

文章编号: 2095-4980(2016)06-0929-05

激光扫描仪接收系统的峰值保持电路设计

楚现涛^{a,b}, 唐 丹^{a,b}, 王 欣^{a,b}

(中国工程物理研究院 a.应用电子学研究所; b.研究生院, 四川 绵阳 621999)

摘 要: 针对激光扫描仪接收系统对信号窄脉宽、高重频、大带宽的设计要求, 提出 2 种保持时间可调的峰值保持电路的设计方法。一种利用跨导型放大电路实现峰值保持, 单稳态触发器实现保持时间控制; 一种利用 FastFET 运算放大器和与门延时实现保持时间可控的峰值保持电路。通过软件仿真对 2 种设计方法进行对比分析, 选择更适合激光扫描仪接收系统的跨导型峰值保持电路。经实验验证, 该电路可对 15 ns 脉宽、200 kHz 重频和 50 MHz 带宽的信号有效保持, 且保持时间可调。

关键词: 激光扫描仪; 跨导型放大电路; 峰值保持; 单稳态触发; 保持时间控制

中图分类号: TN952

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201606.0929

Design of peak-holding circuit for the receiving system of laser scanner

CHU Xiantao^{a,b}, TANG Dan^{a,b}, WANG Xin^{a,b},

(a.Institute of Applied Electronics; b.Graduate School, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: The receiving system of laser scanner requires the signal with narrow pulse, high repetition rate and wide bandwidth. To meet these requirements, two peak-holding circuits whose holding time is adjustable are proposed. For one method, transconductance amplifier circuit is adopted to realize the peak-holding, and mono-stable multivibrator is applied for holding time control. For the other method, by combining FastFET calculation amplifier with AND gate delay, the peak-holding circuit with controllable holding time is implemented. After simulation and analysis, transconductance amplifier circuit is selected. Experiments show that the selected circuit can hold the peak of the signal with 15 ns pulse width, 200 kHz repetition rate and 50 MHz bandwidth, and the holding time is adjustable.

Keywords: laser scanner; transconductance amplifier circuit; peak-holding circuit; mono-stable multivibrator; holding time control

激光扫描仪作为机载激光雷达的核心部件, 主要组成部分包括: 激光发射系统、信号接收与探测系统、扫描系统以及数据采集与控制单元等^[1-3]。激光发射系统发射脉冲激光扫描地面物体, 经漫反射至信号接收与探测单元; 信号接收与探测单元中, 光电探测器将接收到的光信号转换为电信号, 并经滤波、放大、整形、采样等处理产生点云数据, 传送至数据采集与控制单元, 再经数据后处理, 生成目标三维图像。由于探测距离及目标反射率等的不同, 光电探测器接收的信号动态范围较大, 要求自动增益控制电路保证输出信号在一定幅度内, 以满足高速 AD 的采样要求。峰值保持电路是自动增益控制系统的主要组成部分。

Werner Haas 等^[4]于 1986 年用分立元件实现了响应速度快(<10 ns)、通频带上限频率高(150 MHz)的峰值保持电路; 之后, Pierre F. Buckens 等^[5]设计了一款集成与分立结合的峰值保持电路, 线性极好, 但通频带上限频率只有 2.2 MHz; 文献[6]中以 LM311、LF398 为核心器件, 设计出可对 100 kHz 重频信号进行保持的电路, 但该电路不能有效处理窄脉冲; 文献[7]中以 OPA615 为峰值保持核心芯片, 利用开关芯片 DG211 实现保持时间控制, 但该电路保持时间最小 20 μ s, 不能实现对高重频信号的保持采样; 文献[8]以 MAX436 为核心器件实现对 70 MHz, 20 ns 脉宽信号的高效保持, 但该电路要求输入信号在 400 mV 以上。

随着激光雷达应用^[9]越来越广泛, 对激光扫描仪的指标也提出越来越高的要求。为满足应用需求, 根据激光

扫描仪接收电路的实际需要,提出 2 种可处理 15 ns 窄脉冲、200 kHz 高重频、50 MHz 大带宽信号峰值保持电路,并对 2 种电路分别进行仿真实验,通过对比分析仿真结果,选出更适合激光扫描仪接收系统的电路,进而对其进行实验验证。

