

文章编号:1671-6833(2006)04-0062-04

一种铁路安全继电器高精度测试系统的实现

王 杰, 张 涛

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 铁路安全继电器是铁路系统中的重要执行元件, 必须定期对其电气特性进行测量. 针对继电器诸多型号对线圈电源高测量精度、宽动态范围的要求, 开发了一种继电器电气特性测试系统, 其中用 AD620、OP27 运算放大器搭建了合理的前端模拟信号调理电路, 并使用了带有片内可调增益和数字滤波器的 $\Sigma-\Delta$ 型 24 位模数转换器 AD7714, 实现了继电器电气特性的自动测量和自动显示.

关键词: 安全继电器; 信号调理; 特性测试

中图分类号: TH 715 **文献标识码:** B

0 引言

铁路安全继电器 (AX 型) 是铁路信号控制系统中的重要执行元件之一, 必须在出厂时和使用过程中定期对其电气特性参数进行测试. 根据国标^[1,2]要求, 铁路安全继电器的主要电气特性参数包括: 充磁值、释放值、工作值、反向工作值等. 继电器是靠给其线圈充放电使其动合节点 (衔铁) 吸合和断开的, 其测量原理见图 1. 以电压或电流的形式给继电器线圈充电升压或升流到充磁值, 使线圈达到磁饱和, 再降低电压或电流, 使衔铁释放断开, 此时的电压或电流值既是释放值, 然后再反复升降电压, 当释放值、工作值、反向工作值均在国标范围内时则表示该继电器合格可以使用.

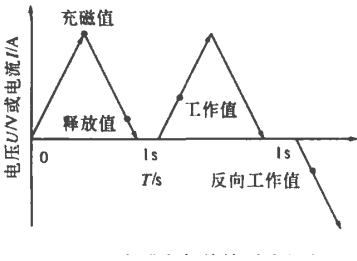


图 1 继电器电气特性测试程序

Fig. 1 Test procedure of relay electrical characteristics

传统的铁路安全继电器的测试方法都是依靠人工手动旋转自耦变压器给继电器充放电, 靠眼睛读取模拟表头指针所示的参数值, 并记录下来. 如果不能达到国标所要求的参数值, 则在维修之

后再次测量, 再次记录. 这必然会带来诸多方面的误差和不准确性, 因此就需要一种自动化的高测量精度继电器测试系统, 使它能够自动测量、自动显示并打印继电器的电气特性值. 目前在铁路系统中还没有这种继电器测试系统可供使用, 作者运用相关原理^[3,4]实现了一种高精度、宽量程的铁路安全继电器电气特性自动测试系统.

项目的主要难点在于铁路安全继电器共 6 类 35 个型号, 各继电器线圈对电源的要求不同, 如分交流和直流型, 电压和电流型. 电压范围为 0~220 V, 电流范围为 0~11 A. 精度要求分别是 0.01 V 和 1 mA. 针对这种宽量程、高精度的要求, 搭合理的前端模拟信号调理电路和高精度模数转换器及如何降低系统整体噪声成为关键.

1 硬件电路

1.1 系统概述

如图 2 所示, 上位机从数据库中调出待检测继电器的电气特性参数值 (若没有该型号的继电器信息, 则可以手动输入各项参数值), 根据事先约定的串口通信协议把数据打包, 通过 RS232 串口发送到下位机 (PIC16F877 单片机). 下位机以串口中断方式接收数据, 然后校验、去掉包头包尾, 取出有用数据 (如该继电器所要求的充磁值), 同时输出 PWM 脉冲控制步进电机的步数旋转自耦变压器提升电压, 当达到继电器的充磁值时, 自耦变压器向相反方向旋转降压. 当达到继电器的

释放值、工作值、反向工作值等电气特性参数时,继电器的动合节点(衔铁)动作,用 RB 口电平跳变中断方式使单片机中断记下此时的电量值,存入数组,待测试完毕后送回上位机显示并打印。

