

高精度信号隔离分配器的设计及自校准的实现

吴 坤¹, 朱毅明²

(1. 华北计算机系统工程研究所, 北京 100083;

2. 北京广利核系统工程有限公司, 北京 100084)

摘 要: 通过对信号调理技术及模拟量隔离技术的研究, 设计了一种可以自动校准的高精度模拟信号隔离分配器。该器件用于采集工业现场电流信号或电压信号, 实现 1 路 4 mA~20 mA 电流信号或 1~5 V 电压信号输入、4 路 4 mA~20 mA 电流信号输出。其电源、输入和输出三端隔离, 常温下精度优于 0.05%, 具有线性度好、温漂系数小、可靠性高等优点。为了克服机械电位器调校效率低、易受环境影响等缺点, 同时开发了一个通用校准装置, 以实现自动化校准。

关键词: 信号调理; 模拟量隔离; 高精度; 自动化校准

中图分类号: TP272

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)13-0023-03

Design of high-precision isolated signal distributor and achievement of self-adjustment

WU Kun¹, ZHU Yi Ming²

(1. National Computer System Engineering Research Institute of China, Beijing 100083, China;

2. China Techenergy Co., Ltd. Beijing, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper developed an high-precision isolated analog signal distributor which can be adjusted automatically for zero and span accuracy based on research of signal processing and analog isolation. This equipment is used as collect industrial current signal or voltage signal, realizing one 4 mA~20 mA current or 1~5 V voltage input, four 4 mA~20 mA current output. The power, input and output is isolated against each other, the accuracy is better than 0.05%, with good linearity, low temperature drift, high reliability. In order to dealing with the problem of mechanical potentiometer such as low adjustment efficiency and high environment sensibility, a general adjustment equipment is developed for automatically adjusting the isolated analog signal distributor.

Key words: signal conditioning; analog signal isolation; high-precision; automatic adjustment

随着计算机技术的快速发展, 计算机控制系统在工业现场中得到广泛应用, 实现了工业控制过程的自动化, 大大提高了系统可靠性和生产效率。控制系统利用传感器采集现场的温度、压力和流量等信号, 将这些信号调理成标准信号, 经过可靠的隔离和传输, 将采集的数据输送到主控制单元处理, 对处理的结果输送到执行器控制输出, 整个过程形成了一个闭环系统, 达到自动控制的目的。信号的调理及隔离技术对于信号采集至关重要, 它关系到采集的精度和稳定度, 直接影响控制输出的安全可靠。传感器通常是将各种信号转换成电压信号, 其中包括很多微弱毫伏级小信号, 而这些模拟信号很容易受到干扰。为了让小功率的模拟信号在干扰大的

工业环境中传输时不受各种外部干扰信号的影响, 需要对小功率的模拟信号进行必要的处理以保证信号的可靠传输。由于电流信号具有抗干扰能力强、传输距离远等优点, 因此将信号调理隔离输出标准的 4~20 mA 电流信号成为工业领域的一种通行做法。同时, 由于采集的现场信号可能要供给不同的机柜, 满足不同的应用, 所以对于信号的隔离分配是必要的, 以防止不同机柜之间信号的相互影响。

目前, 市场上模拟信号隔离分配器种类虽然很多, 但精度不高(0.2%以下), 且需要手动进行零校和满校以保证较高精度, 因此需要花费大量的人力、时间和成本, 而且维护也不方便。为此, 本文设计了一种模拟信号隔

离分配器和一个通用校准装置,实现 1 路电流或电压信号输入、4 路标准电流信号输出;电源、输入和输出三端隔离,以保证高精度和高可靠性,并实现自动快速的零度和满度校准,生产维护方便。

