

# 基于地铁监测多通道高速采集卡方案设计

袁嘉琦

西安铁路信号有限责任公司 陕西 西安 710000

**摘要:**为解决地铁监测系统中采集卡成本居高不下,需要采集的信号数量庞大,采集卡外形尺寸偏大,数据精度不高,通信抗干扰低等问题,设计了一款基于STM32F101作为采集卡的主控芯片,LTC1400IS8高速ADC作为采样数模转换器,高速多通道选择器MPC507作为切换开关,高精度运放INA350作为信号链核心处理芯片,通过自主选型设计,选择了采样速率高,处理速度快的,封装尺寸小的电子元器件和抗干扰强的485总线主从拓扑模式;做了多通道高速采集卡样机试制,经过现场试验,客户反馈能够良好稳定运行。

**关键词:**采集卡,稳定,高精度,多通道,尺寸小。

## 引言

随机科学技术的进步,嵌入式系统已经深入到公路、铁路、海运、航运各个系统,帮助我们更加快速,准确,稳定,可靠,安全的管理相关设备的运行,成为新时代发展道路上不可或缺的强劲助力<sup>[1-2]</sup>。地铁运行监测系统中用到的多通道高速采集卡是嵌入式系统的一个具化表现。采集卡是地铁运行监测系统最底层硬件设备,为上层设备和软件提供基础数据,保证上位机业务逻辑正常运行的基石。采集卡的成本、采样精度、速率和尺寸构成采集卡重要的技术参数,这些构成了设计方案时的技术要求,因此设计方案要落实每个技术要求规定的量化值。

## 1 原理设计

多通道高速采集卡为了实现其技术指标,采用了模块化设计思路,达到了在调试和测试时快速提出解决方案的效果,也方便批量生产中不用进行大规模的改动前提下就可以实现产品的维修及性能的升级。采集卡共5个模块,分别为数据处理模块、ADC和信号链模块、多通道选择模块、供电模块和通信模块。数据处理模块是采集卡的运算中心负责处理数据和发送接收指令,ADC和信号链模块负责将初始信号经过调理后进行数模转换,多通道选择模块负责将众多被监测的信号轮询送到信号链上,供电模块负责各采集卡上的每个模块供电保证板卡稳定运行,通信模块负责将采集卡组成一个主从拓扑结构,最后构成一个系统。

### 1.1 数据处理模块设计

采集卡的CPU选择市场占有率较高的STM32F101C8T6,它是ST公司出的一款基于Cortex-M3内核的产品,最大运行速率可达36MHZ,考虑技术要求采样率10K,选择36M的CPU处理10K采样数据已满足要求。CPU的封装选型

时,为了缩小板卡外形尺寸选择了64PIN管脚的LQFP64封装,它挂载的外设模块及IO口适用采集卡的功能需求,没有过多的浪费,在成本控制方面到了降低成本的需求。CPU外挂一个Flash用来做数据存储,Flash掉电不丢失,可以保存采集卡的地址和采集数据,校准参数等设备信息,为上位机做可配置功能留下操作空间<sup>[3]</sup>。CPU自带的ROM其实也可以当做FLASH来存储数据,但是这个增加了软件的维护难度,不利于后期板卡软件升级和迭代,综合考虑选择外加硬件来降低软件开发难度。监测系统会用到很多个采集卡,他们集中放在一个机柜中,所以只留了一个运行指示LED灯,提示板卡处于运行状态,用来快速定位采集卡是否故障。当板卡出现异常时,地铁监测只允许在天窗点去维护,时间非常紧迫,直接换掉LED异常的故障板卡是最节省成本的处理方式<sup>[4]</sup>。

### 1.2 ADC及信号处理

采集卡中一个关键的模块就是信号处理部分,这是它的核心;差分信号经过差分运放后,过RC滤波电路,在通过运放阻抗匹配进入ADC进行采样,采样结果发送到CPU进行数据处理。ADC LTC1400IS8分辨率、速率、精度等因素决定着整个采集卡的性能指标<sup>[5]</sup>。LTC1400IS8是凌力尔特的一款12BIT高精度ADC,采样速率高达400K,满足采集卡采样要求,此款ADC是串行接口,占用IO口仅3个,节省了CPU的IO资源。RC滤波率除掉信号中的高频干扰(截止频率 $F = 1/2\pi RC$ ),滤除干扰后的信号传递到后级。不是所有的设备都要做RC滤波,这要是设备运行环境和信号主要干扰而做相应的滤波方案。运放作为一个跟随器来匹配阻抗传递给ADC<sup>[6]</sup>。ADC的参考源选择是内置参考源,经测试测款ADC内置参考源完全满足要求,不需要外接ADC参考源。差分运

