

文章编号: 1672-8785(2018)04-0022-05

一种高灵敏度近红外光纤光功率计的设计

孙 超 韩顺利 闫继送 陈晓峰

(中国电子科技集团公司第四十一研究所, 山东 青岛 266555)

摘 要: 基于 InGaAs 光电二极管设计了一种高灵敏度的近红外光纤光功率计。该光功率计的前置放大电路采用多档放大量程设计, 外加屏蔽盒, 提高了测量动态范围。采用差分放大器、差分 A/D 转换芯片抑制系统的共模噪声。通过温度传感器测量了环境温度, 使用 D/A 转换芯片对前置放大电路进行动态调零, 从而抑制了系统的杂散光噪声、光电探测器的暗电流噪声以及光电探测器的温度漂移。测试表明, 该光功率计在光纤通信光波段的光功率测量灵敏度达到 -90 dBm, 测量动态范围、系统信噪比、线性度等指标均显著提高。

关键词: 光纤光功率计; 光电二极管; 灵敏度; 近红外

中图分类号: TN929.11 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.04.005

Design of a High Sensitivity Near Infrared Fiber-Optical Power Meter

SUN Chao, HAN Shun-li, YAN Ji-song, CHEN Xiao-feng

(The 41st Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Qingdao 266555, China)

Abstract: A high sensitivity near infrared fiber-optical power meter is designed on the basis of InGaAs photo-diodes. Because the preamplifier circuit of this optical power meter is designed with a multilevel amplification range and a shielding box is added in, the measurement dynamic range is improved. In the power meter, the system common-mode noise is suppressed by a differential amplifier and a differential A/D conversion chip; the ambient temperature is measured by a temperature sensor; and the preamplifier circuit is adjusted to zero automatically by a D/A conversion chip. Thus, the stray light noise of the system, the dark current of the photoelectric detector and the temperature drift of the photoelectric detector are suppressed. The test results show that the light power measurement sensitivity of the fiber-optical power meter is up to -90 dBm in the fiber-optical communication band. Its measurement dynamic range, system signal-to-noise ratio and linearity are improved notably.

Key words: fiber-optical power meter; photodiode; sensitivity; near infrared

0 引言

随着光纤通信及光纤传感技术的发展, 光

功率计已经成为光纤各应用领域的必备测试仪器之一^[1]。在光纤传输系统中, 光通过光纤及

收稿日期: 2018-03-05

作者简介: 孙超(1988-), 男, 山东青岛人, 硕士, 工程师, 主要从事光电检测技术研究。

E-mail: sunchao6869@163.com

其他光学器件进行发送、传输、接收和解调, 光纤系统中的光功率、光衰减、插入损耗和传输损耗等相关参数均需用光功率计测量^[2,3]。

目前国内的光纤光功率计的测量灵敏度低, 当光功率小于 -75 dBm 时, 多数光功率计难以满足高精度测试的需求^[4]。本设计基于低暗电流的 InGaAs 光电探测器, 通过优化前置放大电路设计, 使之能良好地屏蔽、滤波和降噪; 利用多波长多量程高精度校准技术, 提高光纤光功率计的灵敏度与线性度, 实现高灵敏度、大动态范围的光功率测量。本文设计的高灵敏度光功率计将广泛应用于光纤传感元器件的研发测试、光纤通信系统的检测维护以及光器件性能的检测等领域。

1 光功率计硬件系统的设计

1.1 InGaAs 光电探测器

光电探测器是光功率测量的核心器件, 它将输入的光功率转换成光电流。InGaAs 光电探测器在 $800\text{ nm}\sim 1700\text{ nm}$ 波段具有较高的光谱响应度^[5]。相比基于雪崩光电二极管 (Avalanche Photo Diode, APD) 的探测器, 它不需要单独设计高压偏置电路, 能够满足光纤通信波段的测试需求。采用低暗电流、线性度高的 InGaAs 光电探测器, 能够显著降低系统噪声, 提高整机的测量线性度、灵敏度以及光功率测量范围。