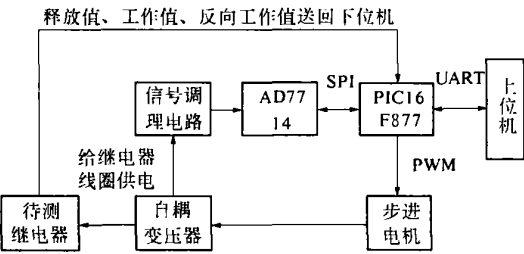


图 2 系统总体框图

Fig.2 The sketch map of system

本项目研究设计了一套前端模拟信号调理电路,采用了 $\Sigma-\Delta$ 型的 24 位模数转换器 AD7714,

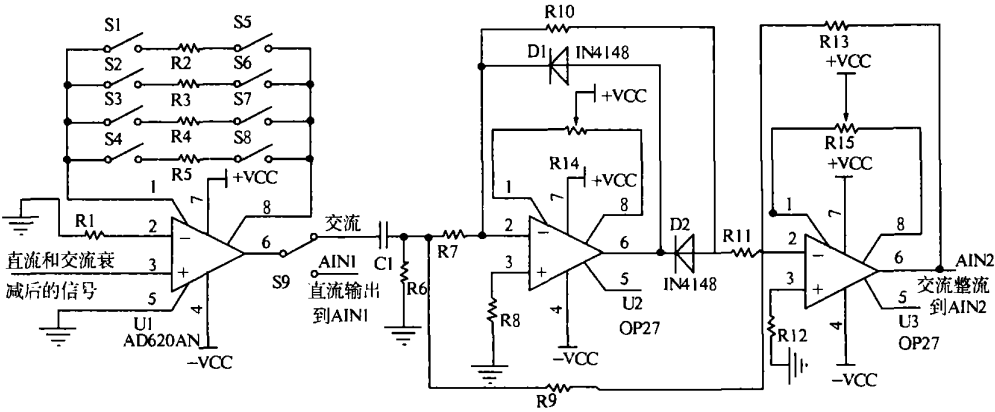


图 3 前端模拟信号调理电路

Fig.3 The circuit drawing of preceding analog signal conditioning

高性能仪表放大器 AD620, 具有极高的输入阻抗和共模抑制比, 具有高增益、低噪声、容易买到、价格便宜的优点. 在引脚 1 和 8 串入一个电阻可以设置 1~1 000 倍的任意电压增益, 当不连接外部电阻时它的增益为 1. 其所需外接的电阻值与增益的关系如式(1)所示:

$$R_G = \frac{49.4}{G-1} \tag{1}$$

式中: G 表示所要设置的增益值; R_G 为此增益下的所需外接的电阻值.

这里设置了 4 路外接电阻, 可以得到 5 个增益值, 再配合后级 AD7714 的 1~128 倍的增益, 可以以不同的量程处理 0.01 V~100 V 或者 1 mA~10 A 的数量级为 10^4 位跨度的电压变化. 为了减小外部电路带来的噪声, 这里使用 0.1% 精密线圈电阻. 需要注意的是, 当 AD7714 设置较高的增益时, 会损失一定的精度. 如增益值设为 128, 第

以一种精简的电路和较低的成本达到了继电器电源高精度宽量程的要求.

1.2 前端信号调理电路

由于继电器型号复杂多样, 电源要求有较宽的量程, 而且精度要求较高, 所以要有适当的电路完成衰减、放大功能, 同时要保证小信号的有效拾取而不被噪声淹没. 其电路图如图 3 所示.

电压采样方式采用的是电阻分压方式, 电流采样通过串入 10 mΩ 的精密四线式微电阻转换成电压信号. 直流电压信号经 AD620 做适当放大直接连接到 AD7714 的 AIN1 管脚. 交流电压则经过 AD620 做适当放大后, 经两个 OP27 组成的精密全波整流电路转换成直流电压信号后连接到 AD7714 的 AIN2 管脚^[5,6].

一凹口频率为 10 Hz 时, 仅能得到 17.5 位的有效转换精度. 所以要优先使用 AD620 的放大功能.

由于 AD7714 只能用于低频缓慢变化小信号的测量, 所以在这里用运算放大器 OP27 做精密全波整流, 它是一种低噪声, 低失调电压的精密运算放大器. 滤波后除直流分量以外的谐波分量利用 AD7714 的片内可编程数字滤波器去除. 其中的 R14 和 R15 用于运放失调电压的调零.

用 OrCAD^[4] 对图 3 进行仿真可以知道, 电路可获得了很好的整流效果, 从频域响应上来看, 在直流段有很大的幅值, 其他频率段主要集中在 50 Hz 及其整数倍上, 这样就需要用 AD7714 的片内数字滤波器对这些交流分量进行滤除. 实际电路中用示波器观察证明了这是一个有效可行的精密全波整流电路.