1 设计要求

本文设计的模拟信号隔离分配器对信号隔离后再进行输出,应用于需要将现场信号传输给多个不同系统使用的场合。输入为 0~20 mA 电流信号或 0~5 V 电压信号,输出为标准的 4~20 mA 电流信号。当现场变送器送过来 0~20 mA 的电流信号时,经过本板卡的 250 Ω 取样电阻,变换成 0~5 V 的差分电压信号;或者现场为 0~5 V 电压输入时,差分电压信号经过增益为 1 的仪表放大器,变为 0~5 V 单端的电压信号。0~5 V 电压信号通过隔离放大器实现输入与输出隔离,隔离后的电压信号经过校准使压流变换后输出与输入一致的、具有最佳线性度的 0~20 mA(其中有效值 4~20 mA)电流信号。校准部分设计了一个通用校准装置,可以通过一个 SPI 串行接口对板卡进行校准。其硬件原理框图如图 1 所示。



图 1 硬件原理框图

2 隔离分配器的设计

2.1 供电电路设计

该装置需要 3 种类型电源:±12 V、+24 V 和 +5 V。其中,±12 V 为仪表放大器及隔离放大器供电,+24 V 为压流变换芯片提供驱动电源,+5 V 为数字电位器供电。±12 V 和 +24 V 电源选用 RECOM 公司的隔离电源模块 RS-2412D,其功率为 2 W,输入电压范围 18~36 V,隔离耐压 2 kV,20%~100% 负载情况下,负载电压稳定度为最大(±0.5%),输出纹波最大为 50 mV_{p-p},具有短路保护功能。+5 V 电源采用三端稳压器 R-7805-0.5。

2.2 前端调理电路设计

前端调理电路能够将 0~20 mA 电流信号变成 0~

5 V 的差分电压信号,然后经过仪表放大器将信号调理成单端 0~5 V 电压信号。仪表放大器选用 TI 公司的 INA128,它具有 50 μV 的失调电压,0.5 μV/°C 的温漂,增益为 1 时有 80dB 的共模抑制比,并且具有 ±40 V 的过压保护功能。

INA128 采用如图 2 所示的经典三运放仪表运放结构,其输入缓冲放大器 A₁、A₂ 以单位增益通过共模信号,同时由 2 个缓冲器放大信号电压;2 个缓冲器的输出信号连接到该仪表放大器的减法器单元。该仪表放大器能够(通常以低增益或单位增益)放大差分信号,而衰减(典型值为 10 000:1 或以上)共模电压。这样相对于普通精密运算放大器或者跟随信号,仪表放大器能够更好地抑制共模电压。

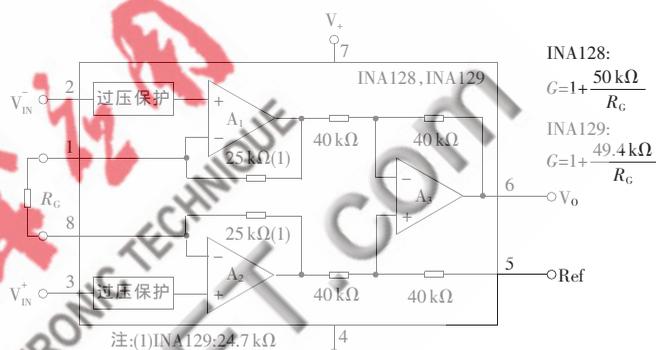


图 2 仪表放大器原理图

2.3 隔离设计

隔离技术分为两大类:模拟量隔离和数字量隔离。模拟量隔离技术发展缓慢,可选器件很少,隔离放大器采用信号调制,隔离后经过信号解调还原信号,该类器件种类不多,分立器件实现技术难度大;线性光耦隔离精度不高;采用 V/F、AD 器件等将模拟量转换成数字量,采用数字隔离器隔离,然后采用 F/V、DA 变换还原信号,实现模拟量的隔离。而数字隔离技术则发展快速,器件选择很多,包括光耦、磁耦合器以及飞跃电容耦合器等方式。

