

手持激光测距仪及其发射电路

智 强, 霍玉晶, 巩 轲
(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要:脉冲相位激光测距法是当前手持激光测距仪采用的一种新型测距方法, 针对这种测距方法, 设计了一种简易的产生测距激光信号的电路方案, 其中包含频率合成方案、激光调制电路, 并分析了设计对于测距的范围、精度、周期、能耗的影响, 指出了提高测距指标的关键所在。另外, 通过跨导运放的使能端实现了间歇发射激光脉冲串的目标, 提高了发射激光的峰值功率, 这有利于增加测距范围。电路设计方案简易, 对手持激光测距技术研究有一定的参考意义。

关键词:脉冲相位激光测距; 间歇发射; 频率合成

中图分类号:TH741 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.05.013

Handheld laser rangefinder and its transmitter circuit

ZHI Qiang, HUO Yu-jing, GONG Ke

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: A simple LD laser drive circuit was designed for pulse phase laser rangefinder, which contains the frequency synthesizer and the laser modulation circuit. This paper analyzes the effect of the circuit on the ranging range, accuracy, cycle and energy consumption, and illustrates the key points to improve laser ranging performance. Intermittent burst emission was achieved by enabling and disabling the operational transconductance amplifiers (OTA). This intermittent burst emission heightens the laser peak power, which can enhance the measurement range. This circuit design is simple and feasible, and has certain reference value for the handheld laser rangefinder developing.

Key words: pulse-phase laser range finding; burst emission; frequency synthesizer

1 引 言

精密测距是激光的一个重要应用。激光测距广泛应用于军事、工程建设、精密测量及控制、房屋丈量等领域。激光测距的方法多种多样, 常见的有脉冲法、相位法、干涉法、三角法等。其中脉冲法和相位法是基于激光飞行时间间隔的测量方法, 它们各有优缺点: 一般脉冲法激光测距的测程较远, 无合作目标也可达几十公里, 但绝对精度较低, 通常为米或分米量级; 相位法激光测距的精度可达毫米量级甚至更高, 但却存在着最大可测范围与测距分辨率之间的矛盾, 通常增大测程的办法就是使用多个调制频率作为多把测尺来测量。低调制频率作为粗测尺, 测得距离的粗测值, 高调制频率作为精测尺, 测得距离的精测值, 粗测值和精测值按照一定的算法结合起来就是待测距离值。但这样会增加系统设计

的难度和复杂度, 从而也可能使得仪器的体积、质量等增加, 不利于便携式应用。现在市场上对于短程、无需合作目标的高精度手持激光测距仪的需求较大, 这类测距仪采用了一种脉冲相位测距法来进行测距。这种测距方法结合了脉冲法和相位法两种测距方法的优点^[1-2]。

2 脉冲相位激光测距原理

脉冲相位法激光测距是利用间歇发射的相干激光脉冲串来进行测距的。其原理如图1所示。

其中, T_s 是激光脉冲的周期; T_l 为激光脉冲串的持续时间; T_b 为激光脉冲串重复周期; $f_s = 1/T_s$ 为激光脉冲的频率。

作者简介: 智 强 (1986 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为脉冲相位激光测距。E-mail: zhiq1986@126.com

收稿日期: 2012-09-28; **修订日期:** 2012-10-13

测距系统框图如图 2 所示。

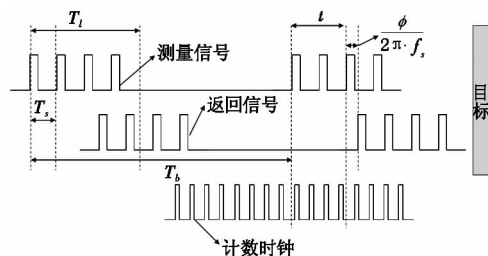


图1 脉冲相位激光测距原理

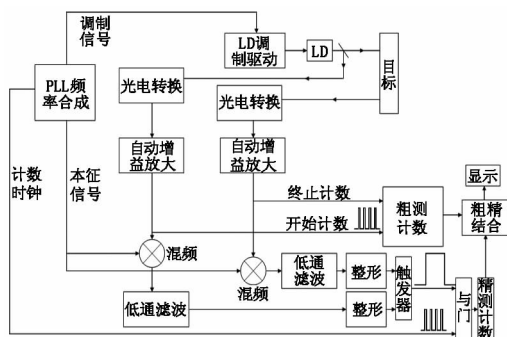


图2 脉冲相位测距系统框图

测距过程如下：测距系统发射一串激光脉冲，经分束后，小部分光进入参考光路，触发计数器计数，接收系统接收到返回信号时终止计数，所计数乘以时钟周期就是脉冲串的传播时间 t ；不仅脉冲串往返经历延时，脉冲也在往返一次的途中产生相位移动 ϕ ，利用外差法测得 ϕ （两路高频信号与本振信号经过混频、低通滤波、整形后分别触发触发器，利用时钟填充测得 ϕ ），则待测距离值为：

