文章编号: 1672-8785(2016)06-0019-05

高稳定度紫外LED 定标的可行性 分析与测试

金 辉^{1,2} 陆 萌¹ 尹达一¹
(1. 中国科学院上海技术物理研究所,上海 200083;
2. 中国科学院大学,北京 100049)

摘 要:为了满足紫外遥感器星上定标的高稳定度、小型化、低功耗的应用需求以及 紫外发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 定标在工作电流的典型值为 200 mA 时的稳 定度不大于1‰、稳定时间小于3 min 的技术指标要求,提出了用基于 FPGA 的数字控 制电路驱动紫外 LED 发光并用增量式比例 – 积分 – 微分 (Proportional-Integral-Derivative, PID) 进行闭环控制的方法。对紫外 LED 的电流稳定度进行了测试,获得了电流大小随 时间变化的误差关系。测试结果表明,该系统可以使紫外 LED 上的电流在 3 min 内实 现稳定,其稳定度达到 0.2‰,满足星上紫外定标的要求。

关键词:紫外 LED; PID;稳定度;定标

中图分类号: TP731 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.06.004

Feasibility Analysis and Test of High Stability UV LED Calibration

JIN Hui ^{1,2}, LU Meng ¹, YIN Da-yi ¹

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To meet the application requirements of high stability, miniaturization and low power consumption of ultraviolet (UV) sensors in space calibration and the technical indexes such as the stability less than 1 ‰ and stable time less than 3 minutes when the UV Light Emitting Diode (LED) calibration is carried out with a typical current of 200 mA, a method for using a digital control circuit based on FPGA to drive the UV LED and using incremental Proportional-Integral-Derivative (PID) for close-loop control is proposed. The current stability of the UV LED is tested and the error of current changing with time is obtained. The test results show that this system can make the UV LED be stable in 3 minutes with the stability of 0.2 ‰ which can meet the requirement of space UV calibration.

Key words: UV LED; PID; stability; calibration

基金项目:国家自然科学基金项目(40776100)

作者简介:金辉(1990-),男,河南濮阳人,硕士研究生,主要研究方向为紫外LED定标技术。 E-mail: mailjinhui@126.com

收稿日期: 2016-04-06

0 引言

随着空间紫外遥感技术及其应用的不断发展,空间任务的期限逐渐扩大到了五年甚至更 长的时间。为了提高遥感器的定标精度并实现 在轨稳定度检测,高精度紫外空间遥感器内部 均配有在轨定标功能。相关文献表明^[1],受使用 寿命和空间环境污染的影响,星载仪器的响应 度可能会发生变化,严重时甚至会达到 20% 的 年变化量。因此,需要对空间遥感器进行星上定 标。

作为一种传统的定标光源,卤素灯具有光 谱丰富、色温稳定等特点,但是因为其属于热光 源,所以又存在功耗大、大量开合后容易损坏等 缺点。与大气顶部辐射相比,卤素灯发光光谱的 蓝绿光部分辐射明显偏低。然而 LED 则具有寿 命长、稳定性高、功耗低、发光效率高、体积小 以及抗冲击抗振动性强等诸多优点^[2],因此十 分适合在苛刻的空间环境中使用。

近年来,各国对空间相机的星上定标越来越 重视。例如,比利时皇家天文台的研究人员开展 了关于定标 LED 选型的试验^[3],欧洲空间局发 射的 Proba-2 卫星^[4-5]和日本研制的 GCOM-C 卫星^[6]上都是采用星载 LED 进行星上定标的。 因此,对于空间紫外遥感技术来说,研究紫外 LED 作为高稳定度星上定标源的可行性具有十 分重要的工程价值。

1 高稳定度紫外 LED 电路系统

1.1 电路系统设计

当工作电流的典型值为 200 mA 时,紫外 LED 定标需要满足稳定度不大于 1‰、稳定时间 小于 3 min 的技术指标要求。因此,本文提出了 用基于 FPGA 的数字控制电路驱动紫外 LED 发 光并用增量式 PID 进行闭环控制的方法。具体 说来,以 FPGA 为核心,以 PC 机为主控制器,利 用基于 LabVIEW 编写的人机交互界面实时控制 并显示系统参数;通过 RS232 串口实现上位机和 FPGA 的通信;利用数模转换器 (Digital-to-Analog Converter, DAC) 将数字信号转换为模拟信号;通 过由运算放大器和三极管构成的回路达到驱动 紫外 LED 的目的。然后对 LED 上流经的电流进 行采样;经过放大器后对电压进行调整,并将信 号输入到模数转换器 (Analog-to-Digital Converter, ADC)中。最后将转换后的数字量送入 FPGA, 并通过 PID 控制形成电流的闭环反馈,从而实 现高稳定度的可控恒流输出。其稳定度可由标 准差除以平均值得到 (见式 (1))。式 (2) 为标准 差的计算公式。图 1 为高稳定度紫外 LED 电路 系统的原理图。

$$S_t = \frac{S_d}{\mu} \tag{1}$$

$$S_{d} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (x_{i} - \mu)^{2}}$$
(2)

