

激光引信电流采样处理系统设计与应用

冯泽琴¹ 王仁臻²

(1. 中国空空导弹研究院 洛阳 471009 2. 西北工业大学 航天学院 西安 710000)

摘要: 激光引信是一种对目标的高精度主动检测方案,广泛应用于空空导弹中。提出一种对激光引信电流采样信号进行调理和数字信号处理相结合的方案,处理后的信号将可用于调节激光器供电电压,以实现激光器恒流驱动的目的。为分析此方法的性能,给出了精确分析模型。结果表明,与传统的激光引信电源采样处理方式相比,对信号采样处理系统的硬件和软件进行优化设计,能够对采样的信号噪声幅值降低50%,可减弱激光引信发射功率抖动,大大提高激光引信的稳定性和精度。该处理系统成功应用于某型激光引信发射驱动电路中,经充分考核,验证了其有效性。

关键词: 激光引信; 驱动电源; 信号采样处理系统; 模拟滤波器; 数字滤波器; 带宽

中图分类号: TJ439.2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.30

Design and application of data acquisition systems for drive source in laser fuze

Feng Zeqin¹ Wang Renzhen²

(1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China; 2. Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710000, China)

Abstract: Laser fuze is an important part of modern laser homing system. The technology is rarely used in air-to-air missile. The application investigates the design of analog filters and DSP filters that reduce the influence of extraneous noise in data acquisition systems. The pulse constant-current source for the semiconductor laser is designed. Mathematical model for precision analysis was formulated to evaluate the performance of the presented approach. A contrast was given to test the effectiveness of the method. The experiment results show that the noise of drive source is reduced by 50% in the improved control, which is specified as high control precision and good stability.

Keywords: laser fuze; drive source; data acquisition systems; analog filters; digital filters; bandwidth

1 引言

激光引信利用激光束主动探测目标^[1],具有安全可靠和良好的抗有源干扰特性,在空空导弹中广泛应用。激光引信由收发系统、信号处理系统、执行级等组成^[2]。收发系统中发射部分一般包括激光器驱动电路和光学系统。驱动电路依据脉冲半导体激光器(LD)的特性设计,主要向激光器注入一定宽度和重复频率的脉冲电流,激光器经光学系统向外发射相应的光脉冲。为了满足激光引信成像系统分辨率高、作用距离长、探测精度高、抗干扰能力强的成像需求,LD发出的脉冲激光应具有重复频率高、峰值功率大、脉冲窄等特点^[3]。

为了有效调节激光器驱动功率,形成恒流驱动,需要建立对激光器驱动电流的反馈控制为输出脉冲电流的稳定提供保障^[4]。对反馈信号通过相应的校正处理,计算得到功率场效应管的导通度结果,达到恒流的目的^[5]。激光器负载电流采样作为恒流驱动的反馈通路,其信号品质直接影

响到激光器输出功率一致性。激光器功率驱动部分含有脉冲宽度调制噪声,因此对激光器驱动电流的采样处理有较高要求。只有提高采样处理电路全温度下的线性度和降低电路漂移,才能实现高品质的恒流驱动精度。

目前少数文献中涉及激光引信恒流驱动或其电流采样处理,并且针对高重复频率和窄脉冲激光引信的恒流驱动电流采样处理尚无公开文献,为实现高重复频率窄脉冲激光引信的较高精度恒流驱动,通过软件和硬件相结合并进行优化设计,提高所获取信号的信噪比,为实现激光器输出功率的均匀性做好保障。因此,为配合高精度反馈控制,提高激光器驱动电流采样的品质仍然是备受关注的问题。

2 激光器驱动电流采样系统模型

激光器驱动电流采样系统主要包括:信号调理电路、信号采样电路及数字滤波算法,如图1所示。

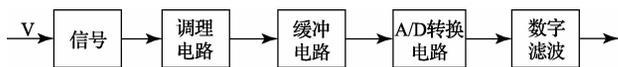


图1 信号采样系统

信号调理完成信号的共模抑制、差分放大、多重反馈抗混叠滤波,转换之前信号路径中的高频噪声和干扰。因此,匹配数字滤波算法可以减小有用带宽以内的噪声和扰动。所述激光器驱动电压幅值为 $27\sim 80\text{V}$ 、驱动电流峰值为几A至几十A、脉冲重复频率为几十kHz~几百kHz。

3 硬件调理和匹配

为实现激光器恒流驱动,需保证提供给脉冲重复部分的电压稳定,因此调理电路需尽量设计成窄的电压敏感范围,以获得高的信噪比^[6];采用一级放大和一级低通滤波,实现调理电路与A/D转换电路的阻抗匹配;A/D转换电路前采用差分输入射随方式。