$$L = \frac{c}{2} \cdot \left(t + \frac{\phi}{2\pi f_s} \right) \quad (1)$$

从测距过程可以看出，脉冲相位激光测距结合了脉冲法激光测距与相位法激光测距的优点，间歇脉冲串的发射方式使得激光能量集中，信噪比提高，这有利于增加无合作目标情况的测距范围，脉冲的相干性也使得这种测距方法保留了相位激光测距精度高的优点^[2]（很容易看到，当计数时钟与调制信号相同时，每一次粗测计数对应的时间对应于 2π 的相位，精测部分的相位则对应不满 2π 的相位，所以脉冲相位激光测距本质上还相当于一种相位激光测距，具有和相位激光测距一样的精度）。

只要保证时间部分 t 的测量误差 Δt 对应的相位不超过 2π ，则粗测值和精测值就可以结合得到距离的精确值。假设激光脉冲频率为 $f_s = 100 \text{ MHz}$ ，则需保证 $\Delta t \leq 10 \text{ ns}$ ，采用恒比定时鉴别时刻法，很容易实现低于这个测时误差的目标^[3-4]。

3 频率合成方案

从前面的测距原理可以看出，脉冲相位激光测距本质上还是一种相位激光测距，其测距精度与一

般的相位激光测距一样，还是取决于发射信号与返回信号间相位差的测量精度。

相位激光测距中一个需要首先考虑的关键问题就是频率的合成方案。良好的频率跟踪是减小测距误差的关键。常见的频率合成技术有直接频率合成、锁相环频率合成（PLL）、直接数字频率合成（DDS），目前的研究大都采用 DDS 来实现不同频率的合成。虽然 DDS 的输出具有频率分辨率高、频率转换时间快等优点，然而也存在输出杂散较大，频谱不纯等缺点，同时 DDS 芯片的能耗通常也更高。PLL 的频率输出较 DDS 杂散小，频率跟踪特性好，相当于一个窄带滤波器，但存在频率分辨率低、转换时间长的缺点。现在流行的频率合成方案是将二者结合起来，即 DDS + PLL 的频率合成方案。我们选用 TI 公司的基于多锁相环的、可编程的、具有多路 LVCMOS 输出的时钟芯片系列 CDCE9xx 来获得所需频率。这避免了使用 DDS 合成频率过程中复杂滤波电路的设计，降低了能耗，有利于便携式设计，同时多锁相环的配置也避开了 PLL 只能大步进频率合成的缺点。通过在芯片内部设置适当的分频比参数，可实现 0 ppm 输出。其中一款 CDCE925 的功能框图如图 3 所示。

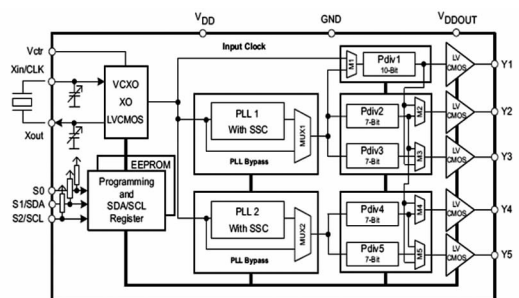


图3 CDCE925 功能框图

测距系统所需的输出频率有 4 个：脉冲串重复频率 f_b ，激光调制频率 f_s ，本振信号频率 f_o ，计数时钟频率 f_c 。将编程指令写入时钟芯片内部即可获得以上频率输出。

4 激光调制电路

激光的调制方式通常分为外调制和内调制。对于激光二极管 LD，对其注入电流进行直接调制是一种简易的内调制方法。采用直接注入电流的调制方法。激光二极管的调制特性如图 4 所示。

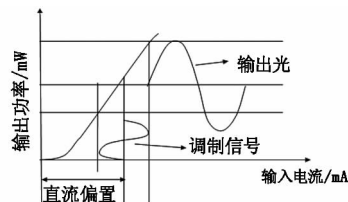


图4 激光二极管调制特性

LD 直接调制的频率特性一方面受到自身结构参数的影响,另一方面还与其直流工作点即直流偏置电流有关。高频调制 LD 发光时会受到这两方面的限制,若要提高 LD 发射激光的调制频率,合理设置直流偏置电流并在调制电流与 LD 间设置匹配电路是行之有效的办法^[5-6]。

