



基于二极管激光器的光电探测系统响应时间的测量

摘要

光电探测系统在光度测量及光谱检测领域应用广泛,是检测的核心部件.光电探测系统的响应时间反映了该系统能够探测的极限,对其进行准确的测量在实际应用中十分必要.本文展示了一种能够准确测量光电探测系统响应时间的方法,以常用的可调谐二极管激光器(波长为 763 nm)为光源,采用方波信号调谐光源输出,测量了系统的响应时间.结果显示,示波器内电阻对系统的响应时间存在影响,当电阻为 50 Ω 时,探测系统的响应时间为 4.5 μs .降低电阻值,可以进一步缩短响应时间.

关键词

二极管激光器;光电探测;响应时间

中图分类号 TM923

文献标志码 A

收稿日期 2020-01-17

资助项目 重庆工商大学高层次人才科研启动项目(1956045)

作者简介

周雪,女,博士,讲师,研究方向为气体光谱检测技术.zhouxuehit@163.com

1 重庆工商大学 计算机科学与信息工程学院,重庆,400067

2 黑龙江省伊春林业学校,伊春,153000

3 重庆工商大学 国家智能制造服务国际科技合作基地,重庆,400067

0 引言

光电探测系统通常包含光源、控制器、光电探测器及示波器等组成部分.在检测系统中,光电探测器可以将接收到的光信号转换为电流信号,而后经过示波器内部的 RC 电路或外接电路将电流信号转换为电压信号进行显示和记录.光电探测系统在光度测量及光谱检测等许多领域有着广泛应用^[1-4].

随着二极管激光器的迅速发展,以二极管激光器为光源的光电探测系统已广泛应用在各探测领域.然而探测系统中的二极管激光器、光电探测器、电路等都存在响应时间,因此,光电探测系统对瞬态的控制信号不是即时响应,而是存在一定延迟的,这一延迟的时间通常被称为光电探测系统的响应时间.在连续性测量中,通常响应时间远小于测试时间,可以忽略不计.然而,当采用光电探测系统测量瞬态过程时,则需考虑响应时间的影响,如果待测瞬态过程的时间小于探测系统的响应时间,会导致瞬态过程难以被观测.因此,在瞬态测量中,通常首先估计瞬态过程的时间,与光电探测系统的响应时间进行对比,进而选择能够满足测量要求的探测系统.近年来,随着超快光学、动态显示等科技的发展,对光电探测系统的响应时间的要求也越来越高,这也对系统响应时间的测量精度提出了较高的要求^[5-8].因此,对光电探测系统的响应时间进行准确的测量十分重要.

测量光电探测系统响应时间的基本方法为脉冲响应法,通常以方波信号调制光源.光源输出的光信号会滞后于方波信号,对于信号的下降沿,光强衰减呈 e 指数形式^[9].因此,可以通过对测量的响应曲线进行 e 指数拟合获得光电探测系统的响应时间.值得注意的是,由于光电探测系统中的光电探测器对不同波长的光的响应不同,因此,对于同一探测系统,在光源波长不同时,系统的响应时间不同,所以,需要对所需的波长分别进行测量.

本文采用脉冲响应法,对以波长 763 nm 的二极管激光器为光源的光电探测系统的响应时间进行了测量,结果显示,示波器内部 RC 电路的电阻对系统的响应时间存在较大影响,电阻越小,响应越迅速.当电阻值为 1 M Ω 时,探测系统的响应时间为 130 μs ,而当电阻值为 50 Ω 时,响应时间为 4.5 μs .进一步降低电阻值,则系统的响应更迅速.然而由于电阻过小,导致电流信号转化的电压信号也会随之减小,信号的信噪比会下降.因此在测量过程中应对响应时间的信号强度进

行综合考量,选择合适的电阻值.

