

基于 PAC1921 的宽范围高端电参数检测系统设计

王元月¹, 王红², 应金堂¹

(1. 绍兴职业技术学院 机电工程学院, 浙江 绍兴 312000; 2. 上海利正卫星应用技术有限公司, 上海 200000)

摘要: 针对电源管理、工业自动化等自动控制领域对高端电参数检测精度高、范围宽的要求, 设计了一个基于 PAC1921 高端电流功率传感器的宽范围高端电参数检测系统; 该系统根据测量结果自动对增益进行配置, 使测量档位的测量范围与实际值匹配, 从而保证设计的检测系统具有宽的测量范围的同时能够保证测量精度; 实验结果表明系统能对高端 0~20 A, 0~32 V, 0~640 W 范围的电参数进行测量, 数据采集稳定, 精度高, 可以为高端宽范围的电参数测量提供参考, 具有一定的使用价值。

关键词: PAC1921; 高端; 电参数; 宽范围

Design of Wide Range High-side Electric Parameter Detection System Based on PAC1921

Wang Yuanyue¹, Wang Hong², Ying Jintang¹

(1. Mechanical & Electrical Engineering College, Shaoxing Vocational & Technical College, Shaoxing 312000, China;

2. Shanghai LiZheng Satellite Application Technology Co., Ltd., Shanghai 200000, China)

Abstract: Considering the actual demand of power management and industrial automation, the electric parameter detection system based on PAC1921 high-side current/power sensor was designed. The measurement results are automatically configured to match the measuring range and the actual value, so that the design of the detection system has a wide measurement range and can ensure the measurement accuracy. The experimental prove the system can measure the value of 0~20 A current, 0~32 V voltage and 0~640 W power and the data acquisition is stable and it has high measurement accuracy. The system can provide a reference for the wide range of electrical parameters measurement and it has a certain reference value.

Keywords: PAC1921; high-side; electrical parameters; wide range

0 前言

很多电路系统都需要对电流、电压和功率等电参数进行检测, 尤其是对工作电流的监测。低端电流检测与高端电流检测电路相比较而言较为简单, 但是有些故障只能高端检测电路才能检测到, 低端电流检测电路无法检测到, 而这些故障往往让电路系统处于危险的状态^[1], 因此对高端电流检测是必要的, 高端电流检测是检测电源端的电流, 这样能提高后续电路的故障检出率, 能更好的对电路系统进行保护^[1-3]。特别是在电源管理、工业自动化等诸多自动控制应用中, 对高端电流的检测是一种广泛的需求, 而且在这些应用中, 对高端电参数检测要求精度高, 范围宽^[4]。因此设计了一种利用 PAC1921 电流功率传感器实现对高端电流、电压和功率进行检测的系统, 系统检测范围宽, 且精度高。

1 高端电流的检测原理

电流检测的方法通常是在被测电路中插入一个电流采样电阻, 被测电流流过采样电阻会产生压降, 如果检测出电阻两端的电压就可以计算出被测电流的大小。由于电流采样电阻值较小, 因此采样电阻两端的压降也很小, 需要经过放大器进行放大输出给后续电路^[5]。

图 1 是最常用的利用差分输入的高端电流检测电路, 电流

采样电阻放在系统电源和负载之间, 因此它对电流的变化更加敏感, 而且也不给地线回路增加额外阻抗, 对系统地添加了免干扰功能, 这项技术提高了整个电路的性能。电路中, 电流流过采样电阻, 在电阻上产生的电压差作为差分放大器的输入, 放大后将信号电平从高端移位到参考地。高端电流检测电路需要使用低输入偏移电压以及高共模抑制比的精密运算放大器和高精度的电阻电容器件, 以此来降低电流检测误差。