1 激光扫描仪接收系统组成

激光扫描仪接收电路的组成如图 1 所示。图中,接收到的漫反射光信号经光电转换器转变为电信号,经过放大与峰值保持,由低速 AD 对信号幅值采样;反馈系统根据采样值的大小控制程控放大器的增益,以保证高速 AD 采样的信号在一定的幅度内,后续电路再对高速 AD 采样的信号进行处理。为保证激光扫描仪出射激光的峰值功率,出射激光要有 ns 级^[10]的窄脉宽,设计中取为 4 ns~10 ns,考虑到脉冲激光在发射和接收过程中的展宽^[11],将接收到的脉冲信号的脉宽近似为 15 ns。为保证激光扫描仪地面扫描方向的距离精确度,出射激光要有足够高的重频;针对视场(Field of View, FOV)=60°视场角、扫描频率 $f_{\text{scan}}=120$ Hz 的激光扫描仪,在扫描高度 $H=1\ 000$ m 的情况下,要保证扫描方向上 $d=70$ cm 的扫描精确度,激光重频 $f=200$ kHz;为保证激光扫描仪的回波分辨率,激光接收电路需要大带宽,设为 50 MHz。

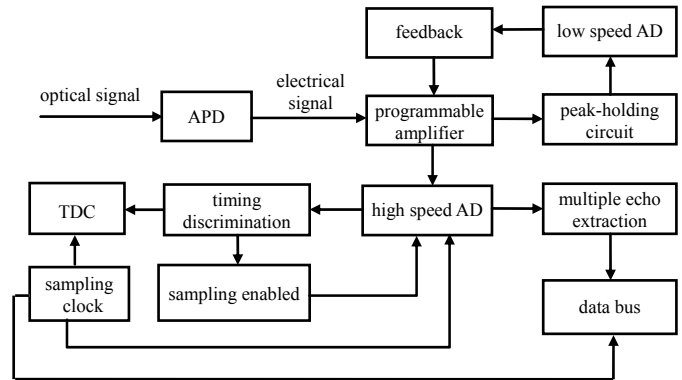


Fig.1 Receiving system of laser scanner
图 1 成像激光扫描仪接收系统原理框图

2 保持时间可调的峰值保持电路设计及仿真

2.1 基于跨导放大器的峰值保持电路设计与仿真

该电路以跨导放大器^[12]作为峰值保持的核心器件,使用双单稳态触发电路进行保持时间的有效控制。保持时间可控的跨导型峰值保持电路整体设计原理如图 2 所示。

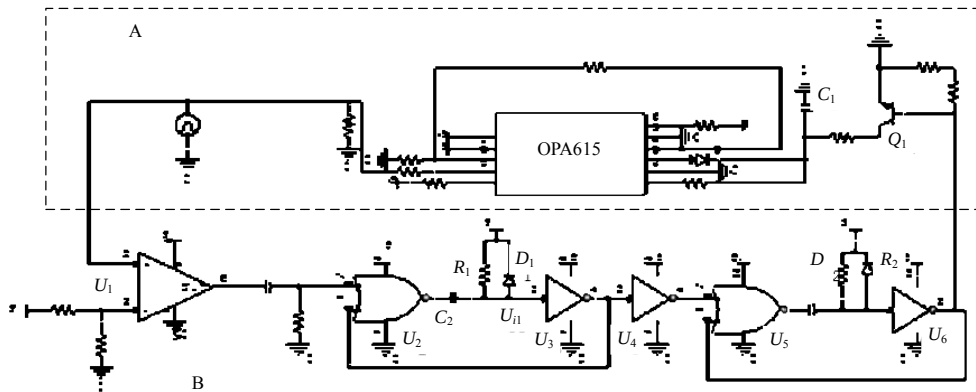


Fig.2 Diagram of the peak-holding circuit based on OTA
图 2 跨导型峰值保持电路整体设计原理图

图 2 中, A 部分为信号保持模块,保持芯片选用文献[7]中的 OPA615,该芯片由一个带宽为 730 MHz 的采样比较器和一个带宽为 710 MHz 的运算跨导放大器(Operational Transconductance Amplifier, OTA)组成。保持命令响应时间仅为 2.5 ns,芯片的传输延时也只有 1.9 ns,时间性能非常优异。保持电容 C_1 选用聚苯乙烯电容,作为放电开关的 Q_1 选用恢复时间较短的肖特基三极管。