1.2 整机系统的设计

微弱光信号入射到 InGaAs 光电探测器上, 通过光电转换将光功率转换为相应的光电流, 经前置放大器 I-V 转换、电信号差分放大、信号去噪处理后, 由 A/D 芯片转换为数字信号, 再经 CPU 处理后被输出到液晶屏。同时 CPU 对 A/D 的输出值自动判别, 控制多档放大量程电路来调整不同的放大增益, 以选择合适的放大量程, 实现自动换档, 得到合适的光电转换电压值。该电压值经 A/D 转换器由模拟信号换成数字信号, 以便系统进行处理。高灵敏度光纤光功率计的系统框图如图 1 所示。

光功率计的前置光电转换放大电路是光功率计设计的核心, 是保障光功率测量范围、线性度等关键技术指标实现的关键部分。InGaAs 光电探测器处于光电压模式时, 探测器处于零偏状态, 暗电流非常小, 噪声低, 线性度好。探测器将接收的光信号变成与之成比例的微弱电流信号, 通过 T 型网络放大电路转换成电压信号。采用 T 型网络放大电路可避免光电流信号很微弱时过高的反馈电阻产生较大的热噪声, 从而减小对放大器的测试灵敏度的影响^[6]。

前置放大器采用低偏置电流、低噪声、宽频带的运算放大器芯片, 偏置电流小于 1 pA 。通过放大器与光电探测器的阻抗匹配设计、优

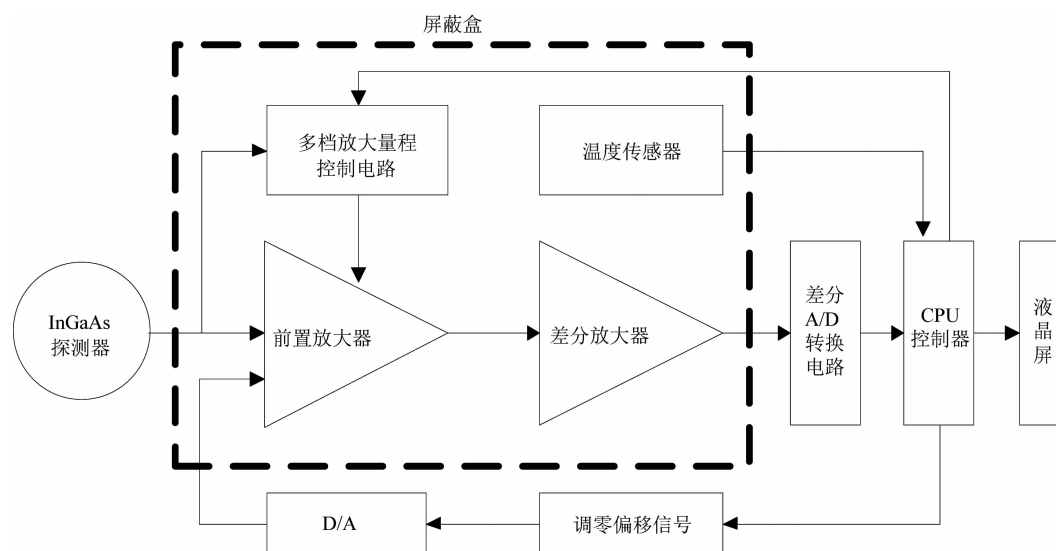


图 1 高灵敏度光纤光功率计的系统框图

化电信号传输电路、增加噪声屏蔽盒等降噪技术,可实现光功率的高灵敏度检测。前置放大器在印刷电路板布线结构上要求紧凑、靠近探测器件,并且接地与屏蔽良好。

多档放大量程控制电路能够通过判断光电信号的大小,控制模拟开关,切换前置放大电路中增益电阻的大小,将运放增益控制在合适档位,避免增益过大或过小造成的测量误差,保障高灵敏度光功率计在 $-90\text{ dBm}\sim+10\text{ dBm}$ 大动态范围内测量的灵敏度与线性度。利用软件可以实现多档放大量程控制:首先设置最大量程档,进行数据采集,将采样值与下一档的满度值进行比较判别;若采集值大于下档量程的满度值,就在大量程档进行采集,反之,则需要切换到更小量程档,直到采集值大于下一档的满度值。这样所选择的量程是处在最适于该采集值的量程档内。

