

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0376-03

中红外微弱短脉冲激光信号的检测

顾静良, 袁学文, 万 敏, 冷 杰

(中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要 对重复频率 4 kHz, 脉冲宽度 20 ns, 平均功率 1 W, 中心波长 3~5 μm 的中红外激光的脉冲信号进行检测采集。由于光源离探测器距离远, 到达探测器的能量很弱, 输出信号仅为 30~60 μV , 而单级运放的闭环增益一般不能超过 100, 增益过大会导致频率特性差、稳定性差、噪声大等弊病。采用三级放大, 总的闭环增益在 1000~15000 之间, 并采用正相端调零的方法来避免信号放大后的失真。高的闭环增益必然引入比较大的噪声, 在前置放大后加了一个高通滤波滤去低于 100 kHz 的信号, 对一些干扰信号进行了抑制和衰减。最后, 针对中红外激光的脉冲时间短的特点, 提出了一种不同于常规的、行之有效的采集方法。

关键词 测量; 探测器; 数据采集; 微弱信号; 脉冲检测; 前置放大

中图分类号 TN247 **文献标识码** A

Detection of Mid-Infrared Laser Signal with Low Amplitude and Short Pulse Width

GU Jing-liang, YUAN Xue-wen, WAN Min, LENG Jie

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract A detection method is presented for mid-infrared laser signals with 4 kHz repeat frequency, 20 ns pulse width and 1 W average power. The long distance between the detector to the source results in weak energy output from the detector 30~60 μV , and the loop gain of the single stage of the amplifier can not exceed 100 times. Otherwise, overage gain will bring poor frequency characteristic, instability and high noises. So three-stage amplifier is designed, the total loop gain is 1000~15000 times, furthermore, an offset adjustment placed on the noninverting input to avoid the distortion of signal source, and high-pass filter is designed to reduce the noise of under 100 kHz and depress and attenuate the disturbing signals caused by high gain. Lastly, the effective and unusual method of data acquisition is put forward aiming at the characteristics of the mid-infrared short pulses.

Key words measurement; detector; data acquisition; weak signal; pulses detect; preamplifier

1 引 言

在数据采集领域中, 中信号与大信号的采集方法及处理方法均已比较成熟。微弱小信号的采集与数据处理并无一种固定模式, 因其信号本身微弱, 常常会“淹没”在外界干扰及自身产生的噪音中, 假如信号频率比较高, 它的采集与分离就会十分困难。本文应用中需要对重复频率 4 kHz, 脉冲宽度 20 ns, 平均功率 1 W, 中心波长 3~5 μm 的中红外激光的光信号进行检测采集。这里有两个难题: 第一, 光源离探测器距离远, 到达探测器的能量很弱, 在纳焦量级, 所以输出信号十分微弱, 仅为 30~60 μV ; 第二, 脉冲时间非常短, 对探测器响应和数据采集速度都有很高的要求。针对这两个难题提出了相应的解决方案。

2 系统构成

如图 1 所示, 整个系统主要由前置放大、滤波、脉冲采集、数据存储及处理四大部分组成, 探测器接收到的信号通过前置放大, 然后根据脉冲宽度进行滤波, 滤波输出再接入脉冲采集板的采集通道, 采集到的数据通过以太网口上传到计算机进行存储及后续的处理。

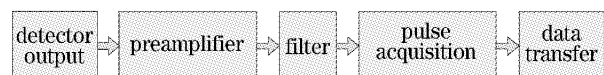


图 1 系统构成框图

Fig. 1 Structure of system

作者简介: 顾静良(1979—), 男, 浙江宁波人, 中国工程物理研究院应用电子学研究所硕士, 主要从事红外目标跟踪技术的研究。E-mail: gavin51728@yahoo.com.cn

3 硬件实现

3.1 前置放大

由于中红外探测器输出的信号十分微弱,使得直接采集无法实现。为了达到滤波和采集的输出幅度要求,将信号放大 10000~15000 倍,因为单级运放的闭环增益一般不能超过 100,增益过大会导致频率特性差、稳定性差、噪声大等弊病^[1],为了尽量保证信号不失真,采用了三级放大。其中第一级放大是最关键的,要尽可能抑制噪声,保证信号的完整,否则经过后面两级放大后,信号要么严重失真要么淹没于噪声中,所以这一级的增益不能太大,选择为 10 倍。第二级的增益选为 100 倍,而第三级的增益可以通过可变电阻调节。选择运放时最关键的参量是运放带宽、失调电压和输入噪声,而带宽和失调电压又存在矛盾,两项不能同时满足要求。如果带宽不满足要求的话,输出信号就会失真,因此优先考虑带宽,选择了 TI 公司的高速运放 OPA847,它的带宽增益积为 3.9 GHz,转换速率 950 V/ μ s,输入电压噪声为 0.85 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$,输入电流噪声为 2.5 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$,失调电压 ± 0.1 mV,温漂 ± 0.25 μ V/ $^{\circ}\text{C}$ ^[2]。基本的放大电路和输出结果如图 2 所示。