数字隔离取代模拟隔离已逐渐成为一种趋势。便考虑到高精度、高可靠性的要求,以及板卡上没有任何智能器件,所以本设计采用模拟量隔离放大器来实现隔离。该隔离放大器采用 TI 公司的 ISO124。它是一个高精度电容型隔离放大器,具有高达 1 500 V 的隔离耐压,最大 0.010% 的非线性,最大 50 mV 的初始失调,失调温漂最大为 200 μV/°C。

2.4 调校电路设计

调校电路用于调节由于电路中器件的输入失调、温度漂移、时间漂移以及非线性带来的偏差,通过调节电位器来进行零度和满度校准,同时使得输出具有最佳的线性度。电位器采用带 SPI 接口的数字电位器

MAX5498, 它共有 50 000 次可写、50 年数据保持、温漂为 35 ppm/°C。与传统的机械电位器相比, 数字电位器一旦阻值固定, 则不会受机械振动等影响, 长期稳定、可靠性高、温漂特性好。此外, 机械电位器校准需要花费大量人力、时间, 而数字电位器可以通过校准装置自动校准, 方便快捷, 适合于规模化生产。MAX5498 是 MAXIM 公司端到端、阻值为 10 kΩ 的 10 位精度双路数字电位器, 其中 1 路为可编程电压分压器, 另外 1 路为可变电阻。失调校准采用 ±2.5 V 基准源, 利用数字电位器中可编程电压分压器的分压来实现; 增益校准则通过调节数字电位器的可变电阻改变增益来实现。MAX5498 的原理图如图 3 所示, 芯片内部有 2 个随机存储器, 2 个非易失寄存器。配置数据通过 SPI 接口写到芯片内部寄存器中, 通过 10 位锁存器(10 bit LATCH), 经过 1 024 阶译码(1 024 TAPS)控制电阻阵列的开关从而改变阻值。改变随机存储器配置可以即刻改变触头的位置, 掉电后重新上电(POR), 电位器自动读取非易失寄存器(NVM)中的配置。其中, H1 为电压分压器高端, W1 为电压分压器触头, L1 为电压分压器低端; W2 为可变电阻触头, L2 为可变电阻低端。

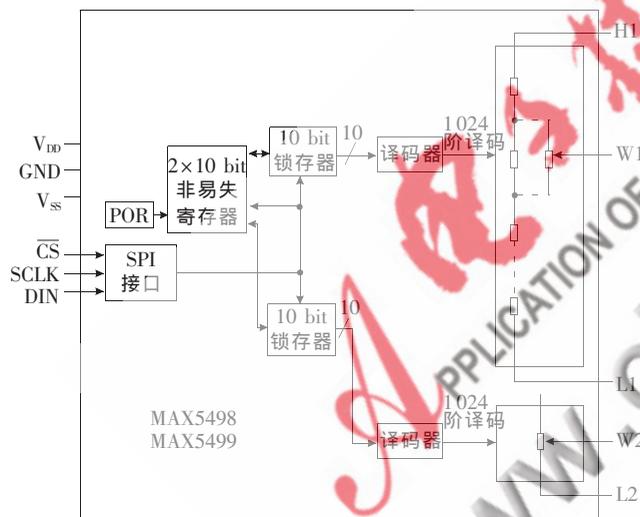


图 3 数字电位器原理图

2.5 通用校准装置设计

因为本设计的设备上没有单片机等智能器件, 所以本设计开发了一个通用校准装置, 用于自动校准所设计的隔离分配器。校准时, 零校和满校要分开进行。零校准时, 设置信号隔离分配器输入电压为 1 V, 调节数字电位器可编程电压分压器, 使得输出为 4 mA; 满校准时, 设置信号隔离分配器, 输入电压为 5 V, 调节数字电位器可变电阻, 使得输出为 20 mA。图 4 是校准的流程图, 先零校, 后满校, 满校后零点已经漂移, 需要重新零校, 然后重新满校。如此反复几个循环, 直到零点和满点同时达到, 此时校准完成。

