得探测光功率。

[0026] 优选地, 所述光电探测系统, 其所述光电探测装置为对数光电探测器, 包括串联的

光电二极管、对数互阻放大器、以及运算放大器；所述光电探测装置温度模拟补偿系统，获取对数光电探测器的输出量，即接口采样ADC数据，根据接口采样ADC数据确定其所在的线性段，并采用相应线性段的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} 的二阶函数的参数计算线性拟合采用的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} ，对光电探测器输出量进行线性拟合获得探测光功率。

[0027] 总体而言，通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比，能够取得下列有益效果：

[0028] 本发明提供的光电探测装置模拟补偿方法，通过大量实验数据，证实了光功率值和光电探测器输出量之间的线性关系斜率和截距受到工作温度影响，且斜率与截距随温度变化关系符合二阶多项式，当采用二阶函数对测试工程温度数据进行拟合时，相关系数 R^2 均接近或超过0.99，回归拟合结果显示温度的二阶函数能准确的模拟光功率值与输出量线性关系的斜率和截距。仅需要3个标定温度即可获得光功率值与输出量对数值的线性关系，大大减少了对于光电探测装置进行温度补偿的标定工作，降低了高精度光电探测装置的成本。

[0029] 本发明提供的光电探测系统，通过对光电探测器线性拟合工作区段，针对工作温度进行补偿，提高光电探测精度，从而拓宽了光电探测范围。尤其是针对低功率的探测范围，同时针对暗电流进行补偿，进一步提高了低功率的线性拟合工作区段的探测精度。优选方案，配合多级区段覆盖的光电探测器，实现高精度的、全温的、超宽光电探测范围（探测范围大于75dB，精度小于0.5dB）。

附图说明

[0030] 图1是本发明实施例1提供的光电探测器电路结构示意图；

[0031] 图2是本发明实施例2提供的光电探测器电路结构示意图；

[0032] 图3是本发明实施例1提供的线性光电探测系统分段覆盖工作范围示意图；

[0033] 图4是本发明实施例1提供的线性光电探测系统第一区段(LV1) K 与温度 T 从-5℃到75℃变化曲线；

[0034] 图5是本发明实施例1提供的线性光电探测系统第一区段(LV1) C 与温度 T 从-5℃到75℃变化曲线；

[0035] 图6是本发明实施例1提供的线性光电探测系统第一区段(LV1)暗电流功率(dBm)与温度 T 从-5℃到75℃变化曲线；

[0036] 图7是本发明实施例2提供的对数光电探测系统结构示意图；

[0037] 图8是本发明实施例2提供的对数光电探测系统分段覆盖工作范围示意图；

[0038] 图9是本发明实施例2提供的对数光电探测系统分段线性拟合示意图；

[0039] 图10是本发明实施例2提供的对数光电探测系统第一区段(LV1) K 与温度 T 从-5℃到75℃变化曲线；

[0040] 图11是本发明实施例2提供的对数光电探测系统第一区段(LV1) C 与温度 T 从-5℃到75℃变化曲线；

[0041] 图12是本发明实施例2提供的对数光电探测系统第一区段(LV1)暗电流功率(dBm)与温度 T 从-5℃到75℃变化曲线。

具体实施方式

[0042] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0043] 光电探测器,采样值受到温度影响,针对温度变化对光电探测器的采集值和最终光功率之间需要进行补偿计算,而一般的光电探测装置温度模拟补偿方法,一般采用标定插值法,即在特定的标定温度,对光电探测器的采集值和光功率进行标定,在多个标定温度之间的温度,进行插值以近似估算温度对光电探测器采集值计算的光功率测定值和光功率真实值之间的差异,根据估算的差异进行温度补偿。这种方法的补偿效果,受限于标定数据的密度,即标定的温度取值越多,补偿效果越好,然而由于是对离散的校准拟合温度进行标定,因此差值估算误差始终较大。当对精度要求较高时,由于需要对更多的校准拟合温度进行标定,因此出厂时需要大规模的校正,成本非常高。

[0044] 本发明提供的光电探测装置温度模拟补偿方法,包括以下步骤:

[0045] 对于特定测的光电探测装置,采用工作温度的二阶多项式函数分别回归拟合光功率值与输出量线性关系的斜率和/或截距,并采用拟合获得的斜率与工作温度的二阶多项式函数和/或斜率与工作温度的二阶多项式函数,根据工作温度对光功率值进行温度补偿。

[0046] 实验数据显示:当温度控制在恒温条件下时,测试用光功率和光电探测器的输出量呈线良好的线性关系,当温度超过25℃,温度的变化对光功率和光电探测器的线性关系影响明显。经过大量工程温度数据实验,观察到测试用光功率值与输出量之间,如果采用线性关系表示,其斜率以及截距随温度变化而变化,而非常数,导致当温度变化时,测试用光功率值与输出量对数值之间的线性关系恶化。进一步的,当采用二阶函数对测试工程温度数据进行拟合时,相关系数 R^2 均接近或超过0.99,回归拟合结果显示温度的二阶函数能准确的模拟光功率值与输出量线性关系的斜率和截距。理论上仅需要3个标定温度即可获得光功率值与输出量对数值的线性关系,大大减少了对于光电探测装置进行温度补偿的标定工作,降低了高精度光电探测装置的成本。

[0047] 具体的,当光电探测装置的处于特定的线性工作区段下,例如线性光电探测器特定的电气性能条件下,又如对数光电探测器特定的线性拟合区段,输出量OUTPUT为接口采样ADC数据或ADC数据的对数值,与探测功率 P_{dBm} 的线性关系表示为:

$$[0048] \quad P_{dBm} = K * OUTPUT + C$$

[0049] 其中,Log10(ADC)为输出量对数值,K为斜率,C为截距,OUTPUT为输出量,当光电探测装置为线性光电探测器时,OUTPUT即接口采样ADC数据的对数值,一般具体为Log10(ADC)*10;当光电探测装置为对数光电探测器时,OUTPUT即接口采样ADC数据。目前一般根据线性光电探测器的Log10(ADC)*10值,进行线性拟合获得探测功率 P_{dBm} 值,根据对数光电探测器的ADC值,进行线性拟合获得探测功率 P_{dBm} 值。

[0050] 对光功率值与输出量线性关系的斜率K、以及截距C分别采用温度的二阶多项式函数进行拟合,具体如下:

$$[0051] \quad K = a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1$$

$$[0052] \quad C = a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2$$

[0053] 其中, T 为工作温度, $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ 为二阶多项式函数的参数, 通过数据拟合确定。优选采用三个校准拟合温度的采样数据进行拟合, 优选的校准拟合温度为 25°C 、 45°C 、 65°C , 考虑到 25°C 以下斜率 K 、以及截距 C 随温度的变化微小, 一般 25°C 以下可直接采用 25°C 的斜率 K 、以及截距 C 的值, 因此 25°C 的校准拟合能提高 25°C 以下温度范围的准确度, 另外考虑到光电探测其的工作环境, 一般不会超过 75°C , 因此最高的校准拟合温度接近工作环境温度的上限为宜, 选择 65°C , 取 25°C 与 65°C 的中间温度作为校准拟合温度, 能以最小的校准成本获得较高的拟合效果。