式中, S_t 为电流稳定度; S_d 为电流标准差; μ 为电流平均值; N 为电流值的采样个数; x_i 为实测电流值。



图 1 高稳定度紫外 LED 电路系统的原理图

1.2 紫外 LED 介绍

作为最早研究和应用的半导体材料, Ge 和 Si 称为第一代半导体材料; GaAs 和 InP 化合物半 导体材料称为第二代半导体材料; III 族氮化物 与 SiC 及金刚石并称为第三代半导体材料^[7]。 其中, III 族氮化物系列材料是目前研发 LED 的 主要趋势,包括 GaN、AIN 和 InN 等。图 2 为基 于分布布拉格反射镜 (Distributed Bragg Reflector, DBR) 的 LED 外延结构的示意图^[8]。该结构既 没有金属反射镜的吸收问题,又能够通过改变 材料的折射率或厚度来调整能隙位置。其反射



图 2 基于 DBR 的 LED 外延结构的示意图



率可以达到 99% 以上。这里,发射光经过多次反射后引出,提高了发射光的引出效率。

根据紫外遥感器的星上定标要求,我们选 用峰值波长为 365 nm 的紫外 LED (其发光光谱 见图 3)。

1.3 LED 驱动管的性能分析

由于紫外 LED 发光需要驱动电流,选择性 能参数适合的驱动管是十分关键的。三极管、 MOS 管和达林顿管均可达到驱动电流的目的。 为了测试它们的性能差异,我们分别做了3组试 验,即在外围电路完全相同的情况下,测量不同 元器件的采样电阻上的电压值(结果见图4、图 5 和图 6)。

测试结果表明,由于达林顿管的放大倍数 过大,采样电阻上的电压值并不稳定,其初始电 压与稳定电压之间的差异较大。MOS 管的稳定



图 6 采样电阻 (达林顿管) 上的电压值

时间较长,一般在 8 ~ 10 min 左右,而且初始电 压与稳定电压之间的差异以及功耗也比较大。 经分析可知,在这种工作状态下,三极管的采样 电阻上的电压值比较稳定。三极管有 4 种工作状 态,如表 1 所示。根据三极管的特性,当 V_{CE} 不 变时,在某一区间内,随着基极电流的增大,集 电极上的电流显著增大;而当超过这一区间即 三极管工作在浅饱和区时,随着基极电流的增 大,集电极上的电流增速逐渐趋缓,其放大倍数 β 明显小于工作在放大区时的数值。试验结果表 明,当工作在浅饱和区时,流经三极管的电流是

工作状态	发射极电压	集电极电压
放大	正向	反向
截止	反向	反向
饱和	正向	正向
反向运用	反向	正向

表1 三极管的工作状态

最稳定的。因此,本文最终选用三极管方案来驱动紫外 LED。

2 基于 FPGA 的 PID 闭环控制

为了增加闭环控制的快速性和稳定性,我们 引入了 PID 控制。图 7 为 PID 的原理框图^[9], 其实质就是将输出量与输入量的偏差值按照比 例、积分、微分的函数关系进行运算,并将运算 结果用以控制输出。



图 7 PID 的原理框图

在本文系统中,r(t) 为给定的 DA 输入码值, y(t) 为 AD 采样码值。我们是通过用大功率滑动 变阻器代替紫外 LED 来进行 DA 输入码值与 AD 采样码值的定标的。图 8 所示为 AD/DA 的拟合 关系。其中,X 轴表示 DA 输入码值,Y 轴表示 AD 采样码值。在用 MATLAB 软件进行拟合时, 需要将这些数值转换成十进制。



将每一次的 AD 采样码值转换成 DA 输入码 值 (由于 FPGA 不支持小数运算,将转换公式的

INFRARED (MONTHLY)/VOL.37, NO.6, JUN 2016

左右两边均扩大了 2^{10} 倍, 然后再将 PID 的运算 结果缩小相同倍数 [10]),并将其与 r(t) 作差,得 到偏差量 e(t),即 e(t) = r(t) - y(t)。然后通过 PID 运算得到 u(t),即被控对象的输入量:

$$u(t) = K_{P} \left[e(t) + \frac{1}{T_{I}} \int_{0}^{t} e(t) \mathrm{d}t + T_{D} \frac{\mathrm{d}e(t)}{\mathrm{d}t} \right] \quad (3)$$

式中, K_P 为比例增益; T_I 为积分时间常数; T_D 为微分时间常数。

通过对式 (3) 进行离散化处理 (具体的推导 过程在此省略),可以得到增量式 PID 控制算法 的公式:

$$\Delta u(k) = (K_P + K_I + K_D)e(k)$$

$$-(K_{P}+2K_{D})e(k-1)+K_{D}e(k-2)$$
(4)