采用高速跨导运放 OPA2662 来获得调制电流。调制电路如图 5 所示,利用运放的使能端来实现间歇发射激光脉冲串的目的。

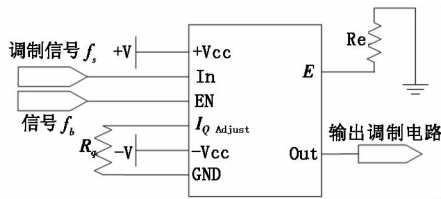


图 5 调制电流产生电路

通过调节 R_e 的阻值可以实现对运放跨导的

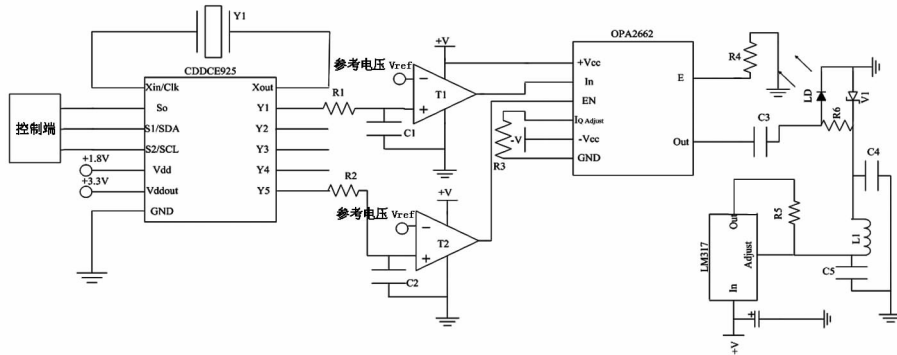


图 7 测距仪发射部分电路图

5 设计参数对测距影响的分析

5.1 频率合成对测距精度的影响

晶振的频率为 f_s , 相位激光测距的精度^[7] 由下式给出:

$$\Delta L = \frac{\Delta \varphi}{2\pi f_s} \cdot \frac{c}{2} \quad (2)$$

式中, $\Delta \varphi$ 为发射信号与返回信号间的相位差, 一般用外差法通过混频将高频降低到低频测相。采用自动数字相位检测法, 计数频率为 f_c , 则距离分辨率为:

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{\Delta \varphi}{2\pi \cdot f_s} \cdot \frac{c}{2} = \frac{2\pi \cdot (f_s - f_o) \Delta t}{2\pi \cdot f_s} \cdot \frac{c}{2} \\ &= \frac{c}{2} \cdot \frac{f_s - f_o}{f_s \cdot f_c} \end{aligned} \quad (3)$$

设计一款精度为毫米级的测距仪, 其中各频率设计如下:

$$f_s = 100 \text{ MHz} \quad f_o = 99.95 \text{ MHz} \quad f_c = 100 \text{ MHz}$$

把数据代入式(3), 算得测距精度为 $\Delta L = 0.75 \text{ mm}$ 。然而, 实际当中的频率值总会偏离设计

调节。

LD 的直流偏置电路设计如图 6 所示。

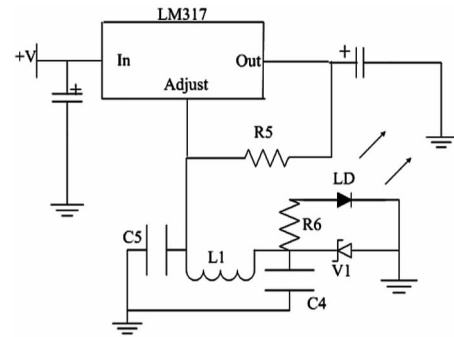


图 6 LD 直流偏置电路

其中, LM317 为稳压器, 通过 R_5 给 LD 提供直流偏置电流, C_5, L_1, C_4 组成低通滤波电路, V_1 为瞬态抑制二极管, 起到保护 LD 的作用。

整体发射电路如图 7 所示。

值, 接下来考察频率的偏离对于测距精度的影响。如果晶振的频率稳定度为 P , 对式(3)左右两端微分得到:

$$\delta(\Delta L) = \frac{c}{2} \cdot P \cdot \frac{f_o - f_s}{f_s \cdot f_c} \quad (4)$$

可见, 调制信号频率与本振信号频率差值设计的越小、调制信号频率和计数时钟频率设计的越高、晶振的频率稳定度越高, 则对于测距精度的影响越小。

$\delta(\Delta L)$ 的影响会随着测量距离的增加而成正比增加。相位激光测距最大可测范围为:

$$L = \frac{c}{2} \cdot \frac{1}{f_s} \quad (5)$$

则相位激光测距的最大偏差为:

$$\delta(L) = \frac{L}{\Delta L} \cdot \delta(\Delta L) = -\frac{c}{2 \cdot f_s} \cdot P \quad (6)$$