1 实验原理

脉冲响应法测量光电探测系统的响应时间,通常是采用方波信号对激光输出的光信号进行调节.由于系统的响应存在延迟,因此,探测到的信号并不是完美的方波信号,而是在方波上下沿的瞬变时有一定的滞后,利用这一特点,即可对系统的响应时间进行测量.光电系统检测到的方波的上升沿和下降沿的变化满足 e 指数规律,通常习惯以下降沿进行研究,其光强的衰减规律为

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp(-t/\tau), \quad (1)$$

其中, $I(\lambda)$ 为 t 时刻光源输出的光强, $I_0(\lambda)$ 为零时刻(未衰减时)的输出光强, τ 为系统的响应时间.因此,通过对检测到的信号进行 e 指数拟合即可获得系统的准确的响应时间.

2 测量装置

探测系统的响应时间测量装置如图 1 所示,二极管激光器的温度和电流由激光控制器进行控制,其中,在电流控制器上加入方波对电流进行调节,使得激光器输出的光强按照方波的形式随时间变化.由激光器输出的激光被光电探测器接收,光信号被转换为电信号,而后由示波器进行显示和记录.实验装置的型号与条件如下:激光器采用垂直腔面发射单模二极管激光器(Laser Components, Single Mode VCSEL 763 nm T046),其额定输出功率为 0.3 mW,发射激光的中心波长为 763 nm,随着输入电流与温度的变化,其输出波长可在中心波长附近小范围调谐.温度控制器型号为 Thorlabs TED 200C, Temperature Controller,本实验中激光器温度控制在 22.4 °C.电流控制器型号为 Thorlabs LDC 200, VCSEL Laser Diode Controller,本实验中将激光器注入电流设置为 1.27 mA.此外,在电流控制器上采用信号发生器加入一偏置的方波信号,信号电压全部为正值,信号幅度为 500 mV,设置了不同的频率值进行测试.光电探测器为 Thorlabs 公司生产的 D210 型探测器,示波器为 Tektronix 生产的 DPO5054 型示波器.

3 测试结果与分析

在测量光电探测系统的响应时间时,控制激光器的方波信号的频率是十分重要的.若系统的响应

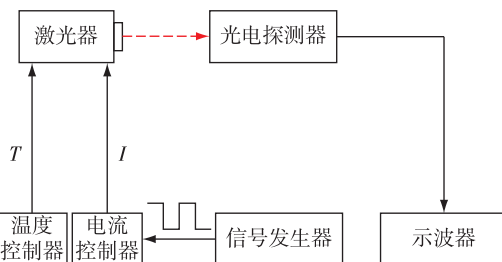


图 1 光电探测系统响应时间的测量实验装置示意图
Fig. 1 Experimental setup for response time measurement of photoelectric detection system

十分迅速,而方波信号的设置频率较大,则探测到的方波信号比较完美,观察不到探测系统的延迟现象,无法测量响应时间;若系统的响应时间较长,而设置的方波信号频率过快,则探测到的信号无法到达平衡位置,响应时间同样无法测量.因此,选择合适的防波频率十分重要.

此外,光电探测器将光信号转换为电流信号,再经过电阻后变为电压信号进行测量.因此,示波器内部的 RC 电路的电阻值会对测量的系统响应时间产生直接影响,电阻值越大,信号越大,但系统的响应时间也越长,反之,电阻越小,系统响应更迅速,但探测到的信号值较小,信噪比差.在具体的实验中,应根据实际需要合理取舍,选择合适的探测条件.本文分别测试了较大和较小的两个电阻值下系统的响应时间,比较电阻对系统响应时间的影响,展示了系统响应时间测量的方法.

3.1 示波器内 RC 电路电阻值为 1 MΩ 时系统的响应时间

首先,测量了示波器内 RC 电路电阻值较大时系统的响应时间,电阻值设置为 1 MΩ.图 2 给出了不同的方波频率下探测系统的响应曲线.可以看出,当方波的频率为 1 kHz 时,上升沿和下降沿均未到达平衡位置,说明系统的响应时间较长,该频率过大.