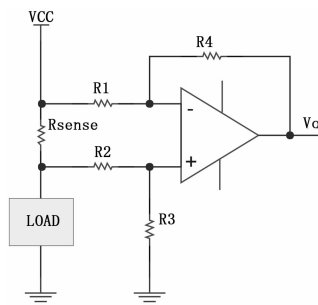


图 1 差分输入的高端电流检测电路

2 系统设计

该系统由高端电流功率传感器, 单片机和上位机构成, 高端电流功率传感器采集的高端电流、电压以及功率信号通过 SMBus 总线传输至单片机, 单片机再将这些信号通过 RS485 串口上传到上位机显示。电流、电压和功率信号的采集使用美国微芯公司新推出的全球第一款模拟和数字相结合的 PAC1921 芯片, 主控器采用具有高速、低功耗和抗干扰能力

收稿日期: 2016-11-22; 修回日期: 2016-12-15。

作者简介: 王元月(1977-), 女, 贵州毕节人, 硕士, 讲师, 主要从事电源技术及智能控制方向的研究。

强的的单片机 STC12C5620AD。

2.1 高端电流功率传感器 PAC1921

随着电子技术的发展,很多公司推出了多种集成电流检测芯片,其内部包含了完成高端电流检测的所有功能单元,包括精密运放和匹配度很好的电路。

PAC1921 是支持数字输出和可配置模拟输出的高端电流功率传感器,它提供 3 种测量方式,除了能对电流、功率进行测量外,对电压信号进行测量,它采集的电流、电压和功率信号通过与 I2C 总线兼容的 SMBus 总线输出,也可以通过 OUT 引脚输出模拟信号。PAC1921 内部功能框图如图 2 所示,其内部包含一个电流差分放大器、寄存器、11/14 位二阶 $\Delta-\Sigma$ ADC、10 位 DAC 和数字接口等部分,差分电流放大器输入范围 0—100 mV,共模电压可到 32 V,器件内部配备的 39 位累加寄存器和增益可控的放大器,电流增益有 8 个档位可选,最大为 128 倍,电压增益有 6 档,最大为 32 倍,这使得它在不改变采样电阻值的情况下能测量宽范围的电流、电压及功率信号。

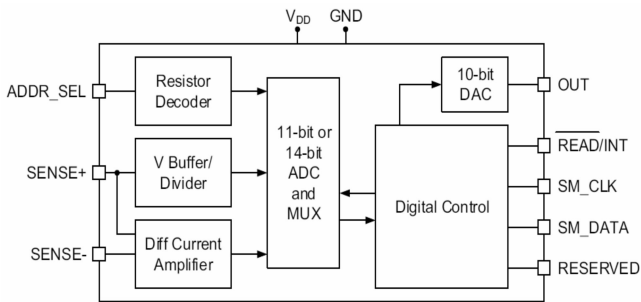


图 2 PAC1921 的内部结构^[6]

2.2 检测电路的设计

采用高端电流功率传感器 PAC1921,只需要外围少量的元器件就可以实现对电流、电压和功率的精确的检测。为了去除电源高频噪声的干扰,在电源引脚处设计了截止频率 2 kHz 左右的 RC 低通滤波器,由于 PAC1921 可以支持 3~5.5 V 的供电电压,给 RC 低通滤波器的设计带来了非常大的便利,RC 低通滤波器设计如下:

(1) 电阻的选择:由于 VDD 的供电电压可以在 3~5.5 V 之间,并且整个 PAC1921 的耗电电流最大值不超过 10 mA,因此设计了低通滤波器的电阻 $R_1=100$ 欧姆, R_1 上的最大压降不超过 1 V,设计中 VCC 为 5 V 电压,所以给芯片供电的电压是 4 V 左右,满足芯片的工作要求。根据以上计算最后选取 100 欧姆 1/8 W 的贴片电阻。

(2) 电容的选择:根据设计要求截止频率为 $f_c=3$ kHz,RC 低通滤波器的频率计算如式 (1) 所示,

$$f_c = 1/(2\pi RC) \tag{1}$$

由式 (1) 可推导出滤波电容:

$$C = 1/(2\pi R f_c) \tag{2}$$

将截止频率 $f_c=3$ kHz 带入式 (2),可求出滤波电容值。

$$C = 1/(2\pi R f_c) = 1/(2 * \pi * 100 * 3000) \approx 0.53 \mu F$$

根据以上计算最后选取了 1 uF 16 V 的钽电容,为了增加滤波除高频噪声的效果,在此电容上再并上 0.1 uF 16 V 的钽电容。

为了尽量减少电路噪声的影响,在 PAC1921 的模拟输出

引脚和接收 ADC 之间也采用 RC 滤波器。SMBus 总线时钟引脚 SM_CLK 和数据传输引脚 SM_DATA 根据协议的接 12 k Ω 的上拉电阻。

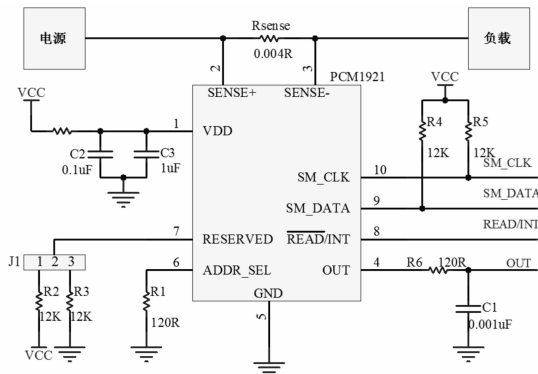


图 3 PAC1921 检测电路

检测电路中的采样电阻选用的是合金电阻,它比传统的电阻的精度高,温度系数 TCR 低,甚至可以低至 ± 5 PPM/ $^{\circ}C$,这就避免了电阻因电路工作时发热引起温度的变化对测量精度的影响。而且合金电阻可通过较大的电流,在大电流采样中能承受相当强度的冲击。该系统设计的电流检测范围是 0~20 A,而 PAC1921 的电流差分放大器的输入的电压最大是 100 mV,计算采样电阻:

$$R_{SENSE} = 0.1 V / 20 A = 0.005 \Omega$$

将计算出的采样电阻值乘以 0.8 的裕量系数,因此检测电路选用 0.004 Ω 的合金采样电阻,该电阻 TCR 为 10 PPM/ $^{\circ}C$,功率为 4 W,电阻精度为 0.1%。将采样电阻接在电源和负载之间,它将被测电流转换成电压信号,该信号输入到芯片内部的差分电流放大器,信号增益可编程选择,有 8 个不同的增益,最大增益为 128 倍,可以根据不同的输入选择合适的电流增益,这就保证了宽范围的检测精度。电压的测量增益分为 6 档,电流电压增益的选择如表 1 所示。

表 1 电流电压增益选择

V_{SENSE} 有效范围	电流增益	V_{BUS} 有效范围	电压增益
0 to 100 mV	1	1	0 to 32V
0 to 50 mV	2	2	0 to 16V
0 to 25 mV	4	4	0 to 8V
0 to 12.5 mV	8	8	0 to 4V
0 to 6.25 mV	16	16	0 to 2V
0 to 3.125 mV	32	32	0 to 1V
0 to 1.56 mV	64	32	0 to 1V
0 to 0.78 mV	128	32	0 to 1V

2.3 主控模块设计

主控制模块主要由控制器和通信模块构成,其系统主体结构如图 4 所示。主控模块采用具有高速、低功耗和抗干扰超强特点的单片机 STC12C5620AD,它对于要求运算速度快、高速通信和抗干扰能力强的场合特别适合。在主控单元模块电路中,以 STC12C5620AD 单片机为核心,同时通过 485 串口与上位机进行通信,将测量的信号送到上位机显示。