B 部分为保持时间控制模块,输入信号经过电压比较器输出高电平幅度约 U_{DD} 的逻辑门电路(Transistor-Transistor Logic, TTL)信号,进入由 U_2, R_1, C_2, D_1, U_3 组成单稳态触发器 1,它的暂稳态时间决定峰值电路的保持时间。暂稳态时间 t_w 计算方法如下: t_w 等于从电容 C_2 开始充电到 U_{i1} 上升至 U_3 阈值电压 U_{TH} 的时间。

$$t_w = R_1 C_2 \ln \frac{U_C(\infty) - U_C(0)}{U_C(\infty) - U_{TH}} \quad (1)$$

本设计中, $U_C(0)=0$, $U_C(\infty)=U_{DD}$, $U_{TH}=1/2 U_{DD}$, 代入式(1)得

$$t_w=0.69R_1C_2 \quad (2)$$

反相器 U_4 将单稳态触发器 1 的输出反向, 单稳态触发器 1 的输出信号下降沿触发由 U_5, U_2, R_2, D_2 组成的单稳态触发器 2, 输出正脉冲加到 Q_1 的基极使 C_1 放电, 保持时间结束。带宽与上升沿关系式如下:

$$BW=0.35/RT \quad (3)$$

式中 RT 为上升沿时间。50 MHz 带宽的信号上升沿为 7 ns。以上升沿 7 ns, 脉宽 15 ns 的信号作为输入信号进行仿真实验。50 MHz 的信号, 其脉宽周期 20 ns, 上升沿与下降沿均为 7 ns, 对脉宽 15 ns 的信号, 其总脉冲 29 ns, 大于 20 ns, 满足带宽要求。

图 3 为分别取 $R_1C_2=1.55 \times 10^{-6}$ 、 $R_1C_2=3.5 \times 10^{-6}$ 的仿真结果。代入式(2), 保持时间的仿真结果与理论结果基本吻合, 误差在 2.5% 左右。图中, 1 与 3 为相同的输入窄脉冲, 2 与 4 为仿真输出脉冲波形。

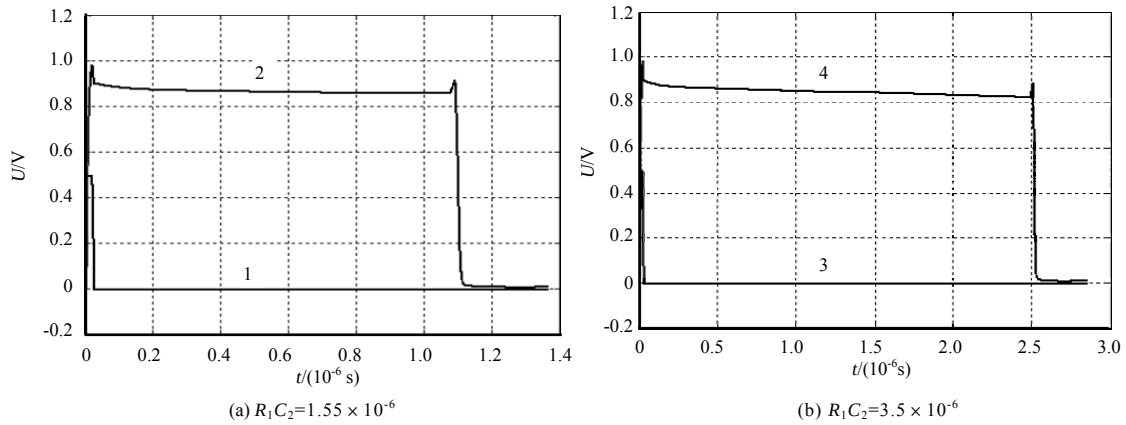


Fig.3 Simulation results of the peak-holding circuit based on OTA

图 3 跨导型峰值保持电路仿真结果

2.2 基于电压跟随器的峰值保持电路设计

基于电压跟随器的峰值保持电路如图 4 所示, 电路选取单位增益稳定、超高速电压反馈型放大器, 具有场效应晶体管(Field Effect Transistor, FET)输入的 FastFET 放大芯片 ADA4817 作为核心器件。具有 1.5 pF 的输入电容、极高的输入阻抗、最大 2 mV 的低失调电压, 以及 1 050 MHz 的-3 dB 带宽, 非常适合数据采集前端。