放选择可调电阻的方式来调理信号的大小，来保证小信号也能被完整的测量，另一个作用是校验采集卡时可以

用硬件直接调校，不用软件过多干预。整个ADC信号链原理图如图1所示。

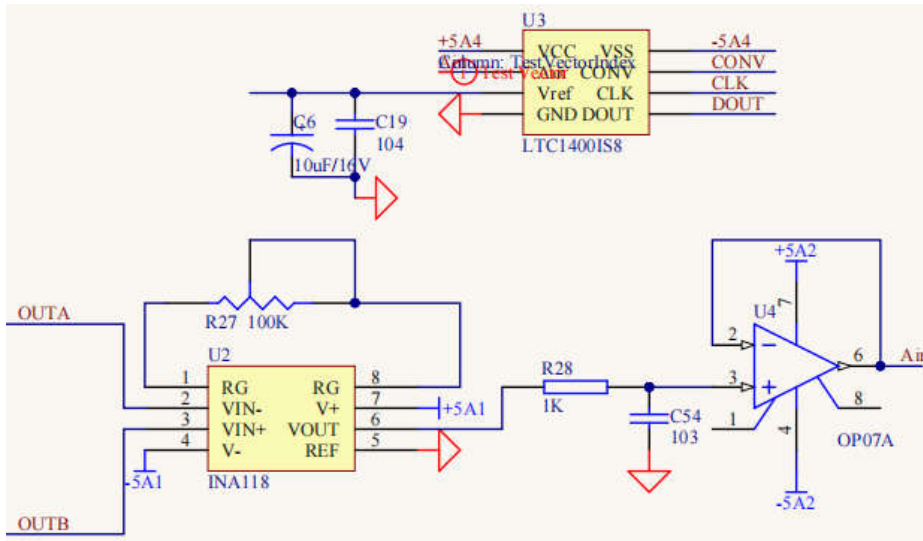


图1 信号链模块

### 1.3 多通道模拟选择模块

采集卡作为多通道选择设备，采用了差分多通道模拟选择器MPC507（简称：选择器）作为实现多通道采集方案，它具有宽电压范围，高开关速率，CMOS工艺保证

了低漏电流，满足了信号链设计技术指标。在外部接口方面4个控制IO，节省了CPU的IO资源。在供电方面采用并联电容的方案，滤除干扰保证了选择器的稳定工作。

### 1.4 供电模块设计

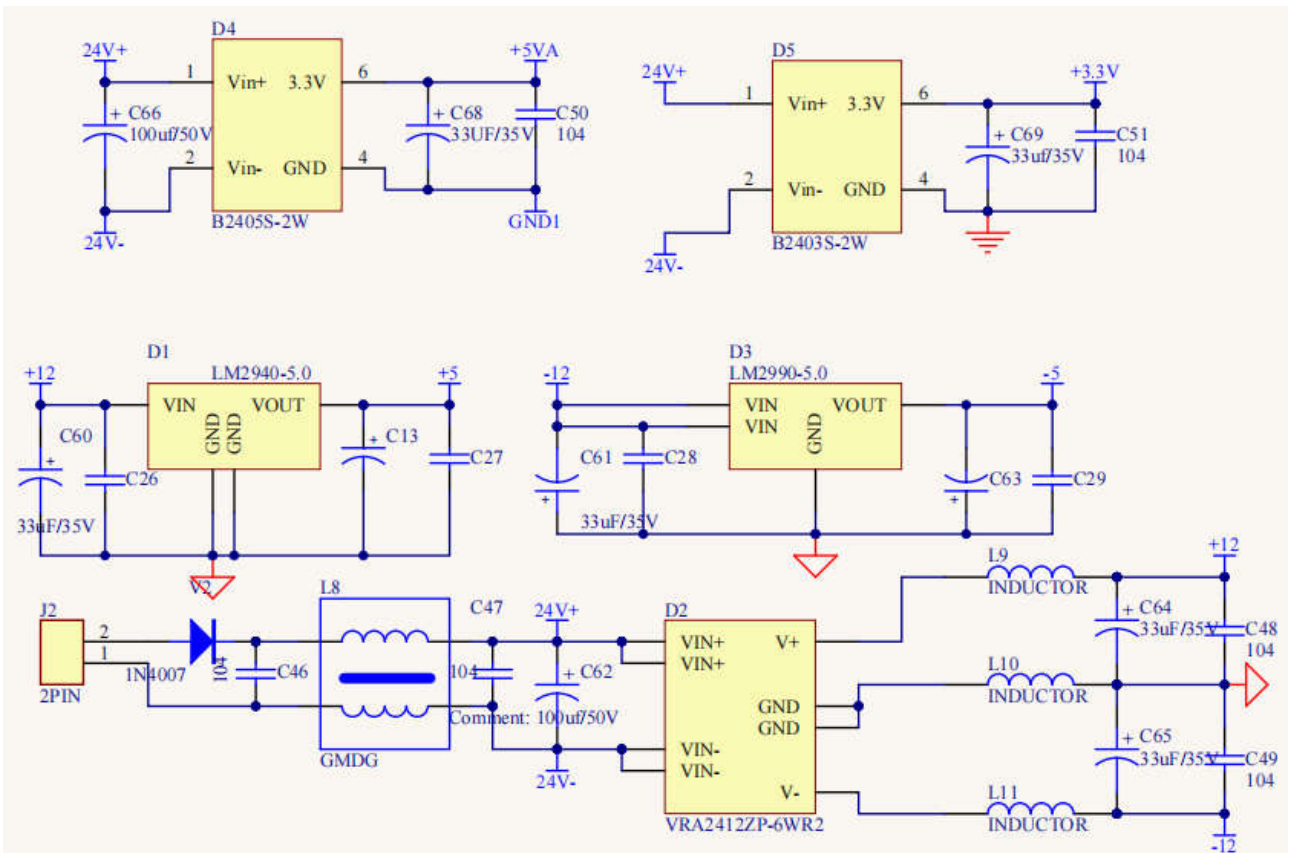


图2 电源模块原理图

供电是嵌入式系统不可避免提及的模块，它的设计思路直接决定着板卡的框架设计，采集卡的总体思路是数模分开供电的思路设计，DCDC给数字区域供电，线性稳压器给模拟区域供电，不同的供电方式保证了供电技术指标需要，虽然增加了成本，但是平衡采集性能指标，这一点是可以接受的。出于安全考虑在入口处加入了防反接设计，用IN4007串入电源输入端，利用二极管的正向导通且低压差，反向截止的特性实现反接不供电达到保护作用。