

电流小信号隔离采集板的设计与实现

Design and Implementation of Isolation and Acquisition Board for Small Current Signal

邱吉冰 赵 伟

(南京航空航天大学导航研究中心,南京 210016)

摘 要: 针对电流小信号采集中存在噪声干扰的问题,采用高线性度模拟光耦 HCNR201 设计了电流信号隔离采集板。介绍了 HCNR201 的工作原理,设计了隔离采集板的硬件电路,分析了信号的变换过程、理论依据和参数选择。实验结果证明该设计正确可用,具有较高的采集精度和线性度,在对稳定性、测量精度要求高的场合具有广泛的应用前景。

关键词: 模拟隔离 线性度 电流小信号 采集板

中图分类号: TM93

文献标志码: A

Abstract: Aiming at the noise jamming problems in acquisition of small current signals, an isolation and acquisition board for current signal is designed based on HCNR201 high-linearity analog optical coupler. The operational principle of HCNR201 is introduced. The hardware circuit of the isolation acquisition board is designed, the transformation of signal, theoretical foundation and parameter selection are analyzed. Experimental results prove that the design is feasible, with higher acquisition precision and linearity. It has a broad applicative prospect under the conditions requiring high stability and measuring precision.

Keywords: Analog isolation Linearity Small current signal Acquisition board

0 引言

在航空机电设备中,经常需要对模拟信号进行采集和测量。由于飞行器内部空间的限制,设备安装相对比较紧凑,工作时容易相互产生电磁干扰,飞行器电推进技术的应用更是加剧了电磁环境的恶化。在强干扰环境下进行数据采集,各种干扰信号都会随着被测信号进入到采集和测量系统^[1],一方面这些信号叠加在有用的被测信号上会影响测量精度;另一方面,高电压、大电流的干扰信号窜入处理器电路(如 MCU、DSP 等),轻则造成系统不稳定,重则对这些器件造成毁坏。

为了减小环境噪声对采集电路的影响,提高系统稳定性并确保测量结果准确,往往将被测电路和测试电路在电气上进行隔离,光电耦合器隔离是一种较理想的选择。普通光耦适合开关量的隔离传输,但是对于模拟量不能保证传输的精度。HCNR201 是 Agilent 公司生产的一种高线性度的模拟光耦^[2],使用它实现的多种光电隔离电路可满足模拟信号隔离对稳定性、线性度和带宽的需要。本文介绍了 HCNR201 的工作