输入信号经过 U_1, J_1 传输到 U_2 的都是幅值高于 J_1 阈值的信号, 经过一连串的和门延迟后, 加到 Q_1 的基极使 C 放电。串联的和门越多, 时间延迟越长, 保持时间也就越长。

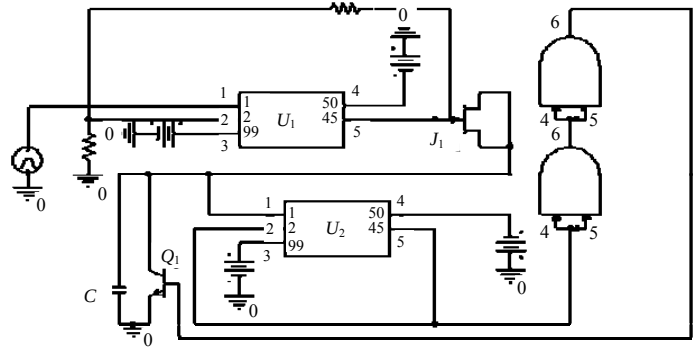


Fig.4 Diagram of the peak-hold circuit based on FastFETOp Amps

图 4 基于 FastFET 运算放大器的峰值保持电路设计原理图

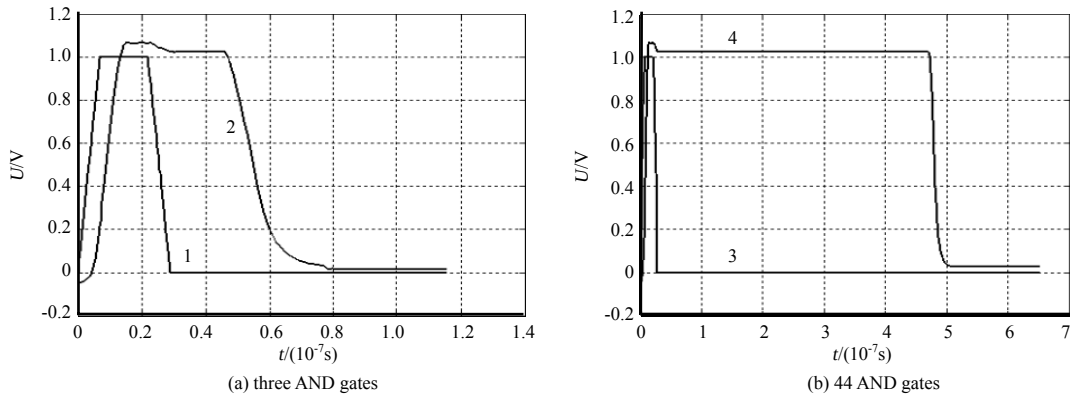


Fig.5 Simulation results of the peak-holding circuit based on voltage follower

图 5 基于电压跟随器的峰值保持电路

图 5 中, 1 与 3 为相同的输入窄脉冲, 2 和 4 分别为串联 3 个与门和 44 个与门的仿真输出脉冲波形, 由图可以看出, 串联 3 个与门芯片时保持时间约 50 ns, 44 个与门芯片保持时间约 0.5 μ s。

2.3 峰值保持电路性能比较与应用分析

由表 1 可知, 2 种电路的响应时间、放电速率等参数均相差不大, 均可用于激光扫描仪信号的保持电路。

电压跟随器的峰值保持电路下垂速率近似为零, 保持效果良好, 但延时主要受控于与门芯片的数量, 当需要 μ s 级延时, 需要几十甚至上百个与门芯片, 将极大增加板子的面积和质量。并且, 由于受限于 J_1 的阈值, 该电路要求输入信号幅度大于 0.85 V, 限制了电路应用。该电路适用于对保持效果要求较高、近距离回波信号强度较大、延迟时间较短的应用中。