[0054] 对斜率 K 和截距 C 之一采用工作温度的二阶多项式函数进行拟合, 即可一定程度上实现温度补偿, 提高光电探测装置的准确度, 优先采用工作温度的二阶多项式函数对斜率 K 进行拟合实现温度补偿。较佳的, 同时对斜率 K 和截距 C 采用工作温度的二阶多项式函数进行拟合, 则经温度补偿的探测功率 P_{dBm} 按照如下方法计算:

$$[0055] \quad P_{\text{dBm}} = (a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{OUTPUT} + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)$$

[0056] 另外, 我们发现在探测的光功率较低时, 温度不仅仅影响光功率值与输出量对数值线性关系的斜率的截距, 出现其他干扰。反复实验证实, 对于光功率探测情形, 温度通过影响光电二极管 (包括 PD 和 APD) 的暗电流, 影响光电探测器的探测功率与 ADC 数据之间的线性关系。

[0057] 因此在较低的功率下, 需要对温度引起的暗电流干扰进行补偿。经过大量工程温度数据实验, 当光电探测装置的特定的线性工作区段下, 暗电流补偿功率 P_{dark} 会随温度 + 进行二阶多项式函数变化, 暗电流补偿功率 P_{dark} 采用二阶多项式函数进行回归拟合, 计算方法如下:

$$[0058] \quad P_{\text{dark}} = a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3$$

[0059] 其中, a_3, b_3, c_3 为二阶多项式函数的参数。

[0060] 采用拟合获得的暗电流补偿功率与工作温度的二阶多项式函数, 根据工作温度对光功率值进行暗电流补偿, 经温度补偿的探测功率 P_{dBm} 按照如下方法计算:

$$[0061] \quad P_{\text{dBm}} = \text{mw2dB}(\text{dB2mw}((a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{OUTPUT} + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)) - \text{dB2mw}(P_{\text{dark}}))$$

[0062] 其中, $\text{dB2mw}()$ 为将 dBm 值转化为 mW 值的转换函数 $P_{\text{mW}} = 10^{P_{\text{dBm}}/10}$; $\text{mw2dB}()$ 为将 mW 值转化为 dBm 值的转换函数 $P_{\text{dBm}} = 10 * \log_{10} P_{\text{mW}}$ 。

[0063] 本发明提供的光电探测装置温度模拟补偿系统, 包括温度传感器、存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序, 所述温度传感器, 用于测定光电探测器工作温度, 所述处理器用于根据光电探测器工作温度执行所述计算机程序时实现本发明提供的光电探测装置温度模拟补偿方法对光电探测器输出量的对数进行线性拟合及温度补偿, 获得探测光功率。

[0064] 本发明提供的光电探测系统, 包括光电探测装置、以及本发明提供的光电探测装置温度模拟补偿系统, 所述光电探测装置的输出量输出给所述光电探测装置温度模拟补偿系统, 所述光电探测装置温度模拟补偿系统对光电探测器输出量进行线性拟合及温度补偿, 获得探测光功率。

[0065] 所述光电探测装置为线性光电探测器或对数光电探测器。

[0066] 优选方案如图 1 所示, 所述光电探测装置为线性光电探测器, 包括串联的光电二极

管、跨阻放大器和运算放大器；所述跨阻放大器包括多个控制端以及多个并联的分压电阻，所述跨阻放大器的多个控制端通过使不同的分压电阻处于接入或非接入状态，改变光电探测装置的电气性能，使该线性光电探测器处于不同的特定的线性工作区段下；所述跨阻放大器输出端和所述运算放大器输出端，分别输出不同电探测装置的电气性能下的光电探测器输出量；所述光电探测装置温度模拟补偿系统，通过读取接入端口以及跨阻放大器控制端信号，确定所述光电探测装置的电气性能，并采用相应光电探测装置的电气性能下的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} 的二阶函数的参数计算线性拟合采用的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} ，对光电探测器输出量进行线性拟合获得探测光功率。

[0067] 通过改变光电探测器的电气性能，实现数据多级采样，通过多级采样的数据覆盖不同线性光电探测器工作范围，从而实现超宽范围的探测要求，达到75dB甚至以上的高精度宽范围光电探测。

[0068] 优选方案如图2所示，所述光电探测装置为对数光电探测器，包括串联的光电二极管、对数互阻放大器、以及运算放大器；所述光电探测装置温度模拟补偿系统，获取对数光电探测器的输出量，即接口采样ADC数据，根据接口采样ADC数据确定其所在的线性段，并采用相应线性段的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} 的二阶函数的参数计算线性拟合采用的斜率 K 、截距 C 、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} ，对光电探测器输出量进行线性拟合获得探测光功率。

[0069] 以下为实施例：

[0070] 实施例1线性光电探测系统

[0071] 本实施例提供的线性光电探测系统，包括线性光电探测器、以及光电探测装置温度模拟补偿系统。

[0072] 如图1所示，线性光电探测器，包括串联的光电二极管(PD)、跨阻放大器(TIA)和运算放大器(OP)；所述跨阻放大器包括多个控制端以及多个并联的分压电阻，所述跨阻放大器的多个控制端通过使不同的分压电阻处于接入或非接入状态，改变光电探测装置的电气性能，使该线性光电探测器处于不同的特定的线性工作区段下；

[0073] 所述光电TIA(跨阻放大器)+OP(运算放大器)线性放大探测控制电路是光信号和电信号之间的桥梁，在诸多领域均有比较广泛的应用。在光通信领域中，光电TIA(跨阻放大器)+OP(运算放大器)线性放大探测电路是获取光信号的重要途径和方法。光电TIA(跨阻放大器)+OP(运算放大器)放大探测电路将光信号转化成能被集成电路控制处理的电流信号，再将电流信号转化成电压信号，通过电压信号的变化来获取光的信息(光的强弱等)。光电TIA(跨阻放大器)+OP(运算放大器)线性放大探测电路中光电二极管(Photodiode)、模拟采样芯片(AD7266BCPZ)等是很重要的组件，通过探测光信号的强弱转过来输出相应的电流信号。通常光电TIA(跨阻放大器)+OP(运算放大器)放大探测电路放大范围是固定在一个比较窄的范围内(探测范围小于25dB，精度小于0.5dB)，这样会使探测的光信号带宽比较窄，更大范围的光信号会出现太大饱和或太小无法检测(光信号太弱，噪声干扰大)，同时太弱的光信号由于光电二极管(Photodiode)自身的暗电流现象，将无法准确的反映所探测的光信号的信息。