在入电处加入滤波设计，降低共模干扰，当电路有干扰信号引入时，由于共模电感线圈绕制方向相反，根据电磁感应定律可知干扰产生的磁场相互

抵消，达到降低共模干扰的作用。电源选择考虑输出电压的同时也必须考虑功率，如果功率输出达到电源额定功率满负荷输出，会造成电源发热严重，影响寿命<sup>[7-8]</sup>。一般选择供电电源时留有一定余量，保证电源模块及时散热，当然加散热片也是一种可行方案，采集卡方案中没有选择加散热片。供电框图如图2所示。

### 1.5 通信模块

采集卡采用485接口的方式来通信，485的优势在于连接简单，抗干扰强，传输速率高，硬件连接简单可靠，便于维护和检修。具体原理框图如图3所示。

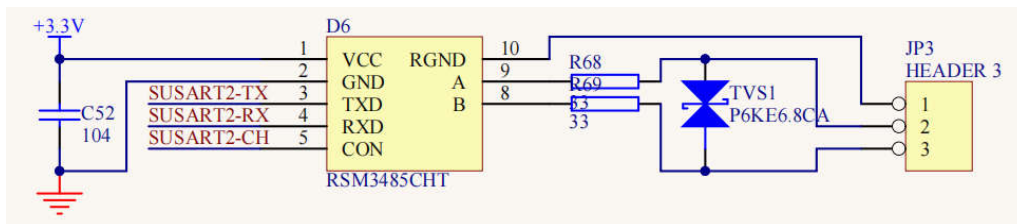


图3 485通信模块

系统的通信系统可选择方案很多，地铁监测系统选择了485总线模式，监测系统总线上挂载了多个采集卡，而采集卡和上位机是通过485总线连接，也就是主从模式。上位机为主，采集卡位从机，主机呼叫，从机应答，上位机发送指令给各个采集卡，应收到指令的采集卡号解析指令，然后获取总线控制权，发送数据到485总线，上位机收到数据。