由于反馈信号幅值较小,需要通过高增益放大器来提高测量的精度,同时前置放大电路还要能够最大限度地抑制噪声,并且要有较低的偏置电流^[7]。为达到提高测量分辨率的目的,放大器需匹配信号电平和A/D转换器的测量范围^[8]。差分放大电路选用三运放仪用放大器,输出级运放采用差分放大器将两个输入信号转换成单端输出,输入级运放提供信号增益。

激光器电流采样信号高低端出现在放大器的高阻抗同相输入端。当激光器驱动电源输出阻抗很高或不匹配时,这种配置比单个放大器配置具有显著的优点。第一级对两个输入信号进行放大,其增益通过一个电阻来简单调节。这部分电路的功能是抑制两个输入信号的共模干扰^[9],同时求这两个信号的差。连接到差分放大器两输入端的信号源的阻抗低,两者相等且可控性好。设置放大电路增益,以满足A/D转换电路的输入范围和激光器驱动采样电流敏感范围要求。为去除激光器恒流驱动回路带宽内外噪声,放大电路的输出至多重反馈抗混叠低通滤波电路。

在有用信号当中不可避免地会有高频干扰信号混杂,去除不确定信号对有用信号造成的干扰,并最大程度地抑制噪声影响,需采用硬件对无用信号进行衰减和滤除。采用双极点滤波器用于在A/D转换电路输入端之前将不需要的信号滤除掉,可采取被配置的滤波器种类,如通带内具有平坦的幅度响应,同时也具有平滑的性能。

滤波电路的输入和输出可通过式(1)计算:

$$R_f = R_{11} = R_{12} = R_{13}$$

$$f_c = 1/(2\pi C_f R_f)$$

$$C_{11} = C_f/3Q, C_{12} = 3QC_f \quad (1)$$

图2中,放大器与元件 R_{11} 、 R_{12} 、 C_{11} 和 C_{12} 结合使用设置两个极点间的转折频率,调整参数满足截止频率的通带上单位增益。

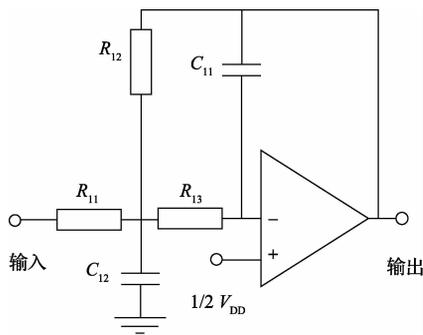


图2 滤波电路

为克服其阶跃响应会产生一些振铃和过冲现象,在激光器恒流驱动设计中,回路的带宽选取较为关键,其处于单位增益部分,且在回路带宽之后的幅频特性曲线以 -40dB/dec 变化,对于实际应用,振铃和过冲不会产生问题。

通常低通滤波电路输出的信号需经一定的传输路径才能进入信号采样电路的A/D输入端。缓冲放大器的用途是解决阻抗匹配问题。这特别适用于那些电路中的模拟信号源比后续的电路具有更高的阻抗的场合^[10]。如果存在这种情况,则由于源阻抗和后续电路的阻抗直接形成电压分压器而产生电压损耗。缓冲放大器是这类问题的最佳解决方案。对于CMOS放大器,其同相输入端的输入阻抗高达 $1\ 013\ \Omega$ 。另外,采用这种放大器配置的输出阻抗通常低于 $10\ \Omega$ 。

这种配置的另外一个用途是将灵敏度高的精密电路与热源隔离开。缓冲放大器前的调理电路在放大 $100\ \mu\text{V}$ 的信号时,调理电路中放大器在最好的条件下也很难达到一定的精度。这种精密的测量很容易被放大器输出驱动电流的变化干扰。输出驱动电流的增加导致芯片自身发热,从而导致失调电压发生变化。模拟缓冲器可用来驱动A/D转换部分的重负载,而其前端的调理电路用来完成精密的测量。

4 数字信号处理

本文所述激光器恒流驱动设计中,设计好回路的带宽,选取A/D转换器的采样频率。考虑到激光器驱动电压调节分辨率要求,最终选取14位精度的A/D转换电路设计,其有效位数为12位,完全可以满足精度要求。采用这种方法,那些通常会折返到激光器恒流驱动反馈路径中的高频噪声会被滤除掉。另外,在A/D转换电路设计中,需要仔细规划地层布局。由于电路中有较多的数字电路,则需考虑将接地层和电源层分开。如果太困难,或不可能分开,则需要将数字开关噪声从模拟信号上滤除。