原理,使用该器件设计了针对电流的小信号隔离采集电路,讨论了参数选择,并对实验结果进行了分析。

1 HCNR201 的主要结构和工作原理

1.1 HCNR201 的主要结构

模拟光耦 HCNR201 由三个光电元件组成,其结构原理如图 1 所示。

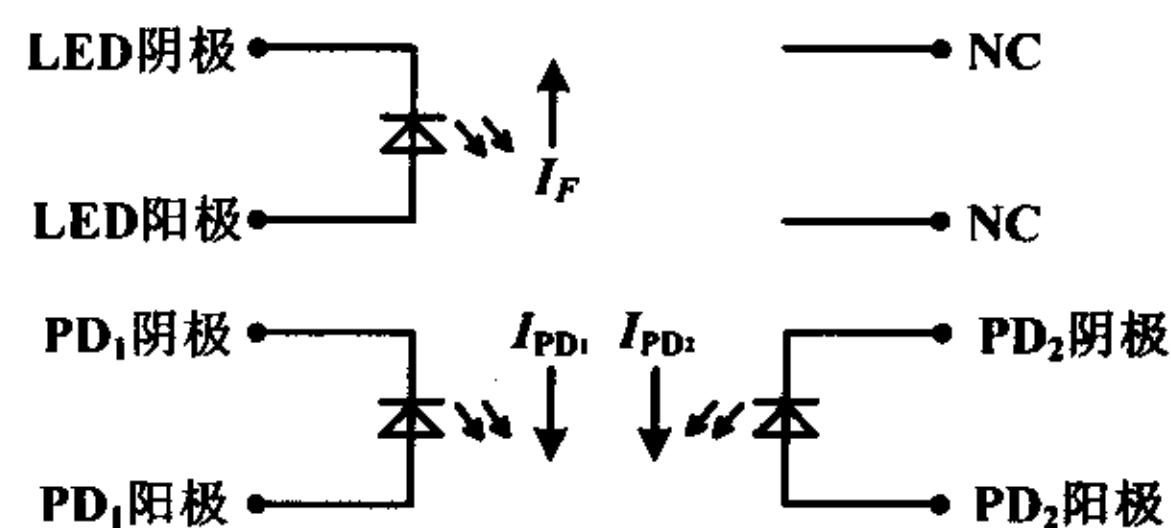


图 1 HCNR201 的结构原理图

Fig. 1 Architecture of HCNR201

一个高性能的铝镓砷发光二极管 LED 和两个光敏二极管 PD₁、PD₂ 紧密匹配,其中 LED 和 PD₁ 位于光耦的输入端,PD₂ 位于光耦的输出端。电流 I_F 流过 LED 时,LED 发出的光耦合到 PD₁ 和 PD₂ 上。PD₁ 吸收 LED 发出的一部分光,产生控制电流(输入电流) I_{PD1} ,该电流用来监控 LED 的光强度输出,从而使之稳定,消除 LED 的非线性和漂移特性;PD₂ 输出光敏电流 I_{PD2} ,该电流与 LED 的光强度输出呈严格线性关系。由于采用了先进的半导体封装工艺对三个光电元件进

修改稿收到日期:2006-12-06。

第一作者邱吉冰,男,1981年生,现为南京航空航天大学导航、制导与控制专业在读硕士研究生;主要研究方向为组合导航技术、数据采集与处理。

行了精密匹配,确保了光耦具有很好的线性度和稳定的增益。

I_F 、 I_{PD_1} 、 I_{PD_2} 之间满足如下线性关系:

$$I_{PD.} = K_1 \cdot I_F$$

$$I_{PD_2} = K_2 \cdot I_F$$

$$K = I_{\text{PD}_2}/I_{\text{PD}_1} \quad (1)$$

式中: K_1 、 K_2 分别为输入、输出光敏二极管的电流传输比,其典型值均为 0.48%,为传输增益,对于每一只 HCNR201 来说是恒定的,其值在 1 ± 0.05 之间。