1.3 模数转换器 AD7714

为了保证小信号能被提取出来, 这里用了带

有片内可编程增益和数字滤波器的 24 位 $\Sigma-\Delta$ 型模数转换器 AD7714.

AD7714 是适用于低频测量应用的完整模拟前端^[5]. 它使用和一差($\Sigma-\Delta$)转换技术以实现高达 24 位的无误码性能. 输入信号加至专有的基于模拟调制器、具有可编程增益 1~128 倍的前端. 调制器的输出由片内数字滤波器处理. 通过设置片内寄存器可对此数字滤波器的第一个凹口编程, 允许调整滤波器的截止频率和转换结果的输出频率. 芯片采用 SPI 三线接口即可完成和 PIC 的通信, 简化了芯片间管脚的连接. 其电压基准芯片用数据手册推荐的 AD780 提供精准的 +2.5 V 参考电压.

AD7714 的片内滤波器是一个函数为 $(\sin x/x)^3$ 的低通滤波器, 其频域表达式如式(2)所示. 这种滤波器除了具备一般低通滤波器的特性外, 还特别地会在其第一个凹口和第一凹口的整数倍时提供大于 100 dB 的共模抑制比. 在这里设置第一凹口频率为 10 Hz, 那么它的一 3 dB 截止频率为 2.62 Hz, 并且能在 10 Hz 及其倍数时(如 50 Hz)提供极大的共模抑制, 因此恰好可以利用这一特性来滤除来自电源的 50 Hz 的工频干扰.

$$|H(f)| = \left| \frac{1}{N} \times \frac{\sin(N \cdot \pi / f_s)}{\sin(\pi \cdot f / f_s)} \right|^3 \quad (2)$$

可以根据关系式(3)设置片内滤波器高、低寄存器 FS11~FS0 的值来选择滤波器第一个凹口频率. 其中 code 的值即为 FS11~FS0 所决定的十进制数.

$$f_{\text{notch}} = (f_{\text{CLKIN}}/128)/\text{code} \quad (3)$$

第一个凹口频率关系到 -3 dB 截止频率和数据输出频率(有效转换时间的倒数), 它们之间的关系如下: 第一凹口频率 = 数据输出频率, -3 dB 截止频率 = 0.262 × 第一凹口频率.

在这里把滤波器第一个凹口点设置在 10 Hz, 这样在 10 Hz 的整数倍时都会有很好的抑制, 因此也就有效抑制了工频 50 Hz 及其谐振频率的干扰. 此时 -3 dB 截止频率为 2.62 Hz, 有效地抑制了高频噪声的干扰. 转换数据输出频率为 10 Hz, 即每 100 ms 得到一组采样值.

AD7714 的管脚连接图如图 4 所示, 芯片 AIN6 脚接 +2.5 V, 把芯片配置成双极性准差分输入. 把 /RESET 接高电平, 通过对通信寄存器连续写 32 个 1 可以使其达到硬件重启的功能. POL 引脚接高电平, 这意味着数据传送操作中串行时钟的第一个跳变是从高电平至低电平, 这就要求 PIC 单片机在数据传送之间应闲置为高电平.

