

OTDR 设计中 APD 偏置电压的自适应精确控制

张超¹, 彭怀敏¹, 李海波², 杨斌³

(1. 中国电子科技集团公司 第三十四研究所, 广西 桂林 541004;

2. 中国人民解放军 96713 部队; 3. 科技部高技术研究发展中心, 北京 100044)

摘要:针对相同偏置电压下雪崩光电二极管(APD)的增益会随温度变化,从而影响到光时域反射仪(OTDR)的动态范围的问题,提出了一种 APD 偏置电压自适应精确控制的方案。在各个适宜的工作温度下,该方案可以保证偏置电压始终工作在接近雪崩电压,使 APD 在最佳增益时稳定工作,从而提高 OTDR 的动态指标,并解决 OTDR 高低温测试时动态范围波动大的问题,使得动态范围波动被控制在 0.3 dB 以内。

关键词:雪崩光电二极管;精确温补;自适应;光时域反射仪

中图分类号:TN256 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2020)04-0033-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.04.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Adaptive precise control of APD bias voltage in OTDR design

ZHANG Chao¹, PENG Huaimin¹, LI Haibo², YANG Bin³

(1. The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China; 2. Unit 96713 of the Chinese people's Liberation Army;

3. High tech research and development center of the Ministry of science and technology, Beijing 100044, China)

Abstract: Aiming at the problem that the avalanche photo diode (APD) gain changes with temperature under the same voltage, which affects the dynamic range of the optical time domain reflectometer (OTDR), an adaptive precise control scheme of APD bias voltage is proposed. At each suitable operating temperature, This scheme can ensure that the bias voltage is always close to the avalanche voltage, and make APD work stably at the best gain, so as to improve the dynamic index of OTDR, and solve the problem of large dynamic range fluctuation in the high and low temperature test of OTDR, so that the dynamic range fluctuation is controlled within 0.3 dB.

Key words: avalanche photo diode; precise temperature compensation; adaptive; optical time domain reflectometer

0 引言

雪崩光电二极管(APD)是一种高速、高灵敏度的光电二极管,其光电流的产生机制与 PIN 光电二极管相同。两者的不同之处在于 APD 具有内部电流增益,可以产生雪崩倍增效应,能将信号倍增至上百倍,从而实现比 PIN 更高的信噪比,以至于被广泛应用于光时

域反射仪(OTDR)、光纤传感、光纤通信和激光测距等领域^[1,2]。然而,APD 的雪崩倍增效应在放大所需信号的同时,也会对光电二极管中的暗电流产生影响,且 APD 的雪崩倍增效应还会随温度的变化而变化,进而影响到 OTDR 的动态指标及其在温度变化时的稳定性。因此,如何使 APD 的雪崩倍增效应得到最大化利用的同时而不受倍增噪声的影响^[3],又如何保证 APD 在各个适宜温度下工作状态的稳定性,是 APD 应用在 OTDR 中的一个重要问题。本文提出一种 APD 偏置电压自适应精确控制方案。

1 APD 最佳工作状态分析

当 APD 输出信号的信噪比最大时,可以认为 APD 处于最佳工作状态。温度、入射光功率、暗电流、负载大

收稿日期:2019-09-24。

作者简介:张超(1983—),男,汉族,毕业于西安电子科技大学通信工程学院电子信息工程专业,先后工作于中国电科第十三研究所及三十四所,工作内容涉及微波和光,目前主要的研究方向为光检测及光传感技术的研究和应用。



小和材料都是 APD 最佳工作状态的影响因素。由于入射光功率、负载大小及材料由具体环境决定,而暗电流随温度升高而增长,所以在这些影响因素中,温度的影响最为突出。APD 雪崩增益因子 M 在温度影响下与偏置电压 U 的关系如图 1 所示。在 APD 偏置电压一定的情况下,当温度变化时,APD 雪崩增益因子随之变化,APD 的雪崩电压点也相应地发生变化,此时 APD 的工作状态就发生了变化。因此,为了保证 APD 在各个适宜的温度范围内都能保持最佳或者稳定的工作状态,为偏置电压提供精确的温度补偿是必不可少的。

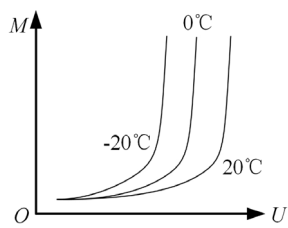


图 1 APD 雪崩增益因子在温度影响下与偏置电压的关系

2 系统结构及工作原理

APD 偏置电压自适应精确控制系统的原理框图如图 2 所示。LNA 为低噪声放大器,ADC 为模数转换器,POW 为可调 APD 供电电源,MCU 为处理器,TMP 为温度传感器。