## 2 硬件设计

电路板的设计中遵循数模分布的思路，将数字模块和模拟模块分开分布，在铺地和电源供电时也选用分开供电，在PCB上保留一定间隙。采集卡对于数字地和模拟地采用的是单点接地方案，入口放在电源近端，感应

电动势 $E = N \Delta \Phi / \Delta t$ ， $\Phi = BS$ ，所以尽可能的降低环路面积，增强抗干扰能力<sup>[9]</sup>。对于外部接口的排布选择放在了靠近板边的位置，方便连接<sup>[10]</sup>。大功率电源区和小功率区分开布置，减少板间干扰。采集卡主要链路是差分信号，布线保持差分信在同层且相互靠近的方式，提高抗干扰性能；采集卡上不需要承受过重元器件，和尺寸不大，选择了1.6mm板厚；叠层设计：共4层，顶层和底层信号层，信号层中涉及电源布线时，电源线要走大电流，所以导线线径交宽。中间两层一层电源层一层地。其他工艺要求为过孔塞孔，热风整平，材质选择FR4环氧玻璃板，白色丝印。具体布线图如图4所示。

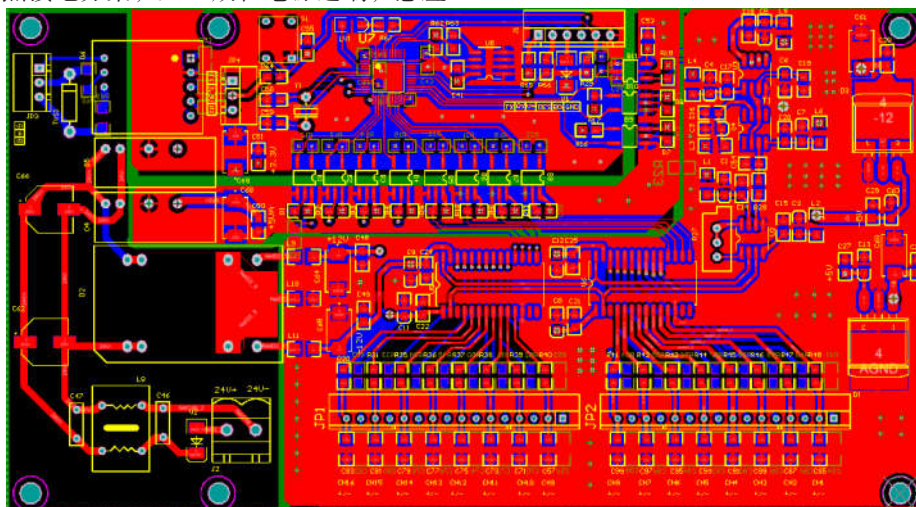


图4 PCB板

### 3 软件设计

采集卡软件基于FreeRTOS操作系统，采用状态机架构思想来设计整个采集卡的软件。FreeRTOS是轻量级嵌入式操作系统，简单易用，开源免费非常适合采集卡。FreeRTOS主要由任务切换，内存管理，消息队列三部分构成。任务切换管理各个任务间的调度，内存管理分配着整个系统的内存合理利用，消息队列用于传递各任务之间的数据和状态<sup>[11]</sup>。状态机的软件思想使得各任务之间的状态切换明显易控，便于后期软件维护和升级。采集卡利用信号量，为每个任务设置状态量，当A任务完成时，其对应的信号量状态A\_Flag也对应变化，变化的内容可以用一个结构体struct来控制，具体任务不同，结