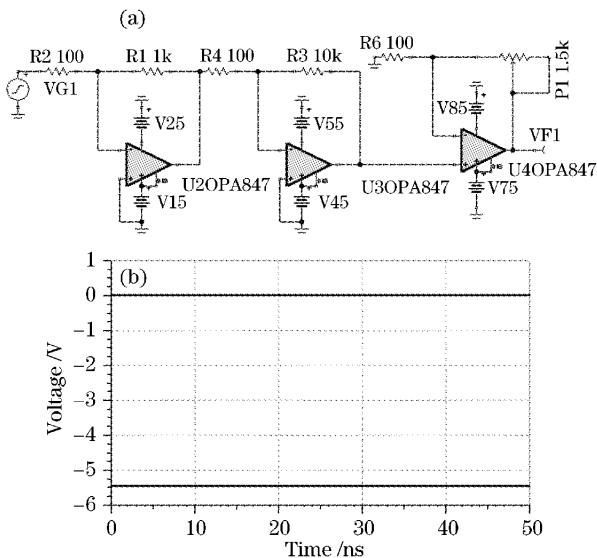


图 2 基本放大电路(a)和输出结果(b)
Fig. 2 Basic amplifier circuit (a) and output (b)

由图 2 可以看到输出结果已经饱和,信号被完全淹没。这是因为放大器件 ± 0.1 mV 的失调电压大于输入电压,信号无法正确放大。对放大电路进行零点调节,当然调零后仍然存在失调,因为外界温度会有所变化。但器件 ± 0.25 μ V/ $^{\circ}\text{C}$ 的温漂相对

输入来说已经很小了。零点调节后的电路和输出结果如图 3 所示。

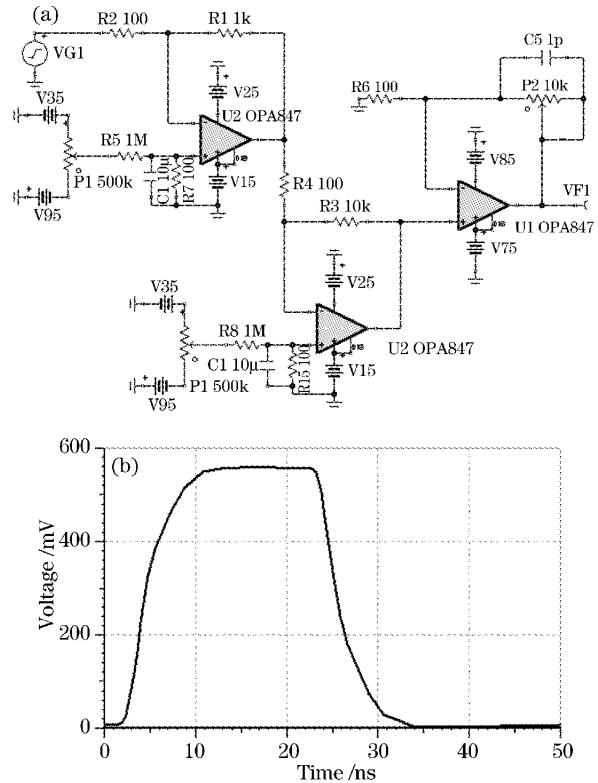


图 3 零点调节后的放大电路(a)和输出结果(b)
Fig. 3 Amplifier circuit with offset adjustment (a) and output (b)

零点调节在正相端和反相端都可以进行。由于调节电阻和放大器的输入电阻同样并联在反相端的话会在一定程度上降低放大器的性能,因此在正相侧闲置的情况下,使用正相侧进行调节是最好的^[1]。为了避免对电路其他部分的影响,用于 R7 的电阻值要尽量低。这里,换算成输入的可调节范围是

$$V_{os} = \pm V \frac{R_7}{R_5 + R_7} = \pm 0.5 \text{ mV}.$$

零点调节后的输出和由放大器温漂引起的输出偏差在 10 mV/ $^{\circ}\text{C}$,已经能够满足要求。

3.2 滤波选频

高的闭环增益必然会引入比较大的噪声,噪声干扰主要由探测器噪声、放大器件噪声和外部干扰三部分组成。这些噪声相对信号是低频信号,在前置放大后加了一个高通滤波来滤去低于 100 kHz 的信号,基本能够滤去大部分噪声干扰。这里采用二阶 3 dB 切比雪夫高通滤波电路,设计参量见二阶 3 dB 切比雪夫高通滤波设计表^[2]。图 4 所示为二阶 3 dB 切比雪夫高通滤波电路及其频率响应。