去除采样过程中的误差数据,获取参杂噪声的采样数据,需对激光器驱动电流信号进行数据的可信判断、噪声

抑制处理、数据校正与转换。通过噪声频谱分析,配合滤波算法对特定频率进行滤波处理。为减小恒流驱动回路相位裕度,提高系统稳定性,所设计的算法在有效频率范围产生滞后需进行限制,另外,随着滤波器阶次的增加,相位滞后越来越大,同时计算量也在大大增加。采用如式(2)所示二阶形式。

$$F(s) = \frac{\omega_c}{s^2 + b_1\omega_c s + b_0\omega_c^2} \quad (2)$$

将离散系统近似为连续系统进行设计,然后用工程中较实用的双线性变换法将连续的设计环节离散化,从而得到相应的离散算法。

$$F(z) = \frac{b_2 \cdot z^2 + b_1 \cdot z + b_0}{z^2 - a_1 \cdot z + a_0} \quad (3)$$

5 试 验

依据上述方法,对激光器驱动电流采样信号进行处理,处理前后信号如图3所示。经过信号采样处理,其高频噪声被衰减,噪声幅值降为未处理前的50%,大大提高了信号的信噪比。

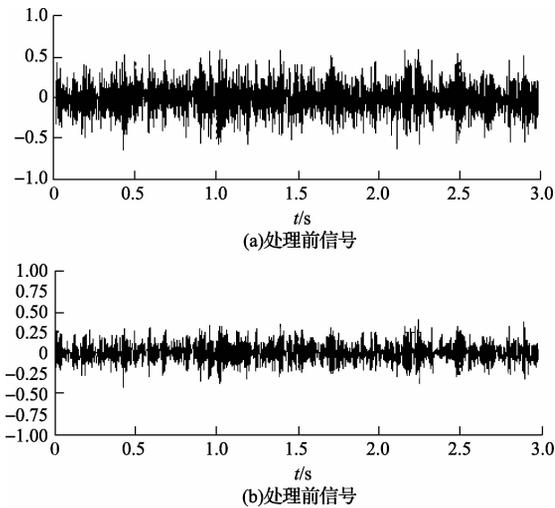


图3 信号处理前后对比

设计方法中若不能合理设计滤波截止频率,带来的是信号滤波效果差,或引入强滤波带来的电路裕量降低,人为给激光引信引入不利的特性,造成激光引信发射功率抖动,大大影响了激光引信的稳定性和精度。

6 结 论

激光器驱动电流硬件调理和匹配设计可以减小带宽以外的噪声,同时减小有效带宽以内的混叠信号,通过A/D

转换电路获取高精度信号。相应地,滤波算法通过采样、数据统计分析和离散算法,滤除转换过程中注入系统的噪声,同时减小带宽内外的噪声,这是模拟滤波器所不能处理的。同时,数字滤波器的可编程特性,使得其相比模拟滤波器更易于调整。设计人员可以方便地调整离散算法的截止频率和输出信号速率。该处理方法已成功应用于某型激光引信发射驱动电路中,经考核对于重复频率大于10 kHz、脉冲宽度小于100 ns的激光引信,上述处理方法保证了激光器输出的功率均匀性较好,验证了该处理方法的有效性。

参考文献

- [1] 甘霖,张合,张祥金. 激光引信新型光学大视场接收技术研究[J]. 光子学报,2013,42(12):1514-1518.
- [2] 杨若愚,梁谦,于海山. 一种基于多门限的周视激光引信抗干扰方法研究[J]. 航空兵器,2014(3):20-23.
- [3] 于德志,陈德章,高建波,等. 大电流窄脉宽LD脉冲驱动电源研究[J]. 光学与光电技术,2014,12(2):8-12.
- [4] 王强,李智. 适用于激光引信的脉冲半导体激光电源研制[J]. 电子测试,2014(3):12-14.
- [5] 张莹,贾文超,石森. 半导体激光器驱动电源的设计[J]. 数字技术与应用,2014(8):138-139.
- [6] 徐湛. 基于稀疏小波变换的超宽带低信噪比信号检测算法[J]. 仪器仪表学报,2013,34(10):825-830.
- [7] DE MARCELLIS A, FERRI G, D'AMICO A, et al. A fully-analog lock-in amplifier with automatic phase alignment for accurate measurements of ppb gas concentrations[J]. Sensors Journal, IEEE, 2012, 12(5): 1377-1383.
- [8] 周勇,李晓波,秦国领. 靶场某测量设备数据采集单元可靠性设计[J]. 国外电子测量技术,2014,33(10):33-37.
- [9] 赵吉祥. 基于差分转换电路的宽带低噪声放大器设计[J]. 科技导报,2012,30(28-29):61-64.
- [10] 陈科,张建庭,郑红梅,等. 塔机信号采集与存储系统的设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报,2014, 28(8):892-900.

作者简介

冯泽琴,1982年出生,工程师。主要研究方向为引信电路及信号处理。

王仁臻,1983年出生,硕士研究生。主要研究方向为计算机控制技术。

E-mail:haseefeng@163.com