调零补偿电路用于放大电路调零补偿,抑制探测器暗噪声和放大器偏置电流的影响。通过 A/D 采集无光时各档位的光功率值,计算调零因子,控制 D/A 产生调零补偿电位,补偿放大电路的零点漂移。

温度传感器用于测量仪器内部光电探测器附近环境的温度。在不同的环境温度下,比对光功率计量值与本仪器的测量值,通过 CPU 计算温度漂移,再通过数据拟合,建立光功率温漂测试曲线;最后通过软件计算的方法补偿光功率放大电路的温度漂移。

2 光功率计的调零校准

在无光输入条件下,测量光功率计的系统本底噪声。通过软件计算,对不同放大量程档位进行调零。

在一定温度下,利用可调谐激光和可调光衰减器结合,输入固定波长、固定功率的光,通过 Y 型光分路器,分别将光输入到待校准光功率计与光功率计量标准,通过比对,软件计算,校准光功率测量值。通过调节输入光波长、光功率、环境温度,可以实现在不同温度下光功率计各个档量程的数据校准。光功率计的校准原理框图如图 2 所示。

3 测量方法与结果

在常温环境下,对光功率计的前置放大电路性能进行测试,用示波器观察前置放大器的输出信号。当入射光波长为 1550 nm 、入射光功率为 $+10\text{ dBm}$ 时,前置放大器输出信号的有效值为 1.437 V ,噪声的峰值约 200 mV ;当入射光功率为 -90 dBm 时,前置放大器的输出信号有效值为 236.7 mV ,噪声的峰值约 100 mV 。测试结果分别如图 3、图 4 所示。测试结果表明,此光功率前置放大电路的设计能够有效抑制探测器暗电流噪声和其他电路泄露电流噪声的影响,通过后续数据采集、数字滤波处理,可进一步提高微弱光信号的测量信噪比。

在常温环境下,对 1310 nm 、 1550 nm 波长光功率进行了测量,测量结果见表 1 和表 2。测量数据表明,光功率计的测量范围达到 $-90\text{ dBm}\sim+10\text{ dBm}$,线性度优于 0.02 dB 。