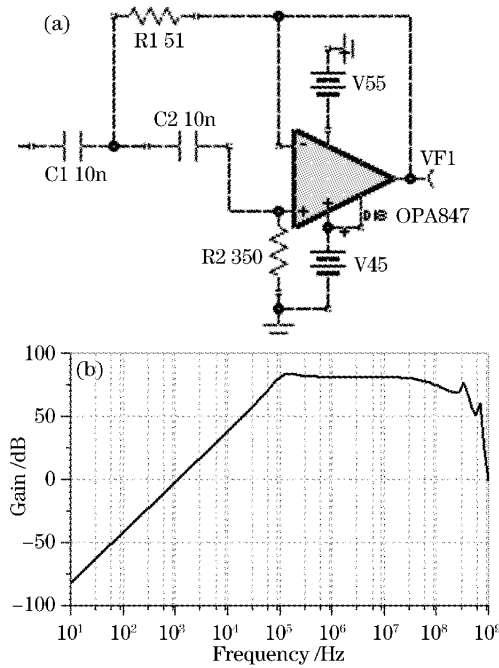


图 4 高通滤波电路(a)和频率响应(b)
Fig. 4 High-pass filter circuit (a) and frequency response (b)

3.3 脉冲采集

对窄脉冲通常选取高采样速率的模-数(A/D)转换器实时采集,会导致采样精度受到限制,引入高频器件使用上的一些电磁兼容和干扰问题。对脉冲进行积分,然后再用剩下的时间做模-数转换采集。因为重复频率是 4 kHz,所以对模-数转换器采样频率要求就大大降低,采样精度就能够得到很大的提升。脉冲采集电路结构如图 5 所示。用第一个脉冲作为采集的触发,然后根据时序关系来进行后续信号采集的方法,很好地解决了这个问题。

由图 5 所示的脉冲采集时序可以看到,第一个脉冲信号过来后,引起触发,通知现场可编程门阵列(Field programmable gate array, FPGA)控制积分器在下一个脉冲处开一个积分窗,积分完成后通知模数转换器 AD7677 进行数据采集,采集完成后将积分器复位,准备下一次的积分采集,以此类推,采

集到的数据先保存在 FPGA 的存储器里,由 FPGA 通过以太网口上传到计算机进行后续的分析处理。

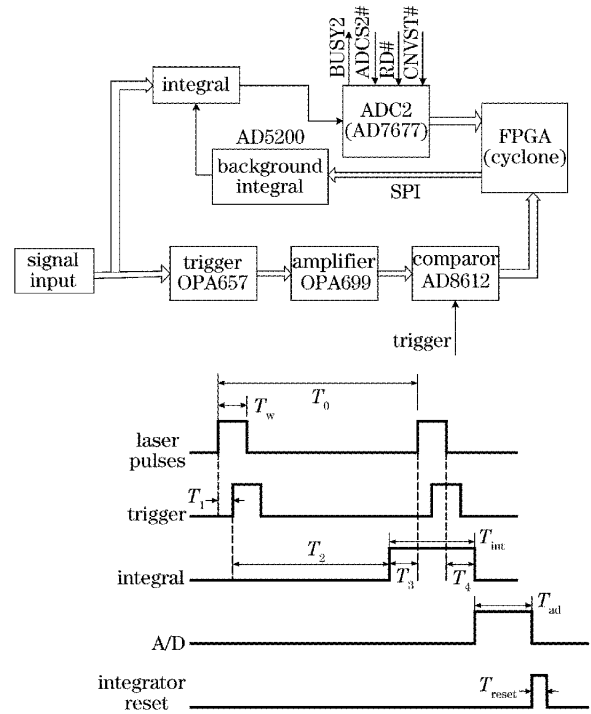


图 5 脉冲采集电路结构和采集时序
Fig. 5 Structure of pluse acquisition circuit and timing waveform

3.4 电路设计中的注意事项

为了使本文信号顺利放大采集,必须注意以下事项:1)选择合适的元器件与集成芯片;2)处理好失调电压与噪声抑制问题;3)注意布线 and 布局,尤其要注意放大电路部分的布线。

参 考 文 献

- 1 Okamura Michio. OP Amplifier Circuit Design [M]. Beijing: Science Press, 2004. 18~161
- 2 冈村迪夫. OP 放大电路设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2004. 18~161
- 3 Wang Hengshan. Design and Application of RC Circuit [M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 1985. 140~154
- 4 王恒山. RC 电路及其应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1985. 140~154