式中, K_I 为积分系数, $K_I = \frac{K_P T}{T_I}$; K_D 为微分 系数, $K_D = \frac{K_P T_D}{T}$ 。通过调整参数 $K_P \, \langle K_I \rangle$ 和 K_D 的大小,可以使系统在尽可能短的时间内达 到稳定值。

3 紫外 LED 的电流稳定性试验

由紫外 LED 的特性可知,其发光强度与电流大小之间呈现出较好的线性关系,如图 9 所示。



若要得到稳定的发光强度,LED 上流经的 电流必须稳定。因此,本文选用6位半的高精度 数字电流表并将其串联到电路中,以实时监测 LED 上的电流变化。在0~400 mA 的电流范围





内,选取5组电流分别测试30min并记录电流 变化,最后将试验结果转换为实测电流与给定 电流的误差值(见图10)。

试验结果表明,经过 30 min 时间的测试, 驱动电流为 200 mA 时紫外 LED 的电流稳定度 不大于 0.2 ‰,满足 1 ‰的指标要求。另外,测 试结果还显示,当驱动电流在 200 mA 以下时, 紫外 LED 的电流稳定时间较短 (约为 1 min);当 驱动电流在 200 mA 以上时,紫外 LED 的电流稳 定时间较长 (不超过 3 min)。这是因为紫外 LED 电路与驱动参数及工作条件有关,并且在具体 的使用过程中可以对其进行选择。

4 结束语

根据高稳定度紫外 LED 星上定标的要求, 本文提出了用基于 FPGA 的数字控制电路驱动 紫外 LED 发光并用增量式 PID 进行闭环控制的 方法。紫外 LED 的电流稳定度测试结果表明,本 文系统可以使紫外 LED 上的电流在 3 min 内实

新闻动态 News

法国空中客车国防与航天公司获得 MicroCarb 有效载荷研制合同

据 http://aviationweek.com 网站报道,法 国空中客车国防与航天公司已经从法国国家空 间研究中心 (CNES) 获得了一份有效载荷合同, 他们将为用于测绘全球二氧化碳 (CO₂) 水平的 http://journal.sitp.ac.cn/hw 现稳定,其稳定度不大于 0.2 ‰,满足星上紫外 定标的要求。我们今后还将对紫外 LED 星上定 标电路系统的空间可靠性进行进一步的研究。

参考文献

- [1] 李幼平,禹秉熙,王玉鹏,等.成像光谱仪辐射定标影响量的测量链与不确定度[J]. 光学·精密工程,2006,14(5):822-828.
- [2] 任建伟,麦镇强,万志,等.星上 LED 定标光源 的可行性研究 [J]. 光学·精密工程, 2008, 16(3): 398-405.
- [3] Giordanengo B, Gissot S, BenMoussa A. Characterization and Irradiation Damage Tests of AlGaN UV LEDs for Detection Spaceborne Calibration [C]. Toulouse: International Symposium on Reliability of Optoelectronics for Systems, 2014.
- [4] Zender J, Berghmans D, Bloomfield D S, et al. The Projects for Onboard Autonomy (PROBA2) Science Centre: Sun Watcher Using APS Detectors and Image Processing (SWAP) and Large-Yield Radiometer (LYRA) Science Operations and Data Products [J]. Solar Phys, 2013, 286(1): 93–110.
- [5] Athanassios C K, David B, Bogdan N, et al. SWAP: An EUV Imager for Solar Monitoring on Board of PROBA2 [C]. SPIE, 2005, 5901: 59010V.
- [6] Tamiki Hosokawa, Kazuhiro Tanaka, Yoshihiko Okamura, et al. Engineering Model Testing for SGLI IRS Especially TIR Radiometric Data [C]. SPIE, 2012, 8528: 852818.
- [7] 王东盛. III 族氮化物紫光和近紫外 LED 的制备与 研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [8] 李娟. GaN 基紫外 LED 外延 p 型结构与工艺研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [9] 权振华. 基于 FPGA 数字 PID 控制器的实现 [J]. 中 国科技信息, 2014, 13(1): 120-123.
- [10] 张科,靖固.利用 FPGA 的增量式 PID 控制的研究 [J]. 现代制造工程, 2009, 24(3): 112–114.

MicroCarb 微型卫星设计和制造光学仪器。

作为欧洲首个用于测量 CO₂ 水平的专项任务,计划于 2020 年发射的 MicroCarb 卫星将搭载 一台工作在可见光 – 近红外波段的光谱仪。该仪器能够以小于百万分之一的高精度对 CO₂ 进行 测量。MicroCarb 卫星将负责研究 CO₂ 源和碳汇 情况,以帮助人们理解温室气体是如何影响气 候变化的。

INFRARED (MONTHLY)/VOL.37, NO.6, JUN 2016