[0074] 通过3级光电TIA(跨阻放大器)+OP(运算放大器)线性放大探测控制电路和控制开关选择单元，两个控制选择开关的输入端通过第一电阻 $R1$ 、第二电阻 $R2$ 和第三电阻 $R3$ 连接

至第一级放大器的输出端TIA和过第二级运算放大器输出端OP。当两个开关选择第一种状态输出时(也就是1级光电探测TIA+OP线性放大打开),连接光电二极管(Photodiode)放大电路通过第一个电阻R1的输出端TIA,同时过第二级放大电路的输出端OP,此时可以得到两级采样的数据(LV1.K/C和LV2.K/C);当两个开关选择第二种状态输出时,连接光电二极管(Photodiode)放大电路通过第二个电阻R2的输出端TIA,同时过第二级放大电路的输出端OP,此时可以得到两级采样的数据(LV3.K/C和LV4.K/C);当两个开关选择第三种状态输出时,连接光电二极管(Photodiode)放大电路通过第三个电阻R3的输出端TIA,同时过第二级放大电路的输出端OP,此时可以得到两级采样的数据(LV5.K/C和LV6.K/C)。

[0075] 在不考虑光电二极管(Photodiode)温度变化的情况下,可得到6级的线性放大探测数据(6级分别表示:LV1.K/C、LV2.K/C、LV3.K/C、LV4.K/C、LV5.K/C和LV6.K/C)及暗电流(mW),示意图情况如图3所示。

[0076] 运行方式如下:当开关控制单元CTL1和开关控制单元CTL2组合时将会产生四种状态,分别是00、01、10和11(保留未用)。①当开关控制单(CTL1和CTL2)状态为00时,连接光电二极管(Photodiode)放大电路的电压信号将通过第一个电阻R1(510)输出TIA Out端,采样第1级线性放大数据,同时过第二级放大电路AMP(31)输出OP Out端,采样第2级线性放大数据。②当开关控制单(CTL1和CTL2)状态为01时,连接光电二极管(Photodiode)放大电路的电压信号将通过第二个电阻R2(330K)输出TIA Out端,采样第3级线性放大数据,同时过第二级放大电路AMP(31)输出OP Out端,采样第4级线性放大数据。③当开关控制单(CTL1和CTL2)状态为10时,连接光电二极管(Photodiode)放大电路的电压信号将通过第三个电阻R3(10M)输出TIA Out端,采样第5级线性放大数据,同时过第二级放大电路AMP(31)输出OP Out端,采样第6级线性放大数据。这样,可以得到6级的线性放大探测采样数据,满足超宽范围探测最大可以达到 $\geq 75\text{dB}$ 的要求。

[0077] 光电探测装置温度模拟补偿系统,硬件采用中央处理器及外设电路由高速微控制处理器(MCU)、处理器最小供电电路单元、及高速DA、AD、PWM和处理器IO口组成,是控制、检测和采集电路模块的核心部分。

[0078] 所述光电探测装置温度模拟补偿系统,通过读取接入端口以及跨阻放大器控制端信号,确定所述光电探测装置的电气性能。对于特定级别的线性放大探测数据采用相应光电探测装置的电气性能下的斜率K、截距C、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} 的二阶函数的参数计算线性拟合采用的斜率K、截距C、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} ,对光电探测器输出量进行线性拟合获得探测光功率。具体如下:

[0079] 通过高速微控制处理器(MCU)的高速AD接口采样ADC数据与探测功率的线性关系,最终每一级的拟合功率公式即为:

$$[0080] \quad P_{\text{dBm}} = K * \log_{10}(\text{ADC}) * 10 + C$$

[0081] 而每一级的探测范围都在14dB之内,这样顺序的6级功率探测即可满足超宽范围探测要求,最大可以达到 $\geq 75\text{dB}$ 。由于光电二极管(Photodiode)在掺铒光纤放大器(EDFA)应用过程中,会随环境温度的变化而变化。经过大量工程温度数据实验,可以看到式中的K、C值会随温度T进行二阶多项式函数变化。

[0082] 以第一级为例:K值随温度T变化曲线情况如图4所示, $R^2=0.9946$;C值随温度T曲线情况如图5所示, $R^2=0.9903$ 。

[0083] 通过上面K、C值随温度T变化情况,可以看出在低于25℃以下时均可不做温度相关的补偿;但温度变化高于25℃需要进行温度相关的补偿。可以通过大量实验数据拟合得出K、C值随温度T变化的公式如下(校准拟合温度分别为25℃、45℃和65℃):

$$[0084] \quad K = a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1$$

$$[0085] \quad C = a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2$$

[0086] 其中,T为工作温度, a_1 、 b_1 、 c_1 、 a_2 、 b_2 、 c_2 为二阶多项式函数的参数,针对每一段通过数据拟合确定。

[0087] 在环境温度变化下,光电二极管(Photodiode)在工作中产生的暗电流进行有效的补偿。暗电流通俗一点讲,首先,这个电流并非来自外界的光子产生的,而是来自元件内部的热噪声;其次,任何二极管都有一个理论特性即正向导通、反向截止,但现实中的光电二极管元器件,反向不可能做到真正的截止(反向饱和电流为0),最后暗电流是没办法完全消除,只能通过有效的补偿技术减小暗电流的影响(特别是在光信号比较弱时,光功率大小 $\leq -50\text{dBm}$ 时表现明显)。一般来说暗电流都很小,基本都在uA和nA量级,而在光通信领域,常用的光电二极管(Photodiode)暗电流都小于 $\leq 10\text{nA}$,同时暗电流指标可以用来判断二极管元件是否被击穿以及晶圆工艺是否存在问题。随温度变化,光电二极管(Photodiode)的暗电流也会随温度进行变化。经过大量工程温度数据实验,可以看到每一级暗电流补偿功率 P_{dark} 会随温度T进行二阶多项式函数变化,其中图6为第一级LV1.K/C暗电流功率(dBm)随温度的变化曲线,其中 $R^2 = 0.9983$ 。

[0088] 可以通过实验数据拟合最佳暗电流补偿功率 P_{dark} 与温度T变化的公式如下(校准拟合温度分别为25℃、45℃和65℃):

$$[0089] \quad P_{\text{dark}} = a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3$$

[0090] 其中, a_3 、 b_3 、 c_3 为二阶多项式函数的参数。

[0091] 经温度补偿的探测功率 P_{dBm} 按照如下方法计算:

$$[0092] \quad P_{\text{dBm}} = \text{mw}2\text{dB}(\text{dB}2\text{mw}((a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{Log}10(\text{ADC}) * 10 + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)) - \text{dB}2\text{mw}(a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3))$$

[0093] 本实施例提供的光电探测装置温度模拟补偿系统,按照如下方法计算光功率:

[0094] 当工作温度 $T \leq 25^\circ\text{C}$,且处于第一级或第二级时,对暗电流功率进行补偿,有:

$$[0095] \quad P_{\text{dBm}} = \text{mw}2\text{dB}(\text{dB}2\text{mw}(K * \text{Log}10(\text{ADC}) * 10 + C) - \text{dB}2\text{mw}(a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3))$$

[0096] 当工作温度 $T \leq 25^\circ\text{C}$,且处于第三级至第六级时,无需补偿:

$$[0097] \quad P_{\text{dBm}} = K * \text{Log}10(\text{ADC}) * 10 + C$$

[0098] 当工作温度 $T > 25^\circ\text{C}$,且处于第一级或第二级时,对温度及暗电流功率进行补偿:

$$[0099] \quad P_{\text{dBm}} = \text{mw}2\text{dB}(\text{dB}2\text{mw}((a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{Log}10(\text{ADC}) * 10 + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)) - \text{dB}2\text{mw}(a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3))$$

[0100] 当工作温度 $T > 25^\circ\text{C}$,且处于第三级至第六级时,对温度进行补偿:

$$[0101] \quad P_{\text{dBm}} = (a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{Log}10(\text{ADC}) * 10 + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)$$

[0102] 其中 a_1 、 b_1 、 c_1 、 a_2 、 b_2 、 c_2 ,根据电气性能决定的下线性工作区段(LV1.K/C、LV2.K/C、LV3.K/C、LV4.K/C、LV5.K/C和LV6.K/C)分区段拟合获取, a_3 、 b_3 、 c_3 亦可根据工作区段(LV1.K/C、LV2.K/C)分段拟合获取。

[0103] 经测定:在环境温度 $-5^\circ\text{C} \sim +65^\circ\text{C}$ 之下,光电二极管(Photodiode)功率的超宽探测

范围在-60dBm~20dBm之外,超过75dB探测范围;在环境温度-5℃~+65℃之下,光电二极管(Photodiode)探测75dB功率的范围内,误差精度小于0.5dB(探测功率小于-50dBm时,通过暗电流温度相关补偿技术,精度仍然满足这一要求)。

[0104] 实施例2对数光电探测系统

[0105] 本实施例提供的对数光电探测系统,结构如图7所示,包括对数光电探测器、以及光电探测装置温度模拟补偿系统。

[0106] 如图2所示,对数光电探测器,包括串联的光电二极管、对数互阻放大器(AD8304芯片)、以及运算放大器电路(AMP(2))。对数放大器一般取其线性关系良好的中间区段作为工作区段,两端的输出量与光功率之间的线性关系恶化,弃之不用。为了拓宽对数光电探测器的工作范围,对线性工作范围以外的低功率段或高功率段进行温度补偿和/或暗电流补偿。对于工作范围亦可通过温度补偿和暗电流补偿提高探测精度。总体而言可低成本的实现工作范围拓宽和精度提高。

[0107] 光电探测装置温度模拟补偿系统,硬件采用中央处理器及外设电路由高速微控制处理器(MCU)、处理器最小供电电路单元、及高速DA、AD、PWM和处理器IO口组成,是控制、检测和采集电路模块的核心部分。

[0108] 所述光电探测装置温度模拟补偿系统,通过高速微控制处理器(MCU)读取对数光电探测器的接口采样ADC数据作为输出量。根据接口采样ADC数据确定其所在的线性段,并采用相应线性段的斜率K、截距C、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} 的二阶函数的参数计算线性拟合采用的斜率K、截距C、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} ,对光电探测器输出量进行线性拟合获得探测光功率。具体为:

[0109] 在不考虑光电二极管(Photodiode)温度变化和暗电流影响的情况下,由ADC2和ADC3分段,可得到3段的LOG放大探测数据(3段分别表示:LV1-1.K/C、LV1-2.K/C、LV1-3.K/C),示意图如图8。

[0110] 对以上三段分别采用线性拟合,其中LV1-2.K/C的线性拟合程度良好,即一般对数光电探测的工作区段,示意图如图9。在最低一级放大电路LV1-1.K/C中(-55dBm~-60dBm),采样数据呈现非线性特征,经分析是暗电流引起,且随温度变化。

[0111] 所述光电探测装置温度模拟补偿系统,获取对数光电探测器的输出量,即接口采样ADC数据,根据接口采样ADC数据确定其所在的线性段,并采用相应线性段的斜率K、截距C、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} 的二阶函数的参数计算线性拟合采用的斜率K、截距C、和/或暗电流补偿功率 P_{dark} ,对光电探测器输出量进行线性拟合获得探测光功率。具体如下:

[0112] 本实施例提供的光电探测装置温度模拟补偿系统,对对数光电探测器其中每一区段的拟合功率公式为:

[0113] $P_{\text{dBm}} = K * \text{ADC} + C$

[0114] 从MCU的AD接口读取对应PD的ADC值,根据ADC值所在的范围,确定区段。根据工作温度对该区段的K、C值进行补偿后,计算光功率:

[0115] 以第一级(LV1.K/C)为例:K值随温度T曲线情况如图10所示, $R^2=0.9902$;C值随温度T曲线情况如图11所示, $R^2=0.987$ 。

[0116] 经测定:在环境温度-5℃~+65℃之下,光电二极管(Photodiode)功率的超宽探测范围在-60dBm~20dBm之外,超过75dB探测范围;可以通过大量实验数据拟合得出K、C值随

温度T变化的公式如下(校准拟合温度分别为25℃、45℃和65℃):

$$[0117] \quad K = a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1$$

$$[0118] \quad C = a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2$$

[0119] 其中,T为工作温度, a_1 、 b_1 、 c_1 、 a_2 、 b_2 、 c_2 为二阶多项式函数的参数,通过数据拟合确定。

[0120] 经过大量工程温度数据实验,可以看到每一级暗电流补偿功率 P_{dark} 会随温度T进行二阶多项式函数变化,其中图12为第一级LV1.K/C,暗电流功率(dBm)随温度的变化曲线 $R^2=0.9982$ 。

[0121] 可以通过实验数据拟合最佳暗电流补偿功率 P_{dark} 与温度T变化的公式如下(校准拟合温度分别为25℃、45℃和65℃):

$$[0122] \quad P_{\text{dark}} = a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3$$

[0123] 其中, a_3 、 b_3 、 c_3 为二阶多项式函数的参数。

[0124] 经温度补偿的探测功率 P_{dBm} 按照如下方法计算:

$$[0125] \quad P_{\text{dBm}} = \text{mw2dB}(\text{dB2mw}((a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{ADC} + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)) - \text{dB2mw}(a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3))$$

[0126] 本实施例提供的光电探测装置温度模拟补偿系统,按照如下方法计算光功率:

[0127] 从MCU的AD接口读取对应PD的ADC值,判断ADC值与ADC2、ADC3的大小关系:

[0128] 当 $\text{ADC} < \text{ADC2}$ 时,对暗电流进行补偿,温度工作温度 $T \leq 25^\circ\text{C}$ 时,无需对温度进行补偿,有:

$$[0129] \quad P_{\text{dBm}} = \text{mw2dB}(\text{dB2mw}(K * \text{ADC} + C) - \text{dB2mw}(a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3))$$

[0130] 工作温度 $T > 25^\circ\text{C}$ 对温度进行补偿,有:

$$[0131] \quad P_{\text{dBm}} = \text{mw2dB}(\text{dB2mw}((a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{ADC} + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)) - \text{dB2mw}(a_3 * T^2 + b_3 * T + c_3))$$

[0132] 当 $\text{ADC2} \leq \text{ADC} \leq \text{ADC3}$ 时,处于对数功率探测装置的线性工作区段内, $T \leq 25^\circ\text{C}$ 不补偿,有:

$$[0133] \quad P_{\text{dBm}} = K * \text{Log10}(\text{ADC}) * 10 + C$$

[0134] 工作温度 $T > 25^\circ\text{C}$ 对温度进行补偿,有:

$$[0135] \quad P_{\text{dBm}} = (a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{OUTPUT} + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)$$

[0136] 当 $\text{ADC3} < \text{ADC}$ 时,需要对温度进行补偿,有:

$$[0137] \quad P_{\text{dBm}} = (a_1 * T^2 + b_1 * T + c_1) * \text{ADC} + (a_2 * T^2 + b_2 * T + c_2)$$

[0138] 其中 a_1 、 b_1 、 c_1 、 a_2 、 b_2 、 c_2 ,根据工作区段(LV1-1.K/C、LV1-2.K/C、LV1-3.K/C)分区段拟合获取。