通用校准装置通过软件自动完成上述的校准过程。

其中, 零校准时, 校准装置采集隔离分配器输出的电流, 并与目标电流 4 mA 进行比较, 改变码值, 调节数字电位器的电压分压器“触点”, 直到使输出达到 4 mA; 满校时, 校准装置采集电流, 并与目标电流 20 mA 进行比较, 改变码值, 调节数字电位器可变电阻“触点”, 直到使输出达到 20 mA。如此反复, 直到零点和满点同时达到。测试时, 信号隔离分配器的建立时间为 5 ms, 因此平台的数据采集要有足够的时间延时。10 位的数字电位器为 1 024 阶, 这样在最坏的情况下, 需要花费的时间为 $1\ 024 \times 1\ 024 \times 5\ \text{ms} \times \text{循环次数}$ 。实际调试时, 循环次数一般在 20 次以内, 因此时间开销在 3 min 以内, 这样校准就非常快速方便。

2.6 输出驱动设计

输出驱动通过压流变换芯片 XTR116 外接一个三极管实现, 原理框图如图 5 所示。输入电压 V_{IN} 与输出电流 I_O 的关系为 $I_O = 100V_{IN}/R_{IN}$ 。该芯片输出电流线性范围为 0.25 mA~25 mA, 允许最大输出电流为 32 mA。输出电流的下限是芯片的暂态电流, 其典型值为 200 μA。因此, 输入电流为 0 时, 输出电流不是 0, 而是暂态电流。通过调校后, 影响其精度的指标主要是增益温漂和输入失调温漂。增益温漂典型值为 ±3 ppm/°C, 最大值为 ±20 ppm/°C; 输入失调温漂典型值为 ±0.7 μV/°C, 最大值为 ±3 μV/°C。

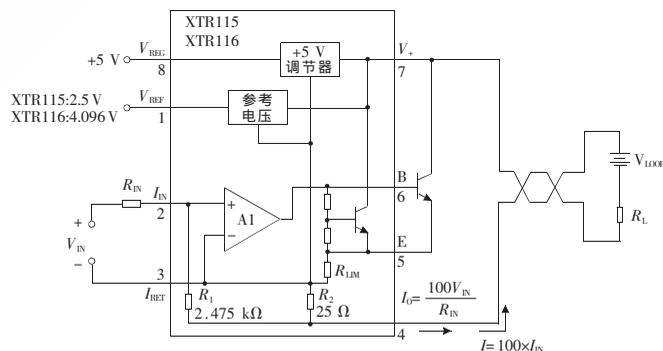


图 5 压流变换示意图

本文设计的信号隔离分配器已经完成了单板测试并与通用测试平台进行了联合测试, 已顺利通过了环境和 EMC 测试, 并实现了校准, 解决了此类产品所存在的一些问题, 达到了高精度、高可靠性、校准方便、便于生产和维护的目的, 可以满足工业现场要求。

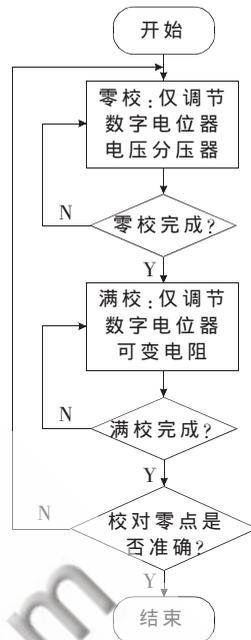


图 4 校准流程图

参考文献

- [1] 董永贵,李庆祥.精密测控与系统[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 童诗白,华成英.模拟电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,1980.
- [3] Pacrick Crozier. Electronic instruments & measurements [M]. Delmar Publishers, 1985.
- [4] 陈华婵,孙卫真,何积铨.多通道信号隔离的高精度数据采集系统[J].微计算机信息,2008,(10-1):157-159.
- [5] 邓福伟,刘振兴,周恒.多通道数据采集系统的设计[J].微计算机信息,2008,(9-1):148-150.

(收稿日期:2010-03-11)

作者简介:

吴坤,男,1983年生,硕士研究生,主要研究方向:计算机应用技术。