2.4 软件设计

该系统根据测量结果自动对增益进行配置,使测量范围与

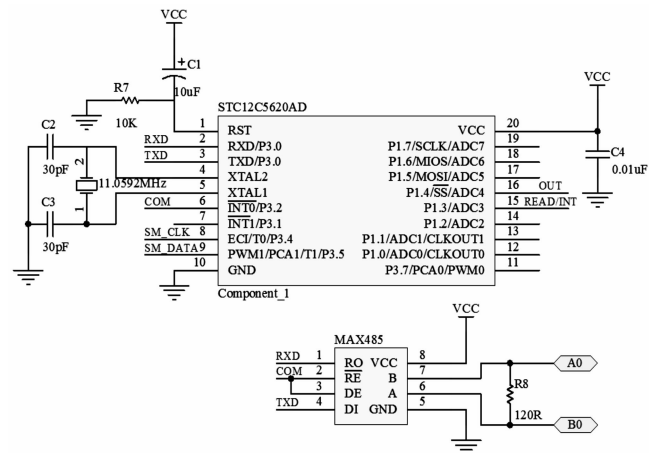


图 4 主控模块电路

PAC921 芯片与主控器通过 SMBus 通信, SMBus 与 I2C 是兼容的, 它是一个计算机主机与外围设备之间的双线串行通信协议。pac1921 SMBus 地址位是 7 位, 地址后面是 RD/WR 指示位, 如果 RD/WR 位为逻辑“0”, SMBus 写数据到客户端设备。如果 RD/WR 位为逻辑“1”, SMBus 从客户端读取数据, pac1921 SMBus 地址是由第 6 引脚 ADDR_SEL 的电阻接地确定的, 电路中电阻采用 120Ω, pac1921 SMBus 地址被确定为 1001101。图 6 是写一个字节到寄存器的通信协议, 图 7 是从寄存器中读取一个字节的通信协议。

START	Slave Address	WR	ACK	Register Address	ACK	Register Data	ACK	STOP
1→0	YYYY_YYY	0	0	XXh	0	XXh	0	0→1

图 6 写通信协议

实际电流匹配, 从而保证设计的检测电路具有宽的测量范围的同时能够保证测量精度, 电流测量范围 0~20 A, 电压范围 0~32 V, 功率范围 0~640 W。程序流程图如图 5 所示, 单片机定时读取采集信号值, 根据采集数据结果判断当前电流电压范围, 以此确定合适的增益。

STA RT	Slave Address	W R	AC K	Register Address	AC K	STA RT	Slave Address	R D	AC K	Register Data	NA CK	ST OP
1→0	YYYY_YYY	0	0	XXh	0	1→0	YYYY_YYY	1	0	XXh	1	0→1

图 7 读通信协议

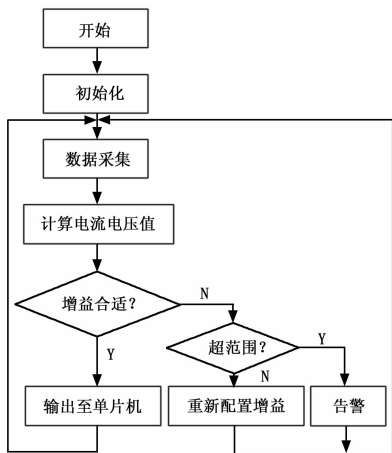


图 5 程序流程

程序初始化工作主要是对 PAC1921 高端电流传感器的参数进行配置。PAC1921 里包含一个寄存器, 可以通过 SBus 总线通信设置参数, 以此来选择该芯片的工作方式。在增益配置寄存器里可以设置电流电压信号采集的 ADC 位数以及电流电压的增益, 可通过样本寄存器配置寄存器设置电流电压样本数量。初始化程序将 ADC 采样率配置成 14 位, 采用后置滤波器以提高信号质量; 将样本数设置为 1024 个。

PAC 提供三种测量模式, 在电流测量模式下, ADC 采集电流样本值并累加到 25 位寄存器中, 每个累加周期完成后自动求取平均值并存入寄存器中的前 10 位, 电压测量模式跟电路测量模式类似, 同样会将电压样本值累加到 25 位寄存器中, 累加周期完成后自动求取平均值存入 16 位寄存器的前 10 位, 而功率值累加寄存器为 39 位。如果电流或者电压增益设置过高时, 累加器会溢出, 这时芯片内部寄存器的电流或者电压溢出标志位会被置 1, 结果寄存器会被设置为最大值, 那么在 SMBus 模式, 改变增益选择, 检查结果直到一个有效的增益被选中。

3 系统测试分析

为了说明该检测系统的有效性, 将各部分电路整合后充分地测试系统的性能。PAC1921 传感器将电流、电压及功率信号采集后送给单片机处理再送到上位机显示, 系统对全量程范围内的信号进行检测。检测结果如表 2 所示, 在整个测量范围内, 能保证电流、电压和功率的测量精度。当被测电流低于