构体里面的状态也不同<sup>[12-13]</sup>。用一个查询函数Check可以实时查询各任务状态，会时整个软件架构清晰，可读性高，便于迭代和维护。

采集卡系统框架构建好后还是需要数据交互来支撑的，合理的数据帧定义方式可以有效的保证整个系统高效稳定的运行。数据帧分的报文头用来是识别数据帧的起始，数据帧的字节数用来表示这次数据帧的字节数多少个，在软件接收时可以识别是否接收到要求的数据帧字节数。指令格式表明接下来的业务逻辑要做什么。数据0-3说明数据帧要带的具体数据。校验用来保证数据帧的正确性，不易丢包。结束字符标识此数据帧结束<sup>[14]</sup>。数据帧格式如下表1所示。

表1 数据帧

0x55	0xAA	数据字节数	指令格式	数据0	数据1	数据2	数据3	校验	校验	结束字符 0x0d 0x0a
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L

数据帧内容详解：

A = 0X55 B = 0XAA;

C = 总共字节数0-255;

D = #或%或\$ #表示设置板卡信息 %采集 \$校准;

E F G H—数据；

L 结束表示字符（0x0d或者0x0a）。

数据帧不是一成不变的，可以有很多种定义方式，唯一的目的是让通信效率变高，此数据帧结构在地铁监测系统中非常稳定有效<sup>[15]</sup>。在这其中也会应用一些算法，不是单纯的发出数据就可以了，这样容易丢包。可以参考TCP/IP协议的逻辑，A发给B数据，B没有收到，A会重发当重发次数超过限定次数或者超过多长时间没有收到，判定通信失败。B则可等待接收，当过限定时间没有收到，可以让A重发，当超过设定次数判定通信失败。主从设备符合一定的软件逻辑就可以让设备通信效率大大提高。

### 4 结语

多通道高速采集卡作为地铁运行监测系统的底层核心设备，高标准、高要求的设计方案，解决了现有监测系统中采集卡，成本高、采样精度低、速率慢和尺寸大等负面问题；已其长期稳定的运行状态，超强的价格优势得到了客户的认可，已然成为监测系统中硬件部分一大亮点。

### 参考文献：

[1]陶玉凤.铁路信号微机监测的发展方向[J].科技创新与应用.2021,11(21):128-130.  
 [2]张惠.铁路运行中铁路信号微机监测系统的应用分析[J].设备管理与维修.2021,(02):97-98.

[3]刘万兵,刘海军,曹勇,卢超,董佳壮.基于STM32的信号采集卡设计[J].电子设计工程.2022,30(18):103-109.

[4]顾俊杰,常潇倩,孟紫腾.基于FPGA的多通道隔离型数据采集卡设计与实现[J].信息技术与信息化.2022,5:54-58.

[5]王鲍,张雄杰,胡斌,夏侯命栋,李东.高精度AD采集卡性能测试及评价方法研究[J].中国测试.2022,48(2):135-140.

[6]李东,崔文超,郭瑞民,董贺伟.基于FPGA的电压信号采集卡研究[J].仪表技术与传感器.2021,6:123-126.

[7]肖美妍.列车车载电源质量监测系统的研究[D].北京:北京交通大学,2021.

[8]吴风浪.基于高精度采集卡的医院机房供电监控系统设计[J].信息技术2021,3:59-65.

[9]陈俊.基于PCIe3.0的高速数据采集与传输系统设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2020.

[10]王莎莎,黄新阳,巩明超.航空嵌入式计算机高速PCB设计[J].软件研发与应用.2022,8:29-31.

[11]沈小其,何勇.基于ARM和FreeRTOS的剑杆织机主控系统设计[J].制造业自动化.2021,43(12):70-73.

[12]刘建军,任晓瑞,邸海涛,郭秋丽.一种组件化的硬件任务管理方法[J].航空计算技术.2022,52(4):117-120.

[13]丁宇涛.基于FPGA的μC/OS-II操作系统任务调度算法的研究与实现[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2022.

[14]刘丹丹,韩奕,刘翔宇,谢镛镛,王靖翔,杜彦辉.基于WiFi数据帧特征智能家居识别方法[J].计算机工程与应用.2022,9:1-8.

[15]赵桥,韩文俊,李路野.嵌入式系统并行架构下的时序数据帧排序方法[J].信息技术与信息化.2022,6:69-72.