

窄脉冲阵列激光器峰值功率测试的研究

胡 峥¹, 邵莉芬¹, 李 川¹, 金 张²

(1. 武汉市仪表电子学校, 湖北 武汉 430205; 2. 武汉优科瑞特信息技术有限公司, 湖北 武汉 430205)

摘 要:窄脉冲半导体激光器阵列输出的峰值功率必须准确测量, 测量精度直接关系到光电系统的质量。本文介绍一种基于对数放大技术和 8051F020 单片机, 采用脉冲展宽和峰值保持原理, 通过快速放电复零从而直接测量窄脉冲阵列半导体激光器峰值功率的方法。测试结果表明, 标定误差小于 3%, 测量准确度高, 重复测量误差都在 $\pm 1.7\%$ 之内。该测量方法研制的仪器具备便携、测试速度快、成本低的特点, 并具有波形输出接口, 适合空间有限的快速检测需求。

关键词:半导体激光器阵列; 峰值功率; 窄脉冲; 峰值保持; 对数放大

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-5078.2019.06.005

Study on the technique for measuring the peak power of narrow pulsed semiconductor laser arrays

HU Zheng¹, SHAO Li-fen¹, LI Chuan¹, JIN Zhang²

(1. Wuhan Instrument Electronics School, Wuhan 430205, China;

2. Wuhan U. Creative Information Technology Co., Ltd., Wuhan 430205, China)

Abstract: The peak power of narrow pulsed semiconductor laser arrays should be measured accurately, and the measurement accuracy is directly related to the quality of photoelectric system. In this paper, a measurement technique for measuring the peak power of narrow pulsed semiconductor laser arrays is proposed. The technique collect the data by logarithmic amplification technology and 8051F020 single chip microcomputer. The peak power is measured directly by broadening pulse width, holding peak and resetting with discharging rapidly. The test results show that the calibration error is less than 3%, the measurement accuracy is high, and the repeated measurement error is within 1.7%. The instrument developed by this method has the characteristics of portability, fast test speed and low cost, and has waveform output interface, which is suitable for the rapid test with limited space.

Key words: semiconductor laser arrays; peak power; narrow pulsed; peak holding; logarithmic amplification

1 引 言

高功率半导体激光器阵列是在条状的半导体芯片集成多个 LD 发射单元, 随着光电子科学技术的发展, 高功率半导体激光器阵列发展越来越快, 其峰值功率不断上升, 在军事、通讯、材料、医疗等领域得到广泛应用^[1]。窄脉冲半导体激光器阵列显著的

特点就是工作脉冲宽度窄、峰值功率高, 信号往往是不规则的近似三角脉冲信号。在实际应用中, 窄脉冲半导体激光器阵列输出的峰值功率必须准确测量, 测量精度直接关系到光电系统的质量。波形分析法、峰值保持法、等效采样法是激光脉冲峰值功率常用的测试方法^[2]。波形分析法需要对激光时域

基金项目: 湖北名师工作室项目资助。

作者简介: 胡 峥(1966 -), 女, 讲师, 主要研究方向为电子测量。E-mail: huzheng1966@163.com

通讯作者: 邵莉芬(1982 -), 女, 讲师, 博士, 主要研究方向为电子测量。E-mail: slfen718@163.com

收稿日期: 2018-11-05; 修订日期: 2018-12-18

波形进行分析来获得峰值功率与能量/平均功率的关系,测试系统必须包括示波器、波形探测器、能量计/光功率计,系统庞大复杂,仅适合条件严格可控的计量部门^[3]。等效采样法是通过大量随机采集重复性信号,取最大值来完成脉冲激光峰值功率测量。峰值保持法可以测量上升时间较慢的激光脉冲峰值功率,但是对于纳秒级高速激光脉冲则无能为力。祝敏等基于峰值保持原理,通过脉冲展宽测量了大于 50 ns 脉宽的高速半导体激光脉冲峰值功率^[4-5],王呈阳等研究了多波段脉冲激光峰值功率综合测试技术,对于宽度较窄的激光脉冲也设计了合适的展宽放大和快速放电电路^[6],但是对于高重复频率脉冲激光峰值功率测试,不宜将脉冲信号展得太宽,如果不能及时放电复位,将会影响测试结果的准确性。