[0139] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

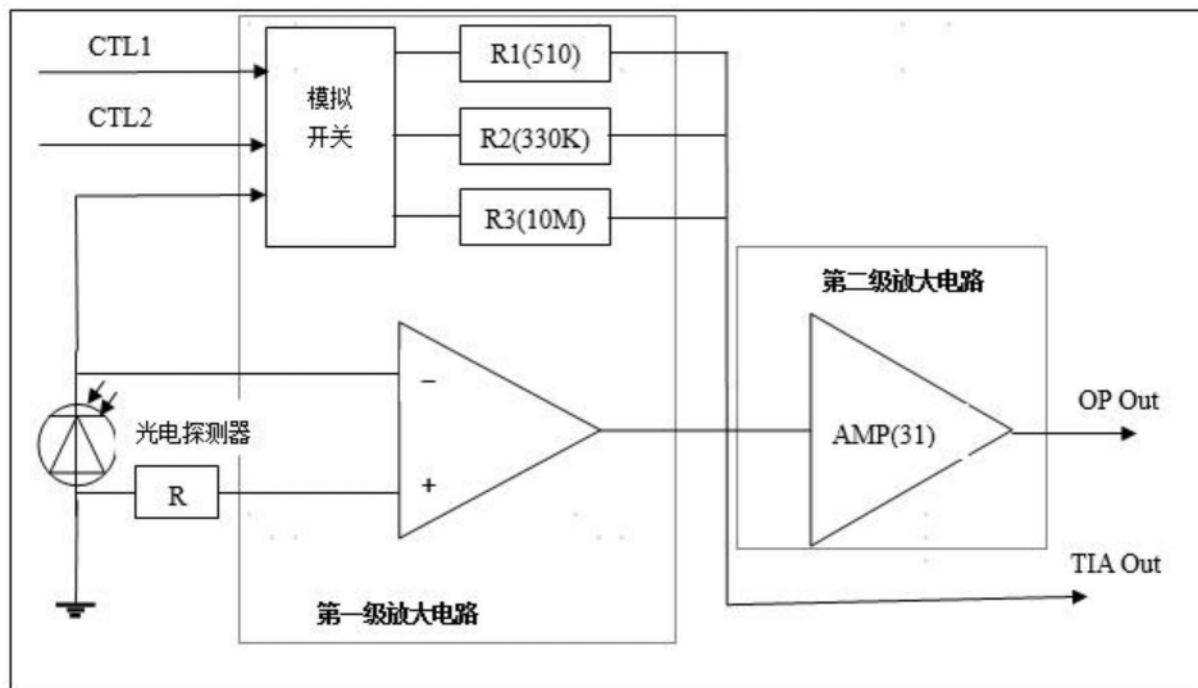


图1

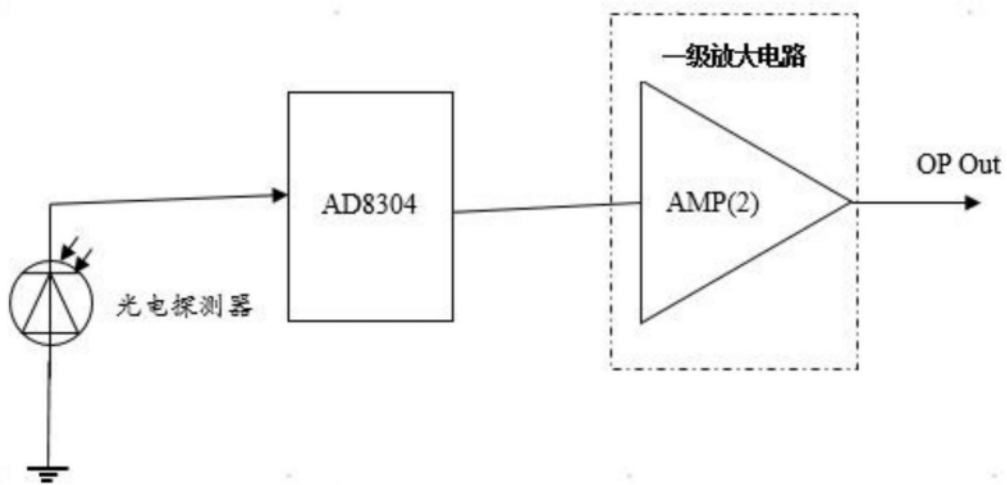


图2

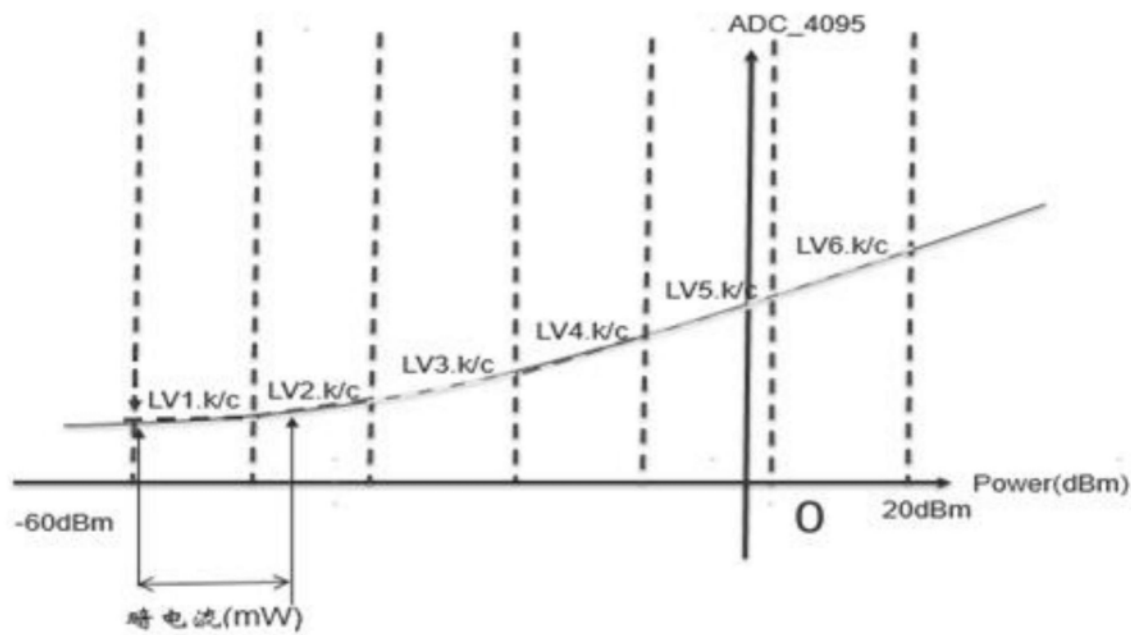


图3

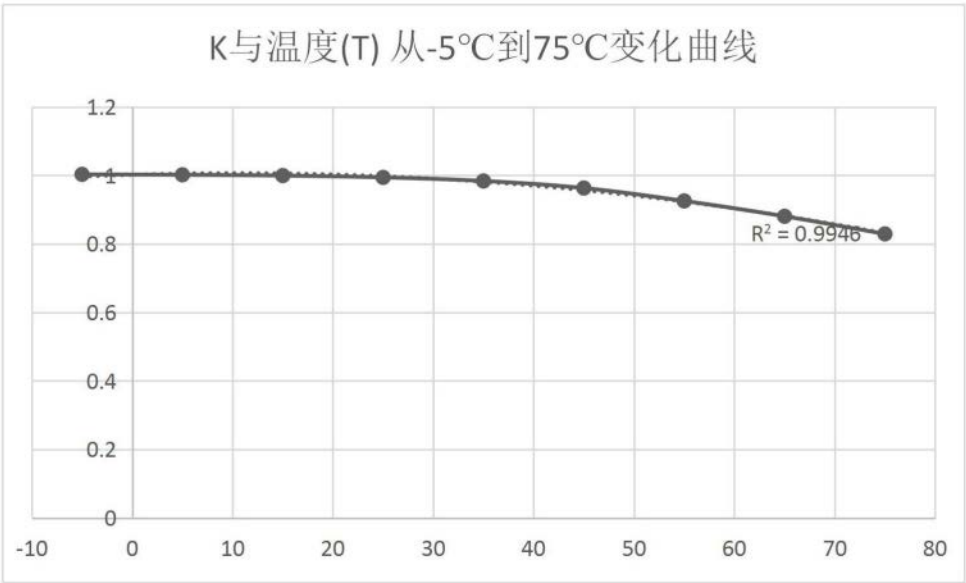