1.2 HCNR201 的典型应用电路及工作原理

用 HCNR201 实现的一个简单隔离放大电路如图 2 所示。

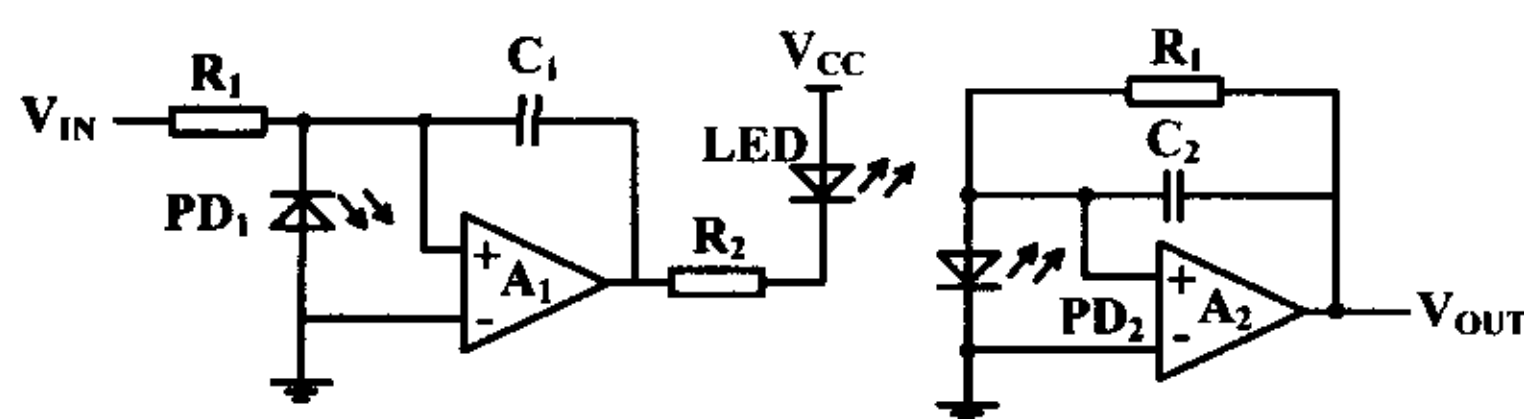


图2 隔离放大电路

Fig. 2 Isolation amplifier circuit

该模拟光耦的工作原理简单而言,即运算放大器 A_1 在 PD_1 和 LED 之间形成了一个反馈,实现 I_{PD_1} 对 I_F 的调节。由理想运放“虚短”、“虚断”的特性可知, I_{PD_1} 取值仅取决于输入电压 V_{IN} 和电阻 R_1 , 即 $I_{PD_1} = V_{IN}/R_1$; 输出端的运放器 A_2 把 PD_2 产生的电流 I_{PD_2} 转换成电压 V_{OUT} 输出, 即 $I_{PD_2} = V_{OUT}/R_2$ 。由以上两个关系式联合式 (1) 可得出输入输出电压之间的关系:

$$V_{\text{OUT}}/V_{\text{IN}} = K \cdot (R_1/R_2) \quad (2)$$

由式(2)可见, V_{OUT} 和 V_{IN} 成线性关系, 通过调节 R_1 、 R_2 两个电阻值, 就可以改变该隔离电路的增益。

2 电流小信号隔离采集板的硬件电路设计

2.1 指标要求和方案框图

电流小信号隔离采集板要求采集带宽为 1 kHz、峰值为 0 ~ 5 mA 的交流信号,对被测电流实现零阻抗输入,经光电隔离放大后转换为动态范围约在 0 ~ 4 V 的

单极性电压信号被模数转换器采样,并送入微处理器处理。整个采集板要求单极性电源供电^[7]。

根据以上指标要求,提出了如图 3 所示的设计方案。即隔离采集板由 I/V 转换、光电隔离、滤波、A/D 转换、处理器等部分组成。本文着重介绍 A/D 转换前的信号调理和光电隔离电路。

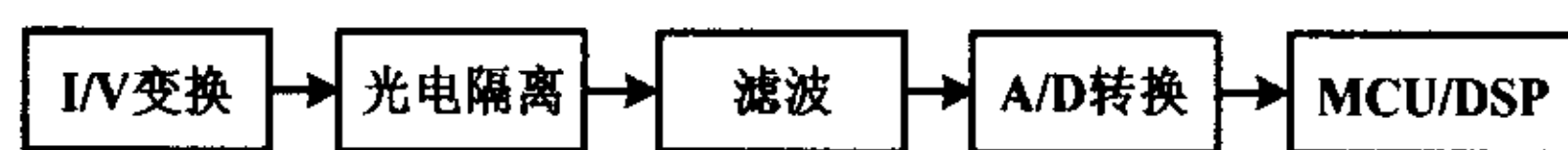


图3 隔离采集板硬件框图

Fig. 3 Hardware block diagram of isolated acquisition board

2.2 光电隔离电路硬件设计

在设计中,除线性光耦 HCNR201 外,使用了 4 只运放及周围的阻容元件构成了如图 4 所示的电流小信号光电隔离电路。

根据 HCNR201 的数据手册知, LED 驱动电流 I_F 的工作范围在 $1 \sim 20 \text{ mA}$, 由式(1)得出, 光敏二极管的工作电流应小于 $100 \text{ } \mu\text{A}$, 所以输入电流不能直接加在 PD_1 两端, 这里采用了先将电流小信号转换成电压, 再经调理后接在 PD_1 两端的方案。输入电流 I_{IN} 连接到运放 U_{1A} 的反向端, 运放的同向端连接一个电压值为 2.5 V 的恒压源(根据理想运放“虚短”的特性, 可知该电路电流输入阻抗为零), 在运放外围电阻的配合下形成电流并联负反馈, 在运放的输出端得到一个输出电阻趋于零的电压源(假定为 U_1)。根据叠加定理, 有:

$$U_1 = I_{IN} \cdot (R_1 + RV_1) + 2.5V \quad (3)$$

当反馈电阻为 $500\ \Omega$ 时,双极性的输入电流信号 I_{IN} 转换成了单极性的电压信号 U_1 ,以利于使用单电源供电。

接下来信号即进入 HCNR201 光耦隔离部分。 R_1 与 LED 串联,接在 5 V 电源和运放输出端之间,把 I_F 静态工作点设定在 10 mA 左右。根据式(1)可得出 I_{PD_1} 的静态工作点,并依此选择电阻 R_2 的阻值。在各参数选择恰当后,光耦稳定工作,PD₂ 产生线性反映 I_{PD_1} 的电流 I_{PD_2} :

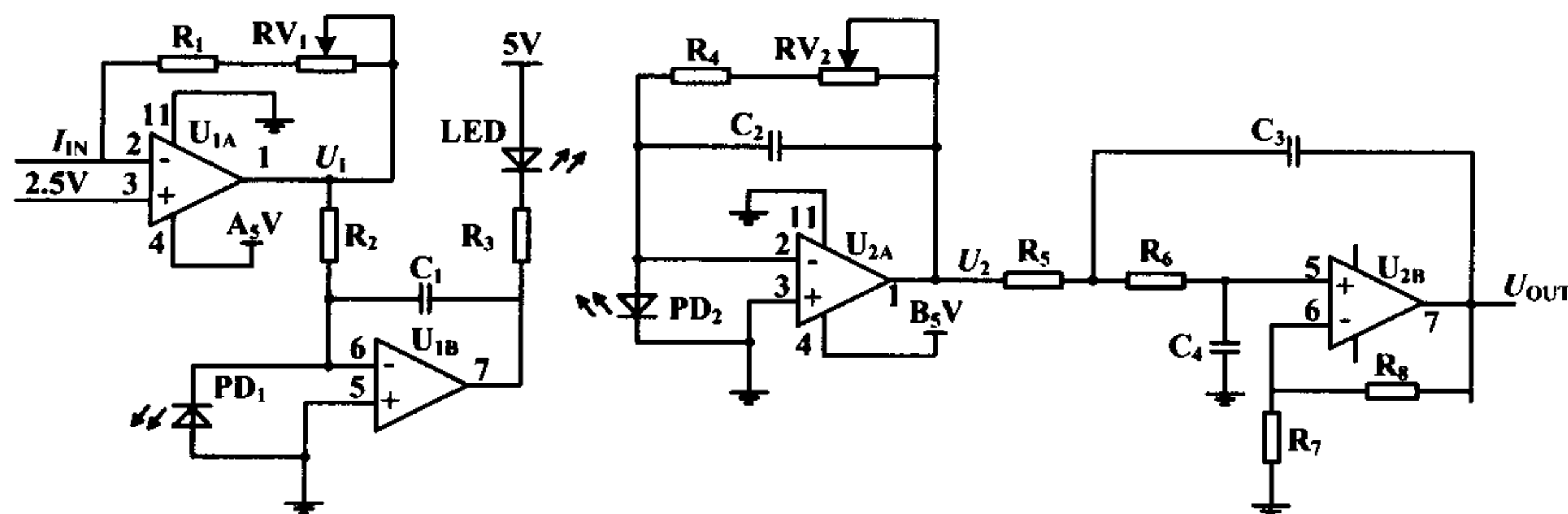


图4 电流信号光电隔离部分电路图

Fig. 4 Circuits of current signal opto-electronic isolation

$$I_{PD_2} = K \cdot I_{PD_1} = K \cdot (U_1/R_2) \quad (4)$$

第3只运放把光耦输出端PD₂上产生的电流变换成电压信号(在运放U_{2A}输出端得到,假定为U₂),其工作原理与第1只运放相同。

$$U_2 = I_{PD_2} \cdot (R_4 + RV_2) \quad (5)$$

C₁、C₂为反馈电容,用于提高电路的稳定性,消除自激振荡,滤除电路中的毛刺信号,可有效降低电路的输出噪声。

由图4可见,信号最后经过一个压控电压源二阶低通滤波电路,用来滤除信号在传输、隔离过程中产生的高频噪声。该电路的特点是既有较宽的通频带,又有较大的衰减频率。选择R₅=R₆=1.6 kΩ, C₃=100 pF,计算得f₀=1/2πRC≈1 kHz(截止频率f_p略大于f₀)。选择R₆=R₇=6.2 kΩ,其通频增益为A=1+R₂/R₁(此时低通特性最好)^[3]。可见,图4中最后输出的电压信号满足下式