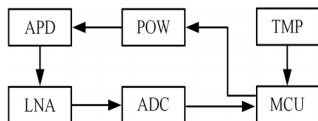


图 2 APD 偏置电压自适应精确控制系统原理框图

在系统工作前,需要建立预设特征参数表。特征参数有 2 类:一是模数转换器采样数据与 APD 偏置电压的对应关系表;二是温度与 APD 偏置电压的对应关系表。

2.1 对一类特征参数的建表

在系统运行时,APD 的输出信号在经 LNA 放大后,通过 ADC 采集转换为数字信号输入到 MCU 中,MCU 连续读取输入的噪声信号,并通过计算即可得到一定时段内的噪声电平均值。以此噪声电平均值为噪声信号的特征参数,其建表流程如图 3 所示。

具体建表流程如下:

首先,在常温下为 APD 设置一个较低的偏置电压,同时 MCU 连续采集噪声信号的特征参数。然后,MCU 控制可调 APD 供电电源逐渐升高 APD 的偏置电压,根据 APD 的特性,其噪声电平也会相应升高;当由暗电流引起的噪声电平发生突变(即急剧升高)时,即可视为获得该 APD 在此温度下的雪崩电压 V_B ,此时得到的噪声电平就是雪崩电压时的噪声门限,并作为 APD 在该温度下的预设特征参数。由于此特征参数是在某一温度下 APD 偏置电压接近雪崩电压时建立的,所以这时 APD 处于该温度下的最佳增益状态。

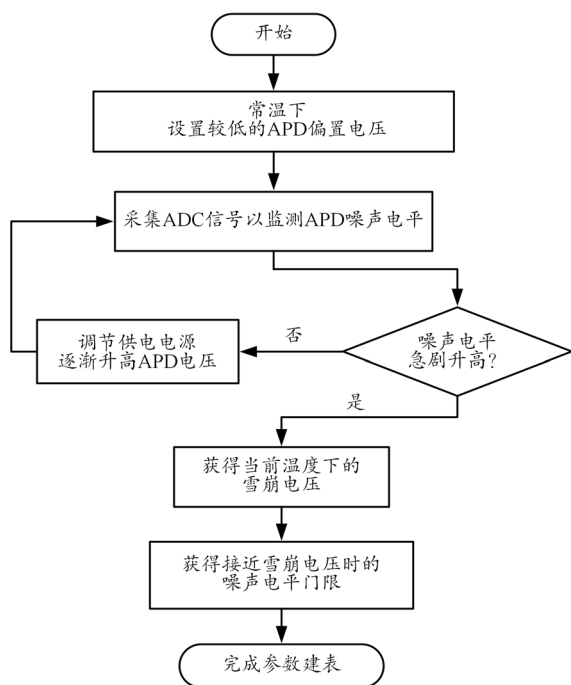


图 3 一类特征参数建表流程

在系统正常运行时,当温度发生变化,MCU 将此时输入的噪声信号的特征参数与 MCU 内预设的特征参数作比较:当信号特征参数小于预设特征参数时,MCU 控制可调 APD 供电电源升高 APD 偏置电压;当信号特征参数大于预设特征参数时,则控制其降低 APD 偏置电压,直至与预设特征参数相等。因此,使 APD 偏置电压快速稳定在接近雪崩电压处,此时 APD 再次处于该温度下的最佳增益工作状态,从而实现了在温度变化的情况下自适应精确控制 APD 偏置电压的目的。

如果预设的特征参数在该温度下 APD 偏置电压未接近雪崩电压时,即参数在该温度下选取的 APD 偏置电压未处于最佳增益工作状态,而是在 APD 偏置电压处于其工作电压范围内的任意一点选取时,在这种情况下,当温度变化时,MCU 仍然会调节 APD 偏置电压使得其输入的信号特征参数与预设的特征参数相等。但是,此时 APD 并不会工作在该温度下的最佳增益状态,而是与选取预设特征参数时 APD 的工作状态一致。这种特性也可以用以保持 APD 工作状态在温度变化下的稳定性。

2.2 对二类特征参数的建表

由于需要人为控制 APD 的温度并预设温度对应 APD 偏置电压的关系表,为此,本文将整个系统置入高低温试验箱中。在系统运行时,通过脉冲光源向 APD 连续发送稳定的脉冲光信号,该信号经 LNA 放

大后通过 ADC 采集转换为数字信号并输入到 MCU 中,MCU 读取输入的脉冲信号的峰值电平,并通过计算即可得到一定时段内的峰值电平均值。以此峰值电平均值作为脉冲信号的特征参数,其建表流程如图 4 所示。