图4

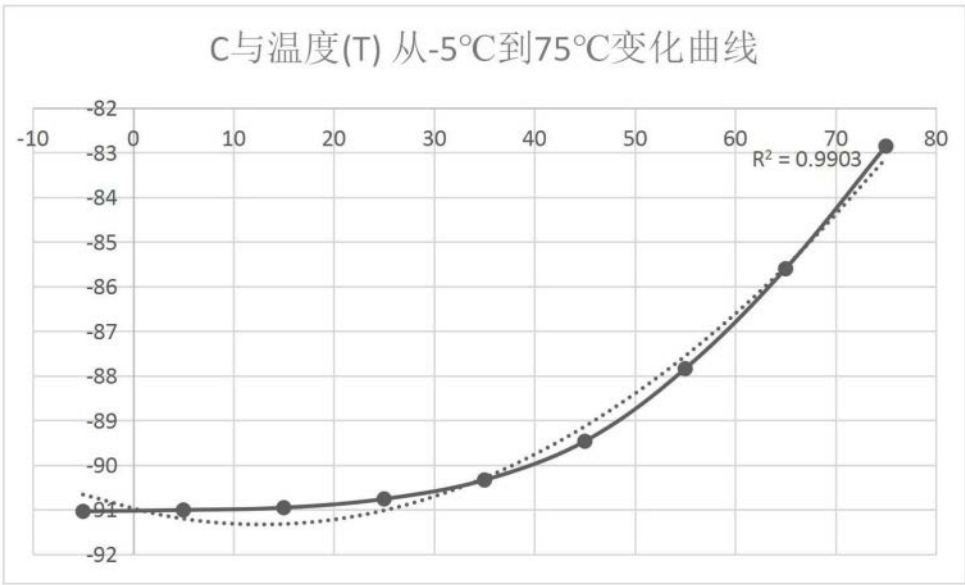


图5

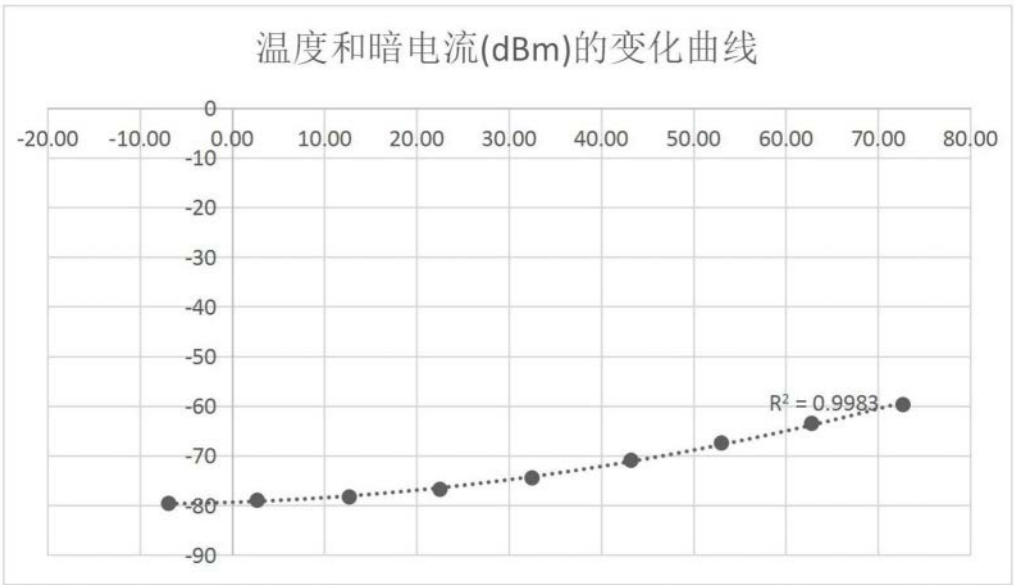


图6

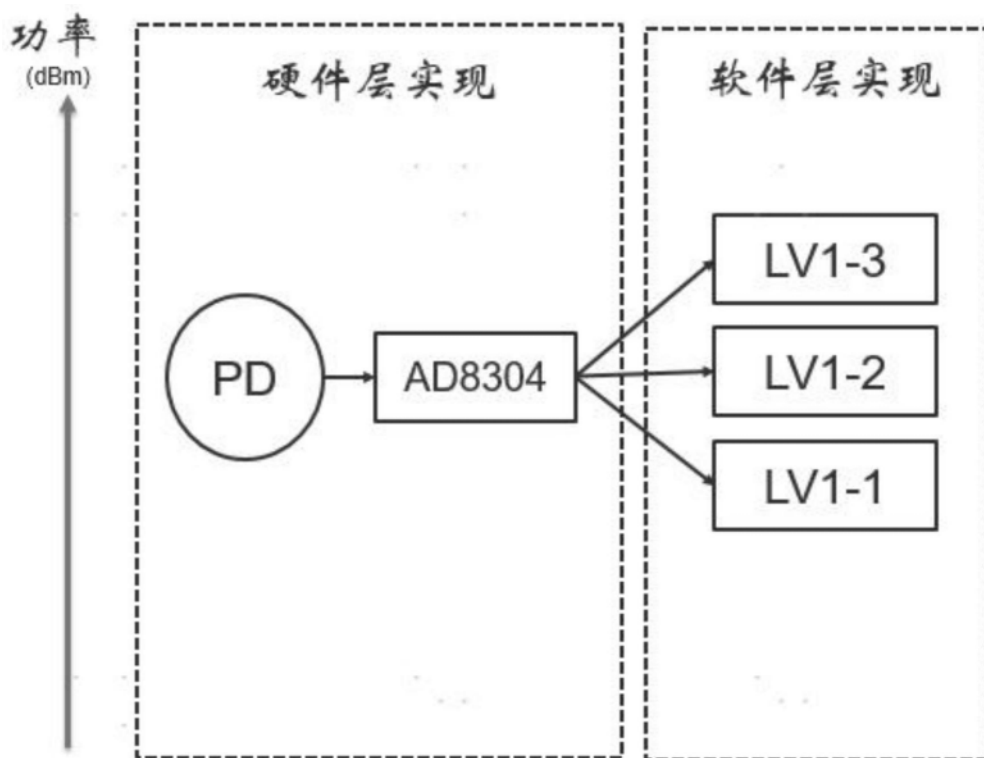


图7

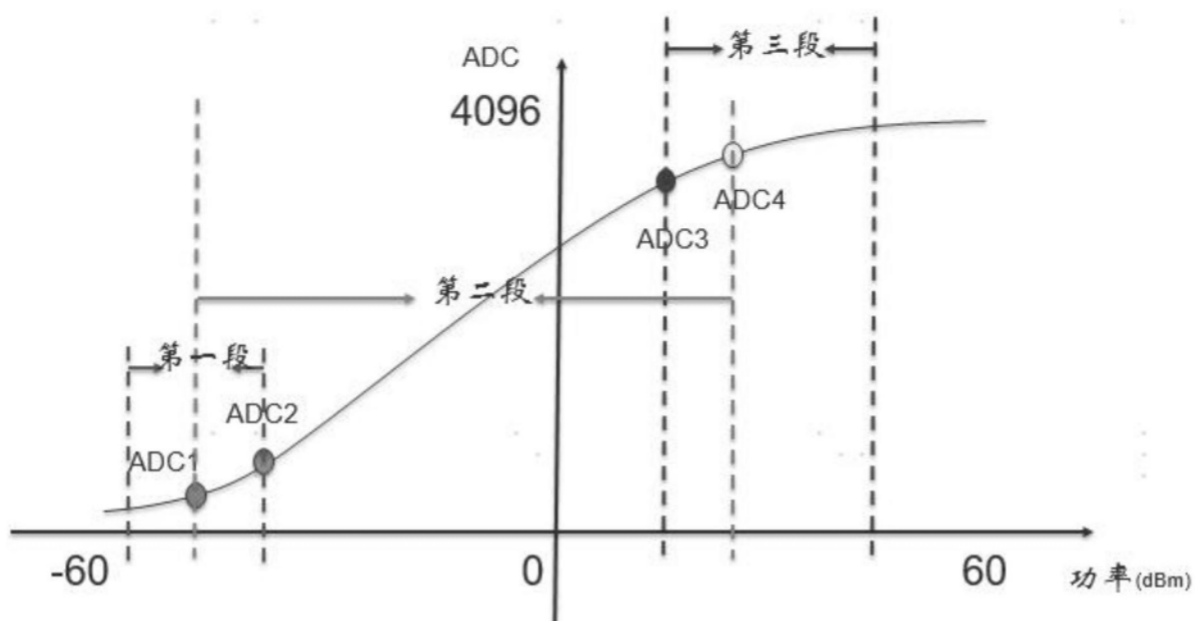


图8

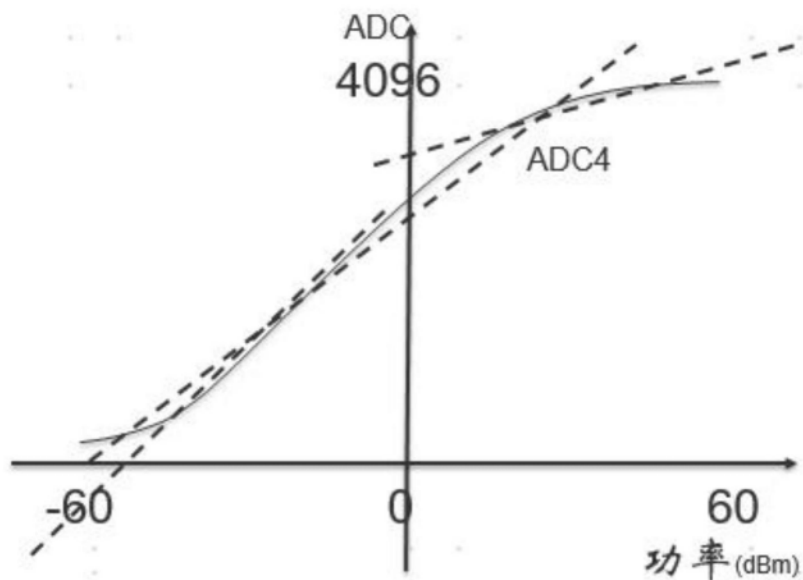