针对窄脉冲半导体激光器阵列发射激光的特点,本文通过对其峰值功率测试技术的进行了研究,提出基于对数放大技术和 8051F020 单片机,采用脉冲展宽和峰值保持原理,通过快速放电复位从而直接测量窄脉冲阵列半导体激光器峰值功率的方法,实现了测试窄脉冲阵列半导体激光器峰值功率测试的便携、低成本、高精度的测量系统。

2 测试原理

2.1 采样和对数放大电路

采样和对数放大电路由高速硅探测器和对数放大电路构成。结电容足够小的探测器才具有高响应速度。因此,探测器选用高速硅探测器 (DET36A 型,美国 THORLABS 公司,有效面积为 13 mm²,二极管的结电容 C_j为 40 pF,上升时间 t_r为 14 ns)。探测器工作在线性区时,入射光强与产生的光电流成正比,输出峰值电压 V_m 正比于光电流,而脉冲激光功率 P 正比于入射光强,因此,

$$P_p = k_1 V_m \tag{1}$$

式中, P_p 为峰值功率; V_m 为峰值电压; k₁ 为比例系数。

高速硅探测器在激光波长 860 nm 处的响应灵敏度为 0.55 A/W,转换后的电流信号为 100 nA ~ 1 mA,则动态范围为 120 dB,对于单增益线性放大电路,A/D 转换器至少 20 位以上,这对 AD 转换提出较高要求。对数比率放大器可将动态范围较宽的信号压缩,使用低分辨率的电路即可实现测量^[7],

如将信号压缩到 0 ~ 4 V 范围,10 位 A/D 转换器即可满足要求。本系统采用 TI 公司精密对数和对比放大器 LOG112,它是电流型输入,与光电倍增管、光电二极管等可直接连接,其采样与对数放大电路示意图如图 1 所示。

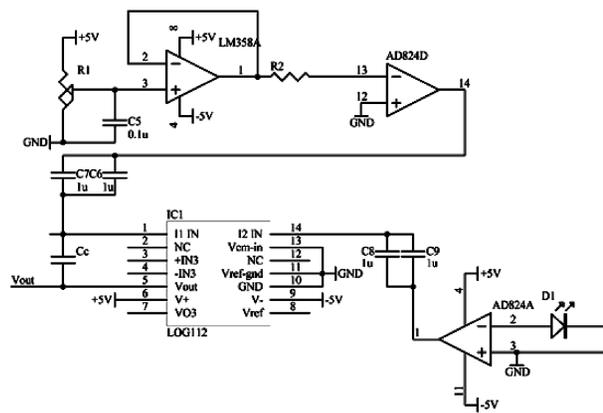


图 1 采样与对数放大电路示意图

Fig. 1 The sampling and logarithmic amplification circuit

图 1 电路中, I_{1IN} 和 I_{2IN} 端分别输入参考电流和输入电流,对数结果由 V_{out} 端输出,

$$V_{out} = k_2 \log (I_{1IN}/I_{2IN}) \tag{2}$$

对数运算结果由两级运算放大器 LM324 放大,再进行 A/D 转换采集,因此 V_m = k₃ V_{out}。

由式(1)和式(2),可知峰值功率为:

$$P_p = k_1 k_2 k_3 \log (I_{1IN}/I_{2IN}) = K \log (I_{1IN}/I_{2IN}) \tag{3}$$

2.2 信号峰值的测量

窄脉冲高速激光信号直接采用快速模-数转换(A/D)的方法,对 A/D 要求很高。将高速窄脉冲信号转换为与峰值信号成正比的直流信号是峰值保持法的基本思路,因此,峰值保持电路需要进行峰值采集、峰值保持两个步骤。峰值采集和峰值保持对充电电容要求不一样,为了平衡这个矛盾^[8],峰值保持电路采用两级串联,前一级电容容值较小,即可展宽脉冲信号,也可保证采样速度,后一级电容容值较大,再次展宽,直到满足精度要求。

(1) 展宽放大电路

运算放大器 U_{1A}、U_{2A} 和电阻、电容组成展宽放大电路,如图 2 所示。运算放大器采用 HA3935,其转换速度大于 1000 V/μs,带宽大于 50 MHz,可保证将 10 ns 的信号放大到 10 V 而不失真,图 2 为展宽放大电路。