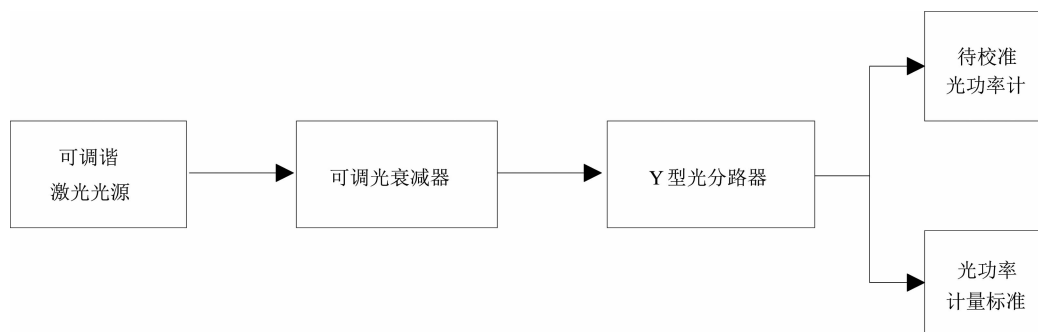


图 2 光功率计的校准原理框图

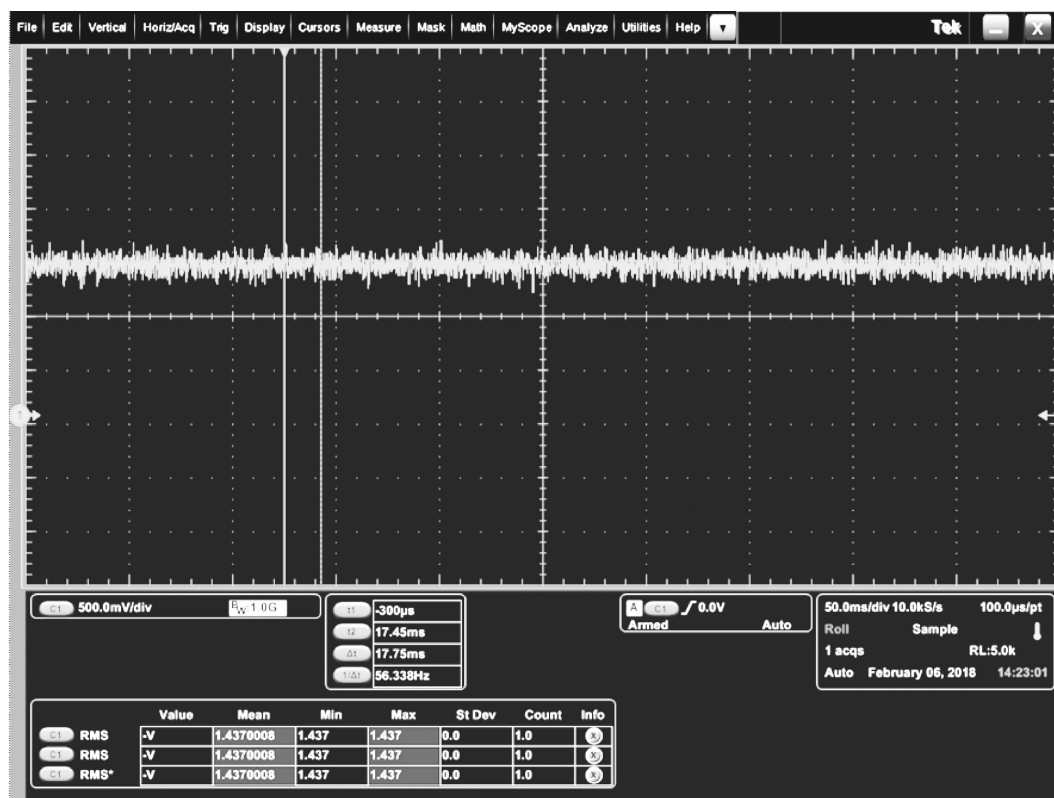


图 3 前置放大器的输出信号(入射光功率为+10 dBm, 波长为 550 nm)