$$U_{OUT} = 2 \cdot U_2 \quad (6)$$

联合式(3)~式(6),可得出最终输出电压U_{OUT}与被测电流I_{IN}的关系为:

$$U_{OUT} = 2K \cdot [I_{IN}(R_1 + RV_1) + 2.5] \cdot \frac{R_4 + RV_2}{R_2} \quad (7)$$

值得注意的是光耦的前向通道和后向通道之间要做好电源和地的隔离,以防止干扰信号通过电源和地窜入光耦的后向通道^[4]。由于隔离板采用5 V单极性电源供电,而输出电压信号范围较宽为0~4 V,所以本设计选用了TI生产的单电源供电、轨至轨输出的精密运放OPA345^[5]。

3 实验调试和结果分析

针对不同峰值的正弦交流电流,使用示波器观察图4电路中U_{2A}、U_{1B}两个运放的输出端等测试点的波形,对隔离采集电路板进行了多次实验和参数调整,先后解决了自激振荡和饱和失真等问题。

当输入峰值为3 mA的正弦交流电流时,在第3只运放的输出端几乎观测不到规则的正弦信号,且示波器显示其频率在数百kHz到数十MHz之间,在第二只

运放的输出端信号波形表现为正弦波和低频毛刺信号的叠加,且毛刺信号有湮没正弦信号的趋势。在C₁、C₂上并联较大的电容时,以上两点波形逐步改善,当C₁=C₂=4 700 pF时,信号最为理想。当增大输入电流的峰值时,上述两个运放的输出端观测到明显的饱和失真^[6]。通过增大R₂的阻值到31 kΩ,减小R₃的阻值到100 Ω,并调整运放U_{2A}的反馈电阻,直至输入满幅值电流并在运放U_{2A}的输出端观测到动态范围在0~2.1 V的无失真正弦信号,经后级滤波增益后在输出端观测到峰峰值为0~4.2 V单极性正弦信号。

针对不同的输入电流,对输出电压进行多次采样测量,取得12组样本,在MATLAB中使用polyfit(x, y, n)拟合出一条一次曲线,应用该一次曲线计算线性度,得出γ=0.086%。可见,该隔离采集板线性度好,完全满足设计指标要求。

4 结束语

本文给出了应用高线性度模拟光耦进行电流小信号隔离采集的硬件电路,分析了其工作原理。实验表明,合理选择电路阻容参数,保证控制电流I_{PD}在一定范围(I_{PD}≤50 μA)内,可使HCNR201的内部光电元件稳定运行,整个系统具有较高的线性度(γ≤0.1%),有效解决了航空机电设备中强干扰环境下小信号隔离采集问题,可广泛应用于对稳定性、测量精度要求较高的模拟隔离应用中。

参考文献

- 葛长虹. 工业测控系统的抗干扰技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.
- 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 第四版. 北京:高等教育出版社,2001.
- 李彦朋,刘阳,廖湘平,等. 数据采集中采用精密线性光耦TIL300实现模拟量的隔离[J]. 无线电工程,2000,30(3):18-21.
- 贾政亚,张丽燕,黄云川. 一种轨至轨输入的低压低功耗运放的设计[J]. 电子设计应用,2006,14(4):21-24.
- 刘朋,王卫红. 模拟光耦SLC800在转台系统中的应用[J]. 仪器仪表用户,2005,12(2):52-54.
- 卢永刚,陈隆道. 程控隔离电源在仪器仪表中的应用[J]. 自动化仪表,2001,22(4):48-54.

《自动化仪表》

邮发代号: 4-304, 2007年定价: 6.00元, 全年价: 72.00元; 国外代号: M721

欢迎赐稿, 欢迎订阅, 欢迎宝贵建议, 欢迎惠刊各类广告