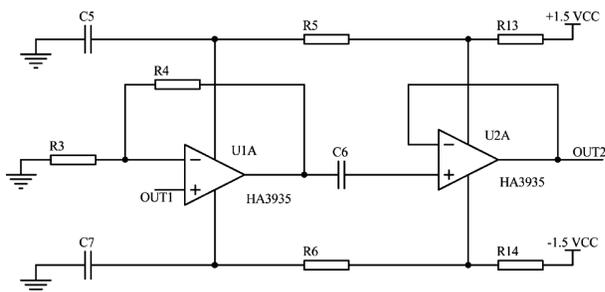


图2 展宽放大电路

Fig. 2 Stretch amplifying circuit

(2) 峰值保持电路

三个运算放大器 U_{3A} 、 U_{4A} 、 U_{4B} 和电阻、电容、二极管组成两级峰值保持电路,如图3所示。峰值保持目的是将纳秒级脉冲信号展宽到毫秒级,便于12位串口模-数转换(ADC)的信号采集,保持峰值也可减小测量误差。峰值保持原理是通过二极管对电容充电,从而延迟时间。正向导通时,二极管电阻小,时间常数小,可反映窄脉冲上升沿变化;而反向导通电阻大,时间常数大,电容电压下降缓慢,从而实现脉冲展宽。

(3) 快速放电复零电路

由于采用了两级脉冲展宽和峰值保持,降低了模-数转换(ADC)的品质要求和成本,同时也减少了测试过程中的不稳定性因素。对于高速窄脉冲激光峰值功率的测试,必须快速复零,避免脉冲信号展得太宽,在下一个脉冲到来的之前,及时放电复位,可保证准确测量结果。

2.3 测量控制与处理

系统采用了两级脉冲展宽和峰值保持,AD端的采集信号已经转换为直流信号,降低了转换速度要求,只需考虑抗干扰能力和测量精度。采用12位串口AD,可隔离模拟电路与数字电路,克服信号间的干扰,保证测量精度。Cygna公司的MCU8051F020单片机是一款高性能的数字/模拟混合微处理器,处理能力强、运行速度快、资源丰富、开发方便,由于该芯片内置12位精度的A/D转换器,因此可以不再单独使用A/D转换芯片,直接利用MCU8051F020集成的A/D转换器进行A/D转换和数据处理,满足峰值功率测量对ADC的要求。使用该芯片可省去液晶驱动芯片、时钟芯片、A/D转换芯片,使得系统外围电路简洁、容易布板、也提高了整机的可靠性。MCU8051F020芯片通过将信号发送给MAX232,MAX232通过串

口与上位机通信,可以实现峰值功率测量系统与上位机的信息通讯。电源模块负责向整个系统供电^[9]。图3为峰值保持电路图。

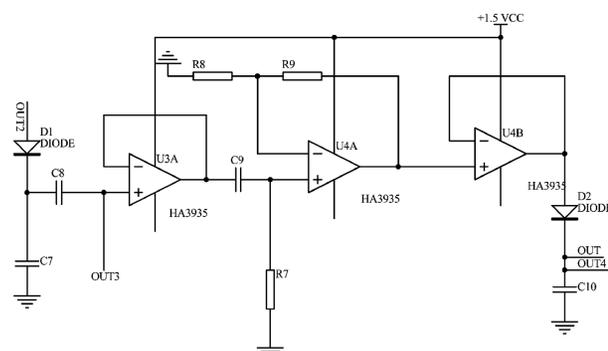


图3 峰值保持电路

Fig. 3 The peak holding circuit

3 实验结果

3.1 系统校准

采用图4装置进行校准,用波形积分方法进行校准,选用波长相同的THORLABS公司的L850P010激光器脉冲激光光源。用标准光功率计测出激光输出平均功率,在此选用Newport公司的1936-C型功率计。脉冲激光波形用示波器测出,示波器通过GPIB卡将波形数据上传计算机,计算程序对波形积分得到波形周期、峰值和面积,从而计算出脉冲激光峰值功率。计算结果与被测系统所测数据比较,获得修正系数。对时间积分的方法相对降低了对激光波形的宽度和速度要求。