如果 $P = 50 \text{ ppm}$, 则 $\delta(L) = 0.075 \text{ mm}$ 激光测距精度为:

$$\Delta L + \delta(L) = 0.825 \text{ mm}$$

可见,选用高稳定度晶振、提高激光调制频率、提高计数时钟频率,都是提高测距精度的途径。

5.2 间歇发射方式对测距范围的影响

发射激光的平均功率为 P_i , 脉冲串持续时间为

T_l , 定义 $D_1 = \frac{T_l}{T_b}$ 为脉冲串的占空比, 脉冲串内连续

脉冲的占空比为 D_0 , 定义 $D_0 \cdot D_1$ 为总占空比, 则激光峰值功率为:

$$P_{\text{peak}} = P_i / (D_1 \cdot D_0) = P_i / D$$

考虑到瞬态效应的影响, 同时为保证测相中的相位比较, 需要保证脉冲串持续时间内至少有一个半周期的差频信号(前半个周期用来抵消瞬态影响, 后面一个周期进行相位比较), 即:

$$T_l \geq \frac{1}{f_s - f_o} \cdot \frac{3}{2}$$

一个测距周期内的能耗为:

$$W = P_i \cdot T_b$$

可以看到, 差频频率会影响到脉冲串的持续时间, 在保持平均发射功率 P_i 及测距周期 T_b (与测距速度有关) 不变时, 提高激光调制频率及计数时钟频率、压缩激光脉冲占空比 D_0 , 可以分别提高测距精度和测距范围, 而不对测距速度及能耗产生影响。

6 结 论

从测距的范围和精度、测距周期、能耗等方面出发, 综合分析了脉冲相位激光测距法, 给出了在保证测距各项指标(主要是测距周期和能耗)不变的前提下, 提高激光测距范围和精度的措施, 即选用高稳定度晶振, 提高激光调制频率, 压缩激光脉冲占空比等, 并设计了相应的电路, 这对于短程、无需合作目标的高精度手持激光测距技术的研究具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] Yao Pingping, Zhang Yi, Tu Bihai, et al. Range research in pulse-phase laser rangefinder with non-cooperative target[J]. Chinese J. Lasers, 2008, 35(s2): 237 - 341. (in Chinese)
- 姚萍萍, 张毅, 涂碧海, 等. 非合作目标脉冲相位式激光测距仪的测程研究[J]. 中国激光, 2008, 35(s2): 237 - 341.
- [2] E A Wachter, W G Fisher. Coherent-burst laser ranging: decoupling resolution and unambiguous range[J]. Optics Letters, 1997, 22(8): 570 - 572.
- [3] Feng Guoxu, Chang Baocheng. Study of high precision laser ranging technology[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(11): 1137 - 1140. (in Chinese)
- 冯国旭, 常保成. 高精度激光测距技术研究[J]. 激光与红外, 2007, 37(11): 1137 - 1140.
- [4] Chen Qiansong, Yang Chengwei, Pan Zhiwen, et al. A brief introduction on the development of laser time-of-flight distance measurement technology[J]. Laser & Infrared, 2002, 32(1): 7 - 10. (in Chinese)
- 陈千颂, 杨成伟, 潘志文, 等. 激光飞行时间测距关键技术进展[J]. 激光与红外, 2002, 32(1): 7 - 10.
- [5] Xu Baoxi, Zhan Yushu, Guo Siji. Theoretical analysis of pulse modulation of semiconductor lasers[J]. Acta Optica Sinica, 1987, 7(5): 415 - 420. (in Chinese)
- 许宝西, 詹玉书, 过巳吉. 半导体激光器脉冲调制理论分析[J]. 光学学报, 1987, 7(5): 415 - 420.
- [6] Lin Tao, Lin Nan, Ma Xinjian, et al. Effects of parasitic parameters on the modulation characteristics of semiconductor laser diodes[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(3): 295 - 299. (in Chinese)
- 林涛, 林楠, 马新尖, 等. 寄生参数对半导体激光器直接调制特性的影响[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(3): 295 - 299.
- [7] Jia Fangxiu, Ding Zhenliang, Yuan Feng. Design on high frequency amplitude modulation of laser diode[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(11): 1174 - 1177. (in Chinese)
- 贾方秀, 丁振良, 袁峰. 半导体激光器高频调制技术[J]. 激光与红外, 2007, 37(11): 1174 - 1177.

[1] Yao Pingping, Zhang Yi, Tu Bihai, et al. Range research