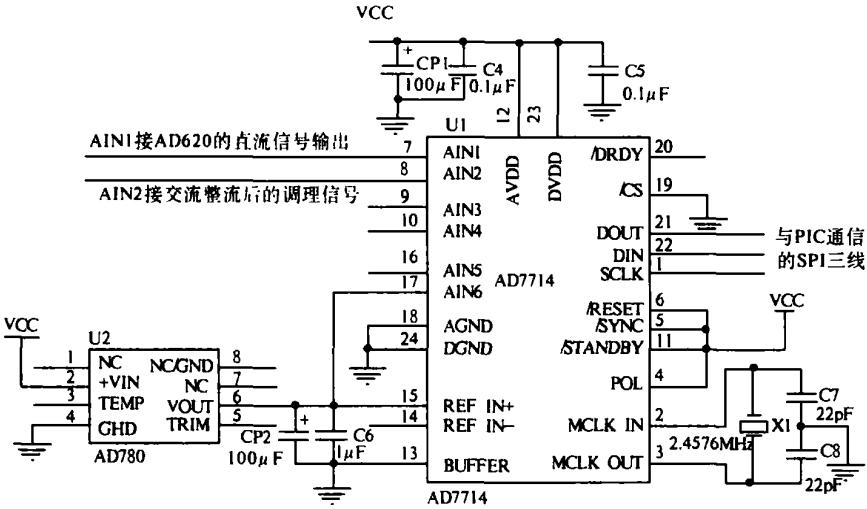


图 4 AD7714 管脚连接电路图

Fig.4 The pin joint circuit drawing of AD7714

由于 AD7714 具有优良的静态性能指标, 24 位的分辨率, $\pm 0.001\ 5\%$ 精度和低均方根噪声值, 所以必须注意印制电路板的元件布局和走线形式. AD7714 芯片和 AD780 下部不要布设任何信号线, 并全部铺铜为模拟地, 并用接地屏蔽罩屏蔽. 晶振要靠近芯片管脚, 晶振信号线要远离模拟

信号线, 更不能交叉走线. 电源端要用 10 μ F 钽电容和 0.1 μ F 陶瓷电容并联, 系统电源用线性电源.

1.4 PIC16F877 单片机

PIC16F877 具有宽电压、低功耗、高速度、指令少、可反复擦写等优点^[6]. 作者通过 RC6、RC7 引

脚的 UART 功能模块同 PC 机完成异步串行通信, 设置 RC1 引脚为 CCP 功能输出调制脉冲(PWM) 控制步进电机的旋转步数, RC3、RC4、RC5 引脚设置为 SPI 三线串口通信模式用于同 AD7714 通信, 另外还用到 RB 口电平跳变中断以及定时器、看门狗等.

2 软件部分

单片机的程序开发用 C 语言和汇编语言混合编程. 下面给出单片机通过 SPI 串口与 AD7714 通信的程序段:

```
SPI _ Initial(); //SPI 串口初始化
for(i=0;i<4;i++) {
    AD7714 _ Write(0xFF); //连续写入 32
    位 1 初始化 AD7714
}
AD7714 _ Set (0x20, 0x47); //设置滤波器高
寄存器, 双极性
AD7714 _ Set (0x30, 0x00); //设置滤波器低
寄存器, 第一凹口 10Hz
AD7714 _ Set (0x10, 0x20); //设置模式寄存
器, 自校准后返回正常模式
TRISC2=1; //DRDY 接 RC2 口, 以查询方式
等待新字输出
while (1) {
    while (RC2==0) break; //若 DRDY 变
    为低电平, 则开始读数据
    AD7714 _ Write(0x58); //下一步读 24
    位数据寄存器
```

```
for (i=0;i<3;i++) {
    SampleData[i] = AD7714 _ Read();
    //读取的数据存入数组 SampleData[3]中
}
}
```

3 结束语

作者介绍了一种高精度、宽量程的铁路安全继电器电气特性测试系统的实现, 以一种精简的硬件电路满足了国标上所列的所有安全型 (AX 型) 继电器对线圈宽电源的要求, 又保证了 0.01 V 和 mA 级的测量精度和最大 1% 的测量误差, 充分满足了国标的要求 (国标要求 5%). 这样只需在上位机选择所需测试的继电器型号 (或输入所需的参数值), 就可以实现对其电气特性参数的自动测量、自动显示和打印功能, 成功地解决了手工操作、人工计量导致的不确定性和低测量精度的问题, 提高了检修和管理效率, 降低了生产成本.

参考文献:

[1] GB/T6902—2001, 铁路信号继电器试验方法[S].
[2] GB/T7417—2001, AX 系列继电器[S].
[3] 蔡锦福. 运算放大器原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 30~39.
[4] 陈 东. OrCAD 电路设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
[5] Analog Devices Co. AD7714-datasheet [DB/OL]. Http://www.analog.com, 2005-04-17.
[6] 张明峰. PIC 单片机入门与实战[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.

The Realization of a High Precision Test System for
Railway Safety Relays

WANG Jie, ZHANG Tao

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The railway safety relay is an important executable component in railway system, whose electrical characteristics must be tested timely. Relay embraces various categories, whose power supply must be of high measuring precision and wide dynamic range. One relay electrical characteristics test system was realized here. The preceding analog signal conditioning circuit was constituted with amplifier AD620 and OP27. And 24 bits $\Sigma-\Delta$ ADC AD7714 that was integrated with programmable gain and digital filter was used. The relay electrical characteristics can be tested and displayed automatically.

Key words: safety relay; signal conditioning; characteristic test