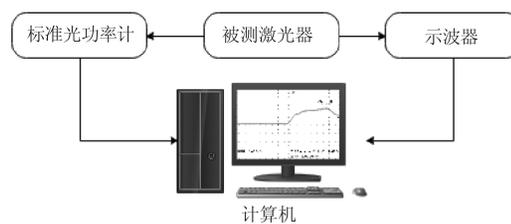


图4 峰值功率测试系统的校准

Fig. 4 The calibration of peak power test system

采用峰值功率校准系统和本系统测量6个窄脉冲激光峰值功率,确定本测量系统修正系数 K 为0.75,标准偏差为0.01。

表1 修正系数 K 值Tab. 1 The correction factor K value

标准值/W	35.52	31.86	30.35	34.71	32.74	31.33
测量值/W	26.64	24.53	23.69	25.69	24.56	22.87
K	0.75	0.77	0.76	0.74	0.75	0.73

3.2 结果与讨论

测量系统的误差主要来源于光电探测器、对数放大器、数据采集器的误差,环境光、灰尘及温湿度的影响在实验室环境下可以忽略不计。

对数放大电路运算精度最佳区域是输入量的中阶附近,输入信号过大时,由于晶体管 PN 结体电阻的影响会出现较大误差,输入信号过小时,因放大倍数很大而受到运算放大器及其温漂的影响,也会出现较大误差,因此其运算精度为^[10]

$$\delta = \frac{\sigma}{20 \lg \frac{V_{imax}}{V_{imin}}} \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中, V_{imax} 和 V_{imin} 分别为输入信号的最大值和最小值, σ 为绝对误差, σ 可由式(5)计算,

$$\sigma = 20 \frac{V_{out} - V_{out理论}}{k_2} \text{ (dB)} \quad (5)$$

式(5)中, V_{out} 为实际输出电压, $V_{out理论}$ 为理论输出电压, k_2 为对数放大器的比例系数,因子 20 为每阶输入电压的变化等于电平变化 20 dB。根据式(4)和式(5)测得个测试点的绝对误差为 ± 0.4 dB, 运算精度为 $\pm 0.2\%$ 。

N 位数模转换对应的 1 位最低有效位 (LSB) 为:

$$V_{LSB} = \frac{V}{2^N} \quad (6)$$

系统采用 MCU8051F020 内置 12 位精度的 A/D 转换器,输出电压为 4 V,则数据采集器的误差为 0.9 mV,可见数据采集误差对测试结果影响可以忽略。

利用本峰值功率测量系统测量 6 个窄脉冲激光阵列发出的脉冲激光峰值功率,图 5 为激光脉冲信

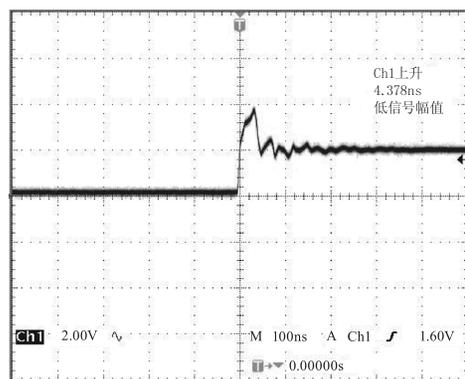


图 5 激光脉冲信号

Fig. 5 The pulsed signal of laser

号,比较湖北省计量测试技术研究院高精度仪器和本峰值功率测量系统测出的结果,测量结果如图 6。由图 6 可以看出,计量测试标称值与本系统测试值相关系数 0.99016,其标定误差小于 3%,该系统较好地实现了对大功率窄脉冲激光峰值功率的测试。所有数据都是在室温下测得,每个激光器的每次测量间隔约 6 min。每个激光器的重复测量误差都在 $\pm 1.7\%$ 之内。