当方波的频率为 200 Hz 时,能清楚地看到方波信号在上升沿和下降沿的延迟现象,且整个周期内,达到平衡位置的时间约为响应滞后时间的 4~5 倍,为最佳的拟合频率,因此,我们采用频率为 200 Hz 时的响应曲线进行拟合.

如图 3 所示,对下降沿进行 e 指数拟合,拟合公式如图中所示,拟合结果表明,当示波器内 RC 电路电阻值为 1 MΩ 时,系统的响应时间为 130 μs.图 3 中右上角插图给出的是下降沿曲线纵坐标取 \ln 的

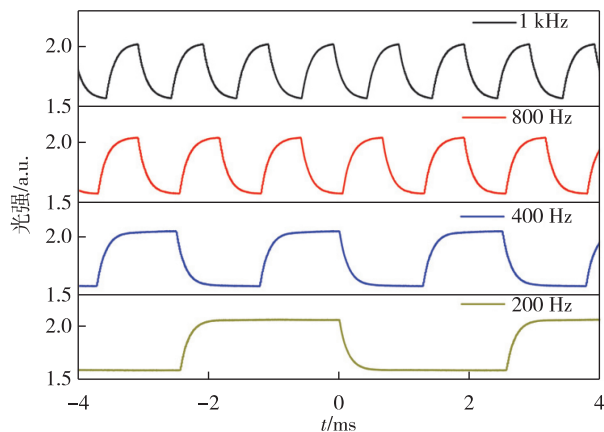


图2 示波器电阻为 1 MΩ 时不同方波频率下探测系统的响应曲线

Fig. 2 Response curves of the photoelectric detection system under different frequency with 1 MΩ oscilloscope resistance

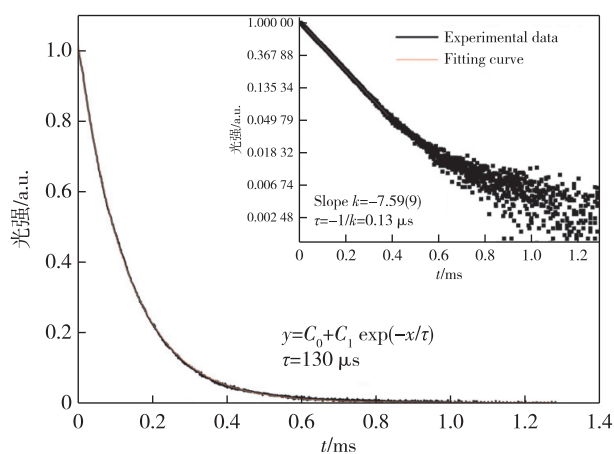


图3 示波器电阻为 1 MΩ 时系统响应曲线下降沿的拟合结果

Fig. 3 Fitting result for falling edge of the response curve with 1 MΩ oscilloscope resistance

结果,由于下降沿按 e 指数衰减,其纵坐标取 ln 后曲线应为线性变化规律.由图 3 可见,插图中数据的前段较好地符合线性规律,说明其为 e 指数形式,而后段由于信号强度逐渐减小,信噪比逐渐增大,导致插图中后端数据呈发散状.通过对线性区间进行拟合,可得其斜率及时间常数 τ ,结果与 e 指数拟合结果相符.

3.2 示波器内 RC 电路电阻值为 50 Ω 时系统的响应时间

同样,测量了示波器内 RC 电路电阻为 50 Ω 时不同频率下探测系统的响应曲线,如图 4 所示.