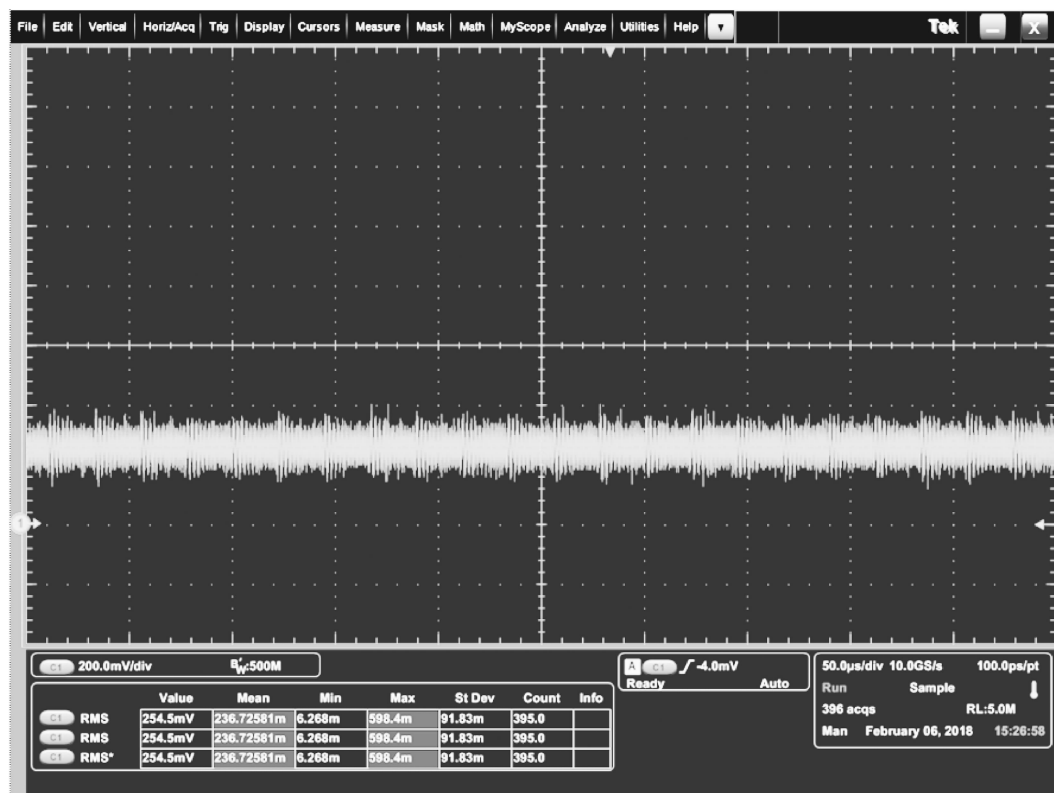


图 4 前置放大器的输出信号(入射光功率为 90 dBm, 波长为 550 nm)

表 1 常温下 1310 nm 波长光功率的测量结果

输入光功率(dBm)	测试值(dBm)
+10.002	+10.006
0.004	0.008
-10.001	-10.012
-20.005	-20.010
-30.003	-30.004
-40.002	-40.008
-50.003	-50.011
-60.001	-60.014
-70.004	-70.007
-80.003	-80.019
-90.007	-89.991

表 2 常温下 1550 nm 波长光功率测量结果

输入光功率(dBm)	测试值(dBm)
+10.005	+10.003
0.003	0.009
-10.004	-10.012
-20.008	-20.020
-30.002	-30.018
-40.001	-40.010
-50.006	-50.008
-60.003	-60.011
-70.008	-70.020
-80.003	-79.993
-90.005	-89.989

4 总结

充分优化了光纤光功率计的光电检测电路设计。通过使用低暗电流 InGaAs 光电探测器,采用多档放大量程控制、差分放大、D/A 调零补偿、屏蔽降噪以及温度补偿校准等技术方法,显著降低了前置光电放大电路的噪声。测量结果表明,本设计光功率计的测量范围达到 $-90\text{ dBm} \sim +10\text{ dBm}$,波长测量范围达到 $1000\text{ nm} \sim 1700\text{ nm}$,线性度优于 0.02 dB ,光功率测量灵敏度达到 -90 dBm ,极大提高了光纤光功率计的性能指标。

参考文献

- [1] 周真,杨军,秦勇. 基于 PIN 光电二极管的光功率计 [J]. 仪表技术与传感器, 2013, **30**(6): 34-36.
- [2] 杨晓娅. 微弱光信号检测系统的设计与研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2014.
- [3] 戈文杰. 高精度宽动态范围光功率计的研究 [D]. 武汉: 武汉邮电科学研究院, 2012.
- [4] 姚志红,宋寿鹏,胡晓婷. 基于 STM32 的光功率计的设计 [J]. 电子测量技术, 2015, **26**(11): 126-130.
- [5] 吴威,韩顺利,侯喜报,等. 基于近红外双色探测器的信号采集系统设计 [J]. 红外, 2017, **38**(6): 1-7.
- [6] 倪宁,肖雪夫,葛良全,等. 微弱电流的 I-V 变换测量方法研究 [J]. 核电子学与探测技术, 2013, **33**(6): 665-668.