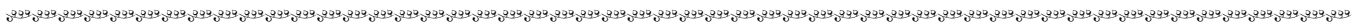
表 2 检测结果

序号	电流实测值/A	上位机显示值电流/A	电压实测值/V	上位机显示值电压/V	上位机显示值功率/W
1	1.01×10 ⁻³	1.01×10 ⁻³	1.00	1.00	1.01×10 ⁻³
2	2.01×10 ⁻³	2.01×10 ⁻³	2.00	2.00	4.01×10 ⁻³
3	4.00×10 ⁻³	4.00×10 ⁻³	3.00	3.00	12.00×10 ⁻³
4	8.05×10 ⁻³	8.05×10 ⁻³	5.00	5.00	40.25×10 ⁻³
5	10.00×10 ⁻³	10.00×10 ⁻³	6.00	6.00	60.00×10 ⁻³
6	20.02×10 ⁻³	20.01×10 ⁻³	7.00	7.00	140.00×10 ⁻³
7	40.01×10 ⁻³	40.00×10 ⁻³	8.00	8.00	320.15×10 ⁻³
8	80.00×10 ⁻³	80.00×10 ⁻³	10.00	9.99	798.42×10 ⁻³
9	0.11	0.11	11.00	11.00	1.10
10	0.20	0.20	12.00	12.00	2.41
11	0.40	0.40	13.00	13.00	5.20
12	0.80	0.80	15.00	14.99	11.85
13	1.00	1.00	16.00	16.00	16.00
14	2.00	2.00	18.00	18.00	36.10
15	4.01	4.01	20.00	20.00	80.90
16	8.00	8.00	22.00	22.00	176.10
17	12.00	12.00	26.00	26.00	310.89
18	16.00	16.01	30.00	30.00	480.30
19	20.00	19.99	32.00	31.99	639.37
20	20.01	Error	32.01	32.00	Error
21	20.02	Error	32.02	Error	Error

195mA 以下，增益选择最大 128；当被测电流超过 12.5 A，增益选择最小值 1。被测电压范围是 0~1 V 时，增益选择最大值 32；当超过 16 V 时，增益选择最小为 1。当被测电流达到 20.01 A 时，上位机显示错误表示超出范围，当被测电压要达 32.02 V 时，上位机显示错误表示超出范围。

4 总结

实验结果表明该系统满足宽范围电参数测量的需要，具有较好的实时性，测量精度高，ADC 选择 14 位的分辨率，电流电压误差小于 0.1%，功率误差小于 0.2%，且数据采集稳定，上位机能稳定显示数据。使用 PAC1921 高端电流功率传感器来对高端电信号进行检测的方法可以为宽范围电参数测量提供参考，具有使用价值。



(上接第 44 页)

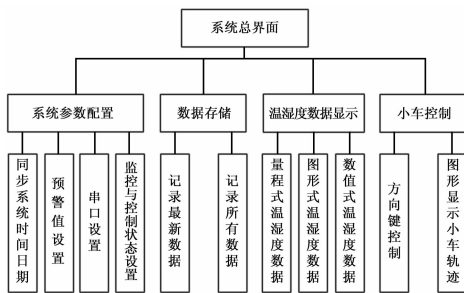


图 7 系统软件结构

置，初始的坐标系随着小车移动进行平移或者旋转生成新的坐标系。直线运动以及旋转运动坐标系变化如图 8 和图 9 所示。坐标位置点计算完成后采用 Labview 里图片绘制，将每次坐标转化的小车坐标用直线连接起来，并创建局部变量保留所有的轨迹连线，形成小车轨迹的显示。