可以看出,相比于电阻较大时的情况,电阻减小

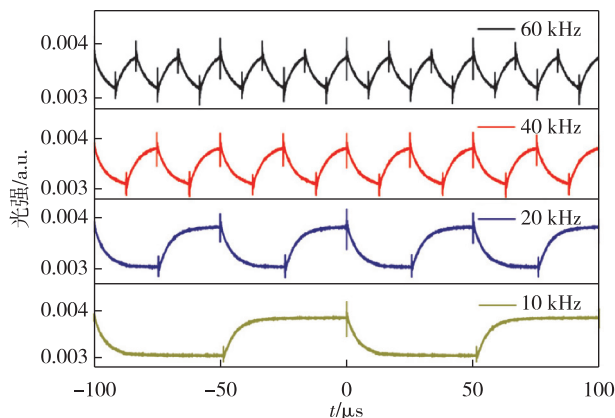


图4 示波器电阻为 50 Ω 时不同方波频率下探测系统的响应曲线

Fig. 4 Response curves of the photoelectric detection system under different frequency with 50 Ω oscilloscope resistance

后,探测系统的响应时间明显减小,然而,信号的信噪比也明显下降,图 4 中不同频率的响应曲线测量结果都出现了不同程度的毛刺现象,尤其是信号的瞬态变化位置.在实际测量时,信噪比过差会对结果产生不利影响,因此,通常要重点考虑信噪比.这里,重点观察电阻对系统响应时间的影响,因此,不考虑信噪比的问题.此外,对于探测系统的响应曲线来说,光电的转换效率主要由光电探测器决定,光的接收率与环境、接收角、探测器窗口等多种因素有关,因此,响应曲线的纵坐标只是相对强度,改变探测器的接收位置、角度均会对曲线强度产生影响.

由图 4 可知,10 kHz 的方波频率下系统的响应曲线是最佳拟合曲线,我们对该曲线进行拟合,拟合结果如图 5 所示.从拟合结果可以看出,当示波器内部 RC 电路的电阻为 50 Ω 时,探测系统的响应时间约为 4.5 μs,相较于电阻值为 1 MΩ 时的测量结果,探测系统的响应时间大大缩短了.由此可见,降低电路电阻值,可以直接缩短系统的响应时间.然而这一结果是以牺牲信噪比为代价的,而实际测量中,信噪比对结果的影响也至关重要,因此,需要综合考虑.

4 结束语

本文针对光电探测系统的响应时间问题,展示了采用脉冲响应法准确测量探测系统响应时间的方法.在测量过程中,比较了示波器内 RC 电路电阻对探测系统响应时间的影响,分别对不同的电阻下的系统响应时间进行了测量.测量结果表明,降低电阻值可以明显缩短系统的响应时间,然而信号的信噪

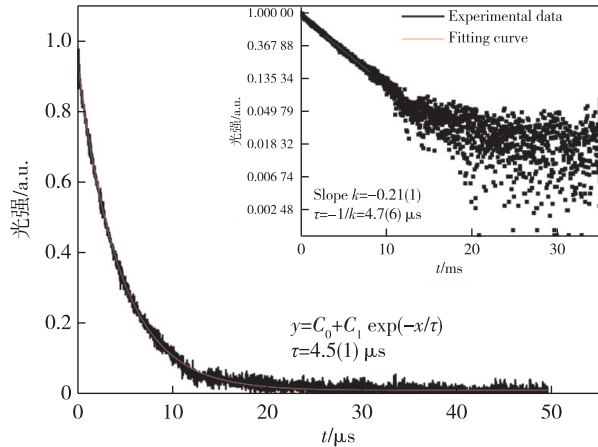


图5 示波器电阻为 $50\ \Omega$ 时系统响应曲线下沿的拟合结果
Fig. 5 Fitting result for falling edge of the response curve with $50\ \Omega$ oscilloscope resistance

比会受到影响.因此,在实际测量中,需要综合考虑响应时间与信噪比的影响,选取合适的测量条件.