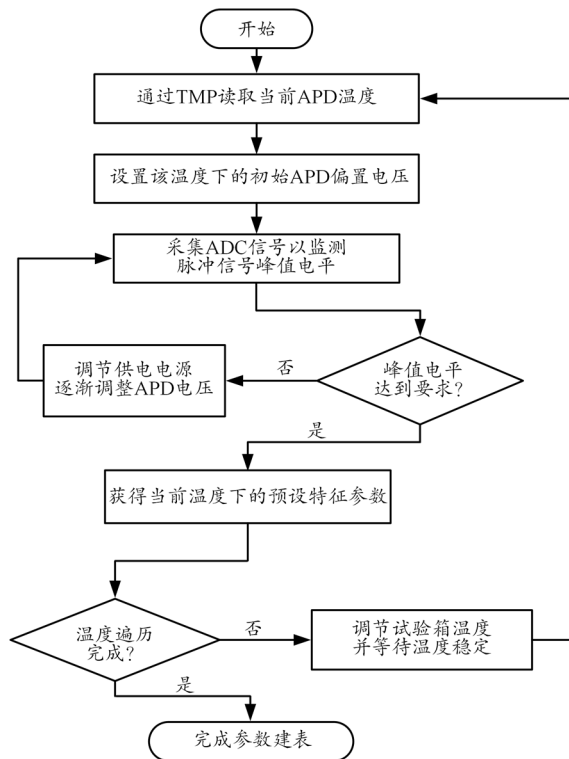


图 4 二类特征参数建表流程

具体建表流程如下:

首先,使高低温试验箱稳定缓慢地在需要的温度范围内进行温度变化,单调升高或者降低。在需要精确控制的温度下为 APD 设置初始的偏置电压,同时 MCU 连续采集脉冲信号的特征参数。然后,MCU 控制可调 APD 供电电源逐渐调节 APD 的偏置电压,当 APD 工作在最佳增益状态或者其它符合试验目的的工作状态时,此时的峰值电平均值即为该温度下的预设信号特征参数,并将 APD 偏置电压与 TMP 测量传回的温度信息建立关联。

二类特征参数建表完成后,将得到各个温度对应的 APD 偏置电压的关系表,将该表存入 MCU。当系统工作时,TMP 测量当前温度并返回给 MCU。MCU 根据温度控制可调 APD 供电电源输出与预存值相同的 APD 偏置电压,使 APD 工作在预先设定的工作状态,以达到任意温度下任意精确控制 APD 偏置电压的目的。

3 试验验证

为了对 APD 偏置电压自适应精确控制系统进行验证,本文设计以下硬件电路方案并进行测试。其中,可调 APD 供电电源选用 MAX1932 芯片,该芯片具有通过串行数字信号精确控制电压输出的功能,电压范围越小则精确度越高;ADC 选用 ADC10065 芯片,并口数字输出,400 MHz 带宽,适合大部分高速信号采集应用环境;MCU 选用 EP4CE55F23I8N 芯片,该芯片可高速运行,有效地缩短温度自适应时间;TMP 选用 ADT7320 芯片,在 $-10^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ 范围内可达 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 的测量精度。

在 20°C 时,测量得到试验使用的 APD 雪崩电压在该温度下为 43.6 V。为了使 APD 能够工作在最佳增益的状态,必须使 APD 偏置电压尽量接近雪崩电压,所以将 APD 偏置电压设置为 43.5 V。此时采集计算后得到暗电流噪声电平均值为 85 mV,于是将预设参数设置为 85 mV。在加入脉冲宽度为 150 ns 的入射光脉冲后,此时采集计算后得到光脉冲的峰值电平均值为 4.85 V。

在预设参数设置好后,把系统置于 $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 的温变环境下测试系统的自适应情况。不同温度下自适应精确控制 APD 偏置电压后的测试结果如图 5 所示,在温度变化的情况下,MCU 自动将 ADC 返回的噪声信号特征参数与预存的特征参数 85 mV 作比较,并根据比较结果自动调整 APD 偏置电压,直至与特征参数相等。APD 输出稳定后,此时加入与预设参数时相同的 150 ns 脉冲入射光进行测试,测量得到峰值电平均值均为 4.85 V。由此可知,在 APD 偏置电压自适应精确控制系统的辅助下,APD 在温度变化的情况下均保持工作在最佳增益状态,且保持增益幅度稳定一