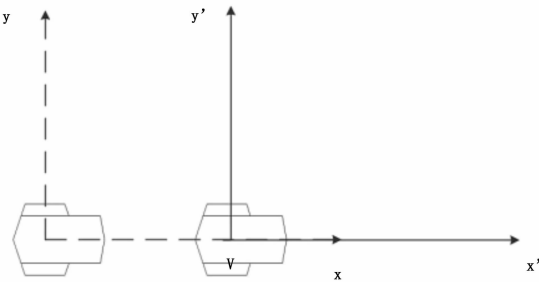


图 8 直线轨迹坐标系变化示意图

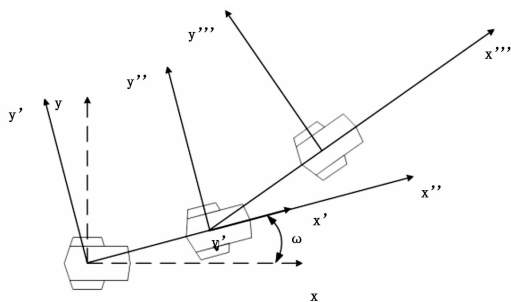


图 9 曲线轨迹坐标系变化示意图

参考文献:

[1] Gert N. Helles. 高端电流检测的原理和电路 [J]. 电子产品世界, 2001 (9): 19-20.
 [2] 姜 霞, 年晓红, 宋学瑞. 多通道高精度电压电流检测系统设计 [J]. 电源技术, 2014, 38 (9): 1706-1709.
 [3] 杨 阳. 基于微处理器的多点电流信号采集及优化设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (5): 223-225.
 [4] 刘冬梅, 李泽滔. 基于 ADE7753 的 Rogowski 线圈宽范围电流测量研究 [J] 自动化仪器仪表, 2015 (7): 159-160.
 [5] 曲光阳. 吴晓波高精度高边电流检测放大器的研究与设计 [J]. 机电工程, 2008, 25 (11): 1-4.
 [6] PAC1921 High-Side Power/Current Monitor with Analog Output [EB/OL]. <http://101.96.10.65/www1.microchip.com/downloads/cn/DeviceDoc/cn571514.pdf>, 2016.

4 系统调试

在某一房间中进行温湿度的动态点监测的现场实验，通过 PC 端发送指令控制小车在房间内完成指定的轨迹运动，控制效果较好，小车运动轨迹和 PC 控制面板上显示轨迹基本一致。小车端通过无线传输发送到 PC 端的温湿度数据与使用温湿度测量仪测出的数据一致，并且采集的数据平稳，可以满足实验条件。在试验过程中，系统表现稳定，能长时间高速运行，采集的温湿度数据实时显示在系统的应用界面上，实现了多种的显示形式：数值显示、量程显示、实时数据曲线。采集数据存储在文档中便于调取查询。通过 PC 控制面板上多种显示形式的温湿度数据以及小车运行轨迹图，操作人员能够更为直观的观察在一定范围内温湿度动态点监测的状态，发现异常现象。

5 结论

针对市场的温湿度测量仪一般只用于定点测量这一问题，提出了将无线遥控小车作为载具，搭乘温湿度测量装置的方案。文中设计了无线传输电路及小车驱动电路，为了实现无线传输的目的，编制了无线传输的发送与接收程序。采用 LABVIEW 进行上位机编程以实现与下位机的通信，并测量结果进行处理、显示和储存。通过现场实验，该装置可以实现一定区域内的温湿度动态点的测量。

参考文献:

[1] 叶 钢. 基于 SHT11 温湿度测量仪的设计 [J]. 国外电子测量技术, 2011, 30 (12): 66-68.
 [2] 姚传安. 无线温湿度测量传感器网络设计 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (2): 165-166.
 [3] 王 欢, 黄 晨. 高精度无线环境温湿度测量系统设计研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27 (3): 211-216.
 [4] 李江全, 贺 浩, 王玉巍, 等. 单片机数据通信及测控应用技术详解 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011, 12.
 [5] 毛 鹏, 周宏豪, 苏 洋, 等. 手机蓝牙遥控的温湿度检测车研制 [J]. 信息技术, 2015 (4): 80-83.
 [6] 李朝青. 单片机原理及串行外接接口技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
 [7] 李文仲. 短距离无线数据通信入门与实战 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006, 12.
 [8] 颜园园, 张宏群. 基于 LabVIEW 的温湿度测量系统 [J]. 现代电子技术, 2009, 32 (1): 120-121.