跨导型峰值保持电路的峰值保持时间主要由图 3 中 R_1 和 C_2 决定, 延长延迟时间不会增加芯片数量, 可以在有效控制板子面积的前提下控制延迟时间。并且, 在电路时间控制部分, 只要输入信号大于比较器另一端可调的阈值电压, 经过比较器 U_1 后, 输出高电平、幅度为 U_{DD} 的 TTL 电平, 克服了阈值电压对输入信号的限制, 电压输入范围增大。

针对远距离探测激光扫描仪应用, 本设计选择跨导型峰值保持电路。

3 实验

50 MHz 射频段信号的传输, 若阻抗不匹配, 信号会有不规则的衰减, 因此电路在做好理论上的阻抗匹配前提下, 要控制板子的寄生参数, 以防寄生参数导致 PCB 信号传输线的再次不匹配。另外, 考虑到电路的可靠性和低噪声, 对 PCB 设计提出要求: 元件布局合理, 分布均匀, 连线尽量短, 电源线尽量远离地线、信号线, 传输线尽量减少或不使用过孔等。电路板调试时保持板子清洁, 避免焊接或沉污对电路板信号的影响。PCB 见图 6(a), A 是峰值保持部分; B 是输入输出端口与电源端口; C 是保持时间控制部分。

本设计实验验证在常温常湿实验条件下进行, 信号发生器产生上升沿 7 ns、脉宽 15 ns、幅值 500 mV 的信号作为输入信号。通过示波器观察电路的输出结果如图 6(b)所示, 图中保持信号的上升时间取决于保持电容的选择, 本实验中保持电容选择 50 pF 的聚苯乙烯电容, 保持信号响应时间约 2 ns, 上升时间约 5 ns, 保持时间 2 μ s, 幅值约 930 mV, 保持精确度为 0.93。保持信号满足常规低速 AD 转换器进行采样处理的要求, 实现了其在图 1 扫描仪接收系统中的作用。上升沿和下降沿出现的过冲属于吉布斯现象, 对电路的应用不会产生大的影响。当选用不同的 AD 采样时, 根据需要可以通过改变暂稳态电路的电阻电容积来改变电路的保持时间。

4 结论

针对激光扫描仪接收系统的设计要求, 本文提出了 2 种可实现 15 ns 窄脉冲、200 kHz 高重频、50 MHz 大带宽信号的保持时间可调的峰值保持电路设计方案, 并进行了功能仿真。通过仿真结果及理论分析, 选择跨导型峰值保持电路用于激光扫描仪接收系统中, 并进行了实验验证, 证明了该电路可实现对激光扫描仪接收的回波信号有效的峰值保持, 且保持效果良好。该电路已被成功应用到本部自主研发的激光扫描仪中。

表 1 两种峰值保持电路性能参数表

Table1 Main parameters of two peak-holding circuits

parameter name	value	
	peak-holding circuit based on OTA	peak-holding circuit based on FastFET
pulse width/ns	15	15
frequency/kHz	200	200
bandwidth/MHz	50	50
response time/ns	8	9
drop rate/(V $\cdot\mu$ s ⁻¹)	0.028	$\approx$ 0
discharge rate/(V $\cdot\mu$ s ⁻¹)	30	32
holding time	0.69R ₁ C ₂	depending on gates
amplitude U_{im}	0.2 mV< U_i <0.5 mV	$\geq$ 0.85 V

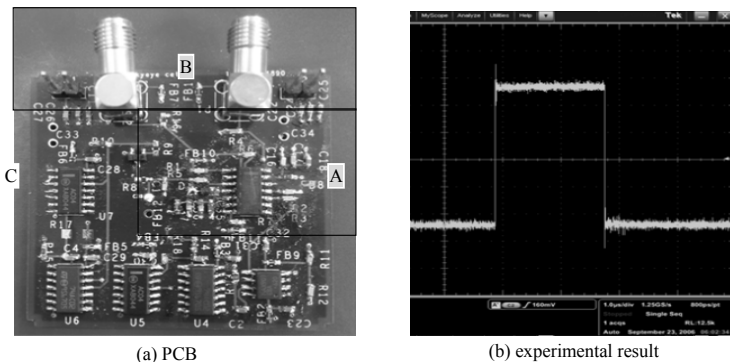


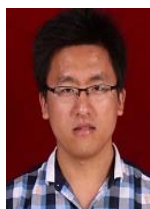
Fig.6 Experimental result

图 6 实验电路板及实验结果

参考文献:

- [1] 谢晨波,韩永,李超,等. 车载式激光雷达测量大气水平能见度[J]. 强激光与粒子束, 2005,17(7):971-975. (XIE Chenbo, HAN Yong, LI Chao, et al. Mobile lidar for visibility measurement[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2005,17(7): 971-975.)
- [2] 赵志龙,苏园园,吴谨,等. 基于合成频率步进线性调频信号的合成孔径激光雷达成像[J]. 强激光与粒子束, 2015,27(5): 15-20. (ZHAO Zhilong, SU Yuanyuan, WU Jin, et al. Synthetic aperture ladar imaging via synthetic frequency-stepped linearly-chirping signal[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2015,27(5):15-20.)
- [3] 崔朝龙,黄宏华,梅海平,等. 探测大气湍流的光强闪烁激光雷达[J]. 强激光与粒子束, 2013,25(5):1091-1096. (CUI Chaolong, HUANG Honghua, MEI Haiping, et al. Turbulent scintillation lidar for acquiring atmospheric turbulence information[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2013,25(5):1091-1096.)
- [4] HAAS W, DULLENKOPF P. A novel peak amplitude and time detector for narrow pulse signals[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1986,IM-35(4):547-550.
- [5] BUCKENS P F, VEATCH M S. A high performance peak detect & hold circuit for pulse height analysis[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1992,39(4):753-757.
- [6] 吴宁,李正生,张民. 高速脉冲峰值保持电路的设计[J]. 电子设计工程, 2012,20(11):154-156. (WU Ning, LI Zhengsheng, ZHANG Min. Design of a peak hold circuit for high-speed pulse[J]. Electronic Design Engineering, 2012,20(11):154-156.)
- [7] 郝锐,葛榆成. 一种用于高计数率周期采样的主放及峰值保持电路[J]. 核电子学与探测技术, 2012,32(2):145-149. (HAO Rui, GE Yucheng. A main amplifier and peak hold circuit for periodic sampling of high count rate[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2012,32(2):145-149.)
- [8] 宋毅恒,孟凡斌. 窄脉冲峰值保持电路分析及设计[J]. 光电技术应用, 2014(2):39-42,50. (SONG Yiheng, MENG Fanbin. Analysis and design of peak holding circuit for narrow pulse[J]. Electro-optic Technology Application, 2014(2):39-42,50.)
- [9] 康圣,王江安,陈冬,等. 激光雷达雨中能见度测量[J]. 强激光与粒子束, 2011,23(3):637-641. (KANG Sheng, WANG Jiang'an, CHEN Dong, et al. Measurement of visibility using lidar in rain[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2011, 23(3):637-641.)
- [10] 姜海娇,来建成,王春勇,等. 激光雷达的测距特性及其测距精度研究[J]. 中国激光, 2011,38(5):054001-1-7. (JIANG Haijiao, LAI Jiancheng, WANG Chunyong, et al. Research on ranging property of laser radar and its ranging accuracy[J]. Chinese Journal of Lasers, 2011,38(5):054001-1-7.)
- [11] 赵顾颖,赵尚弘,么周石,等. 大气导致的脉冲展宽对星载量子密钥分发的影响[J]. 光学学报, 2012(11):237-242. (ZHAO Guhao, ZHAO Shanghong, YAO Zhoushi, et al. Effect of the pulse broadening caused by atmosphere on satellite based quantum key distribution[J]. Acta Optica Sinica, 2012(11):237-242.)
- [12] KRUISKAMP M W, LEENAERTS D M W. A CMOS peak detect sample and hold circuit[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1994,41(1):295-298.

作者简介:



楚现涛(1991-),男,山东省济宁市人,在读硕士研究生,主要研究方向为激光扫描仪。
email:chuxiantao@163.com.

唐丹(1963-),男,四川省绵阳市人,研究员,主要研究方向为激光雷达。

王欣(1967-),男,四川省绵阳市人,副研究员,主要从事激光雷达方面研究。