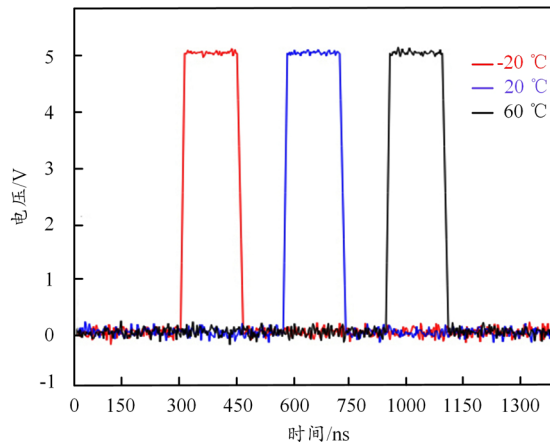


图 5 不同温度下自适应精确控制 APD 偏置电压后的测试结果

致。

以光脉冲峰值电平均值作为预设参数进行试验的情况与上述情况一致,APD 均可以在各种温度下稳定保持在最佳增益的工作状态。

MCU 可以在各种温度下自动记录并输出自适应调整后的 APD 偏置电压,当 APD 偏置电压取自 APD 的雪崩电压时,自适应精确控制 APD 偏置电压后各温度下的雪崩电压值如图 6 所示,该方法可用于测试 APD 性能验证,也可用于 APD 批次产品性能的一致性测试。

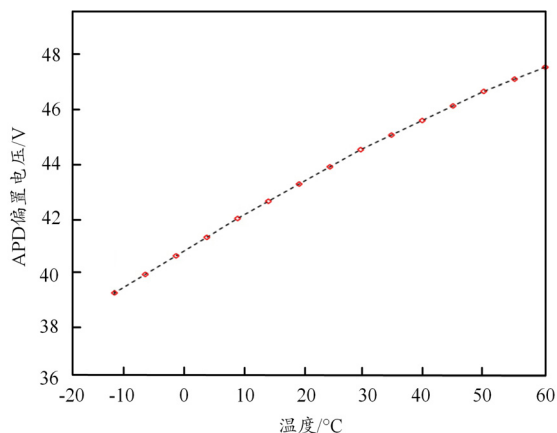


图 6 自适应精确控制 APD 偏置电压后各温度下的雪崩电压值

4 APD 在 OTDR 中的应用

早期的 OTDR 中,APD 工作在固定的偏置电压下,并没有根据温度来进行调节。本文对 SV20C 型号 OTDR 在低温-10 °C 与高温+50 °C 下进行测试,测量可见其动态范围波动较大,如表 1 所示,其动态范围的波动可达 2.5 dB。

现在的 OTDR 中,一种是 APD 偏置电压固定,使用模拟电路对 APD 进行温度补偿。然而,此类设计方案的缺陷均在于精确度较低,只能对 APD 在一定温度范围内做一个粗略的补偿。在对此类 OTDR 的 SV20C 型号产品进行高低温测试时,测得其动态范围波动在 1~2 dB 之间,但相对于早期无温补的产品显然有了一定的改善。

本文引入了分段调节 APD 偏置电压的功能,可以通过温度传感器读取 APD 的温度,并根据温度通过开关对 APD 偏置电压进行分段调节。

表 1 3 种 APD 偏置电压调节方式
在高低温环境下时 OTDR 动态范围的波动

偏置电压	波长 (nm)	-10 °C 时的 动态范围(dB)	50 °C 时的 动态范围(dB)	高低温相差 (dB)
APD 偏置 电压固定	1310	39.8	37.3	2.5
	1550	37.2	35.1	2.1
APD 偏置电 压分段调节	1310	40.1	38.8	1.3
	1550	37.3	36.2	1.1
APD 偏置电 压精确调节	1310	40.4	40.2	0.2
	1550	39.3	39.0	0.3

在引入 APD 偏置电压自适应精确控制系统的方案后,通过温度传感器读取 APD 温度,并精确控制其偏置电压,再次对同一型号产品进行高低温测试后可见,APD 偏置电压自适应精确控制系统有效地提高 OTDR 的动态,并将高低温下 OTDR 动态范围稳定在 0.3 dB 以内,同时使 APD 始终保持工作在最佳增益状态。

5 结束语

本文设计的 APD 偏置电压自适应精确控制系统,可以保证 APD 在各种适宜的工作温度下,其偏置电压始终稳定地保持工作在接近雪崩电压或其它所需的工作状态,从而提高 OTDR 的动态指标。在试验中,该系统使 OTDR 在高低温测试时的动态范围波动被控制在 0.3 dB 之内,有效地解决了 OTDR 在高低温测试时动态范围波动大的问题。该系统同样适宜于应用在各种对 APD 性能要求较高、对 APD 增益一致性要求较好、需要各温度下精确控制不同增益或者是对 APD 性能的检测等场合。

参考文献:

- [1] 王永纲. APD 探测器低噪声前端电子学研究 [J]. 核电子学与探测技术, 2006, 26(3): 280-283.
- [2] 张志强, 王萍, 邹宇, 等. 低纹波低功耗自动控制 APD 偏压电路[J]. 测绘工程, 2007, 16(1): 62-65.
- [3] 周翔, 徐明阳, 张久明. 高灵敏度 APD 光接收机的设计与实现[J]. 通信技术, 2015, 39(9): 30-32.

欢迎刊登广告!