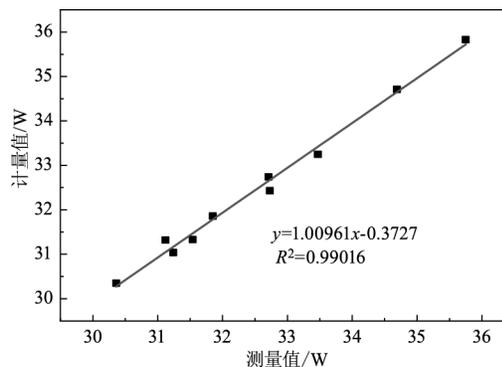


图 6 激光脉冲信号测量值与标称值对比

Fig. 6 The comparison between measured value and nominal value

4 总 结

针对窄脉冲半导体激光器阵列发射激光的特点,通过对其峰值功率测试技术的研究,提出了基于对数放大技术,采用脉冲展宽和峰值保持原理,通过快速放电复零从而直接测量窄脉冲半导体激光器阵列峰值功率的方法。测试结果表明,标定误差小于 3%,测量准确度高,重复测量误差都在 $\pm 1.7\%$ 之内。该测量方法研制的仪器具备便携、测试速度快、成本低的特点,并具有波形输出接口,适合空间有限的快速检测需求。

参考文献:

[1] ZHANG Jun, CHEN Yongyi, QIN Li, et al. Advances in high power high beam quality diode lasers. Chin Sci Bull, 2017, (32):69-78. (in Chinese)
张俊,陈泳屹,秦莉,等. 高功率、高光束质量半导体激光器研究进展[J]. 科学通报,2017, (32):69-78.

[2] HAN Gang, YAN Bo. Study on testing method for peak power and average power of pulse laser [J]. Industrial Measurement, 2008, 18(6):4-6. (in Chinese)
韩刚,闫博. 脉冲激光峰值/平均功率测试方法研究[J]. 工业计量,2008, 18(6):4-6.

[3] ZHANG Guijun, ZHANG Rui, FENG Kaifei. Study on the methods of measurement and calibration of the peak power

- of the narrow pulsed semiconductor laser[J]. Laser Journal, 2009, 30(1): 26-27. (in Chinese)
- 张贵军, 张锐, 冯凯飞. 窄脉冲半导体激光器峰值功率测试及校准方法研究[J]. 激光杂志, 2009, 30(1): 26-27.
- [4] XIONG Yan, LU Yaodong, ZHU Min, et al. Design of peak holding circuit for narrow laser pulse[J]. Laser & Infrared, 2012, 42(12): 1377-1380. (in Chinese)
- 熊焱, 陆耀东, 祝敏, 等. 窄脉冲激光信号峰值保持电路设计[J]. 激光与红外, 2012, 42(12): 1377-1380.
- [5] ZHU Min, LU Yaodong, MAN Chunyang, et al. Peak power measurement of high power and high speed diode laser [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2006, 17(11): 1343-1345. (in Chinese)
- 祝敏, 陆耀东, 满春阳, 等. 大功率高速半导体激光峰值功率测试技术研究[J]. 光电子·激光, 2006, 17(11): 1343-1345.
- [6] WANG Chengyang, CHEN Zhibin, ZHUO Jiajing, et al. Comprehensive test technology of pulsed laser peak power in common wavebands [J]. Journal of Applied Optics, 2007, 28(1): 72-76. (in Chinese)
- 王呈阳, 陈志斌, 卓家靖, 等. 几种常见波段脉冲激光峰值功率综合测试技术研究[J]. 应用光学, 2007, 28(1): 72-76.
- [7] Mpaghimi R. Log-ratio amplifier has six-decade dynamic range[J]. EDN, 2003, 48(26): 90.
- [8] Buckens P F, Veatch M S. A high performance peak detect & hold circuit for pulse height analysis[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1992, NS 39(4): 753-757.
- [9] CHEN Dejin, Liang C, Zhao J. Data acquisition and analysis system based on 8051F020[J]. China Measurement & Test, 2009, 35(2): 57-60. (in Chinese)
- 陈德金, 程亮, 赵军. 基于 8051F020 的数据采集分析系统[J]. 中国测试, 2009, 35(2): 57-60.
- [10] JU Xiaodong. Operational accuracy representation of logarithmic amplifier[J]. Electronic Technology, 1985, (5): 45. (in Chinese)
- 鞠晓东. 对数放大器运算精度表示法[J]. 电子技术, 1985, (5): 45.