图9

K与温度(T) 从-5°C到75°C变化曲线

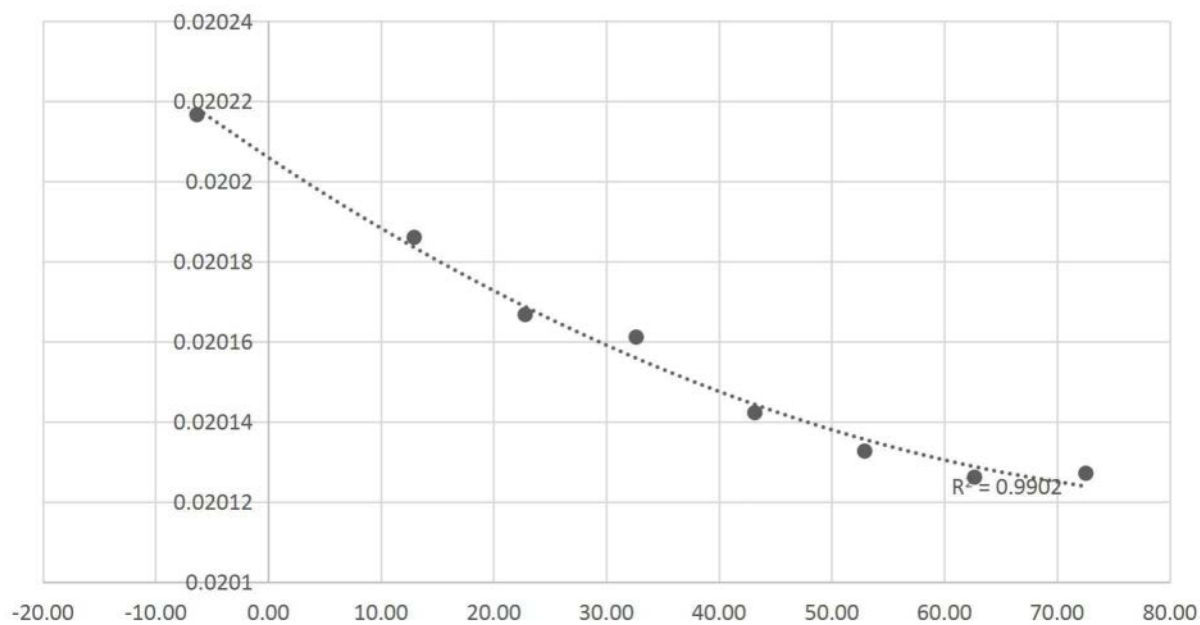


图10

C与温度(T) 从-5°C到75°C变化曲线

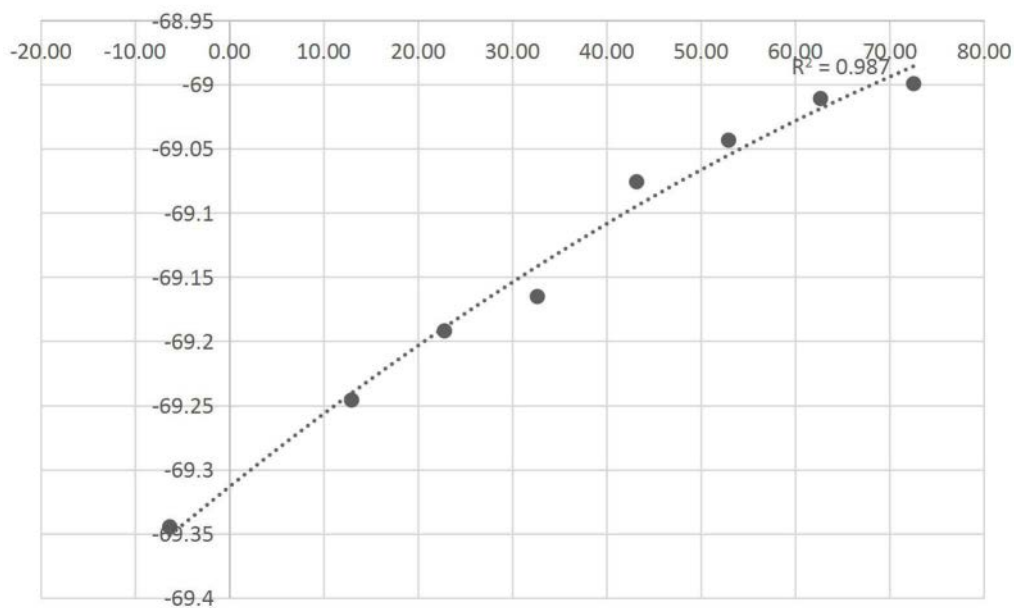


图11

温度和暗电流(dBm)的变化曲线

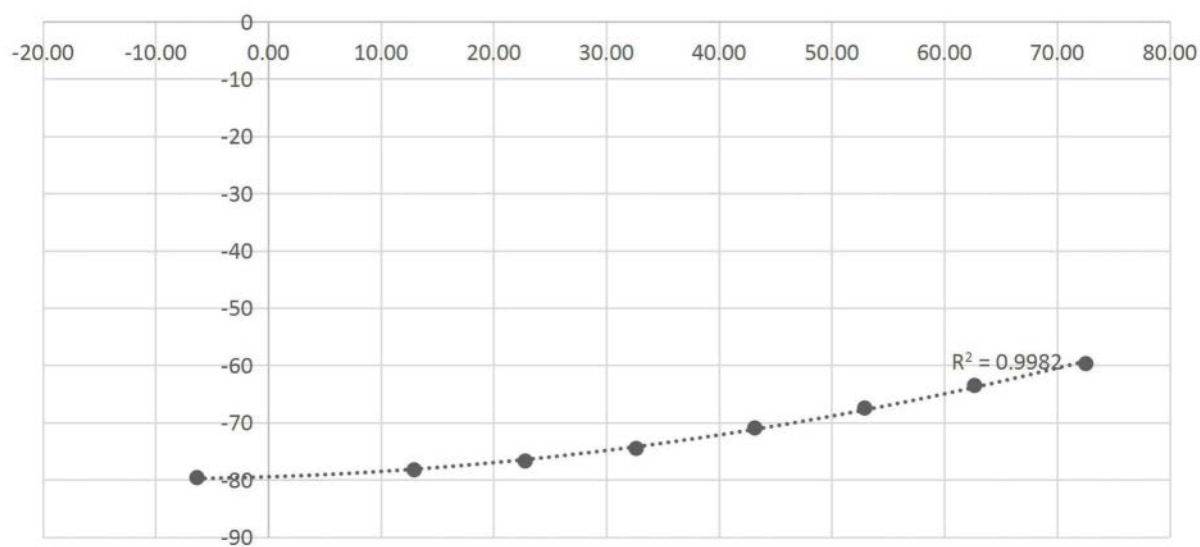


图12