参考文献

References

- [1] 裴世鑫,崔芬萍,宋标,等.基于腔增强吸收光谱技术的气体探测研究[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2009,1(3):193-198
PEI Shixin, CUI Fenping, SONG Biao, et al. The study of gas detection based on the cavity enhanced absorption spectroscopy technology[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2009, 1(3): 193-198
- [2] 武魁军,何微微,于光保,等.分子滤光红外成像技术及其在光电探测中的应用[J].红外与激光工程,2019,48(4):22-30
WU Kuijun, HE Weiwei, YU Guangbao, et al. Molecular filter infrared imaging technology and its application in photoelectric detection [J]. Infrared and Laser Engineering, 2019, 48(4): 22-30
- [3] 孙德贝,李志刚,李福田.用于太阳光谱仪的光电探测系统线性度测试装置[J].中国光学,2019,12(2):294-301
SUN Debei, LI Zhigang, LI Futian. Linearity testing device for the photoelectric detecting system of solar spectrometers[J]. Chinese Optics, 2019, 12(2): 294-301
- [4] 郑晟,王中晔,徐磊.光电探测信息在防空导弹武器系统中的应用研究[J].航天控制,2019,37(2):15-18
ZHENG Sheng, WANG Zhongye, XU Lei. Research on the application of photoelectric detection information in air defense missile weapon system [J]. Aerospace Control, 2019, 37(2): 15-18
- [5] 罗琦,王伟,陆振宇,等.多旋翼无人机群自主探测大气边界层气象要素的模式分析[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2014,6(2):121-128
LUO Qi, WANG Wei, LU Zhenyu, et al. Analysis on the detection mode of autonomously detecting the meteorological elements of atmospheric boundary layer by multi-rotor UAVs[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2014, 6(2): 121-128
- [6] 韩强盛,张保洲,卢利根,等.快速光电探测系统响应时间精密测量装置[J].照明工程学报,2015,26(2):1-5
HAN Qiangsheng, ZHANG Baozhou, LU Ligen, et al. The precision measuring device of response time of high-speed photoelectric detection system [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2015, 26(2): 1-5
- [7] 温宏愿,刘小军,张朋.光电信息探测方法的改进研究[J].激光杂志,2018,39(12):23-27.
WEN Hongyuan, LIU Xiaojun, ZHANG Peng. Research on improvement of photoelectric information detection method[J]. Laser Journal, 2018, 39(12): 23-27
- [8] 时成文,隋强强,石碧艳.一种新型光电设备响应时间与探测概率自动测试系统[J].光电技术应用,2008,23(1):38-41
SHI Chengwen, SUI Qiangqiang, SHI Biyan. A new automatic test system of reaction time and detection probability for electro-optic equipments[J]. Electro-Optic Technology Application, 2008, 23(1): 38-41
- [9] 邓杨,赵跃进.光电探测器响应时间的测试[J].科技创新导报,2013,10(2):1
DENG Yang, ZHAO Yuejin. Measurement of response time for the photoelectric detector[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013, 10(2): 1

Response time measurement of photoelectric detection system based on diode laser

ZHOU Xue¹ ZHOU Di² ZHANG Huiyan³

1 School of Computer Science and Information Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067

2 Heilongjiang Yichun Forestry School, Yichun 153000

3 National Research Base of Intelligent Manufacturing Service, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067

Abstract Photoelectric detection system is the core component of a detector, and is widely used in photo-metric measurement and spectroscopy monitoring. Response time of a photoelectric detection system reflects the fastest re-

sponse limit of the system in detection. Thus, an accurate measurement of the response time is very important for application. This work shows a method for accurate response time measurement of a photoelectric detection system. Here, a tunable diode laser with a wavelength of 763 nm, usually used in spectroscopy, is used as the light source and is tuned with a square wave. The response time is measured. The results indicates that the resistance of the oscilloscope can influence the response time of the system. The response time of the photoelectric detection system is measured as 4.5 μ s when the resistance value is 50 Ω . The response time can be shortened if the resistance value reduces. This work provides a response time measurement method of a photoelectric detection system, which is a basis for the choice of detection system in application.

Key words diode laser; photoelectric detection; response time