

国产化转速测量装置的研制

荣宏伟^{1,2}

(1. 核工业理化工程研究院; 2. 粒子输运与富集技术全国重点实验室, 天津 300180)

摘要:针对现有转速测量装置核心芯片依赖进口、硬件设计复杂、功耗较高等问题,研制了一种集信号采集、测量、显示于一体的转速测量装置,主要包括主控模块、供电模块和显示模块,通过对各模块的国产芯片选型、测试与考核,实现其核心芯片 100% 国产化设计,解决了进口芯片管控限制、采购困难的问题,并针对该转速测量装置提出了一种低功耗管理机制,装置可根据当前运行状态进行模式切换,自动运行至最佳的功耗管理状态,以降低整功耗。测试表明,与现有技术相比,该转速测量装置整机功耗降低了 42.5%, 单次充电续航达到 14.5 小时。

关键词:转速; 国产化; 低功耗

中图分类号: TH-3; TP273

文章编号: 1000-0682(2025)02-0064-05

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.02.012

Development of a domestically produced speed measurement device

RONG Hongwei^{1,2}

(1. Nuclear Industry Physical and Chemical Engineering Research Institute, Tianjin 300180, China;

2. National Key Laboratory of Particle Transport and Separation Technology, Tianjin 300180, China)

Abstract: A speed measurement device that integrates signal acquisition, measurement, and display was developed to address the issues of the existing speed measurement device's core chip dependence on imports, complex hardware design, and high power consumption. The device mainly includes a main control module, a power supply module, and a display module. Through the selection, testing, and assessment of domestic chips for each module, the 100% localization design of its core chip was achieved, solving the problems of import chip control restrictions and procurement difficulties. A low-power management mechanism was proposed for the speed measurement device, which can switch modes according to the current operating status and automatically operate to the optimal power management state to reduce overall power consumption. Tests have shown that compared to existing technologies, the power consumption of the speed measurement device has been reduced by 42.5%, achieving a single charging range of 14.5 hours.

Keywords: rotational speed; localization; low power consumption

0 引言

转速测量装置是旋转机械及商用工厂的重要配套设备之一,其功能是对特定旋转机械的转速进行监测,为旋转机械性能评估、风险判断和故障分析提供准确的数据信息^[1]。虽然目前已经研制了技术相对成熟的转速测量装置,但该型装置以进口微处理器和 CPLD 为核心处理器件。在当前国际背景下

进口电子元器件存在管控限制、敏感信息泄露等问题^[2]。此外,这款装置是通过锂电池供电的便携式产品,由于其外设电路复杂,且缺少科学的低功耗管理机制,使得装置耗电量大、单次充电续航时间较短,在某些特殊场合无法适用。因此,亟需研制一款国产化、低功耗转速测量装置以满足生产试验需求。

1 系统构成

转速测量装置由主控单元、显示单元和供电单元三部分组成,结构框图如图 1 所示。主控单元主要完成信号采集、整形滤波、存储运算和数据通讯功能;显示单元用于人机交互,通过触摸屏完成数据显

收稿日期: 2024-07-09

第一作者: 荣宏伟(1990—),男,硕士研究生,工程师,主要从事自动化仪表研发设计工作。E-mail: 1471669021@qq.com

示、参数设置和状态报警;供电单元负责其他单元模

块供电,具体如下。

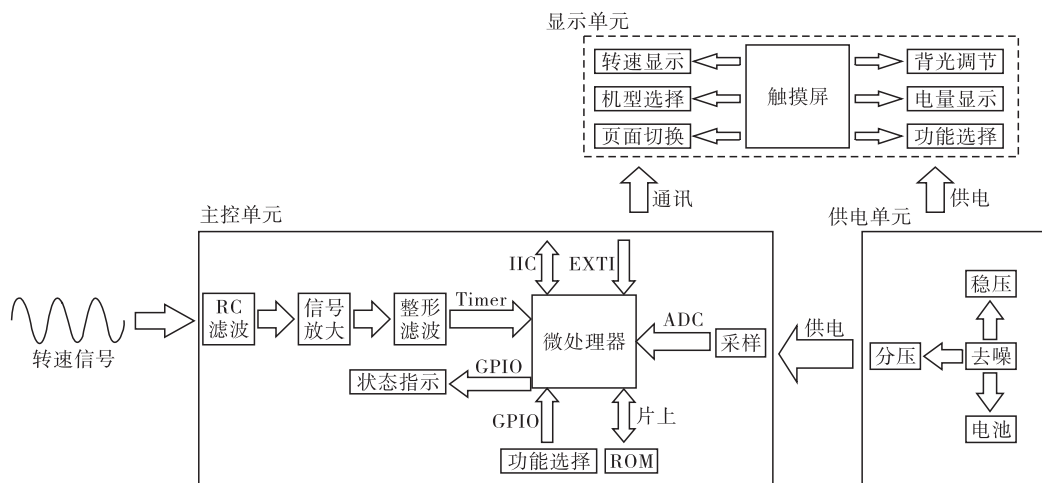


图1 整体结构框图

主控单元由 RC 滤波电路、信号放大电路、整形滤波电路、状态指示电路、功能选择电路、ROM 存储电路、电池电量采样电路和微处理器八部分组成。其中,RC 滤波电路、信号放大电路与整形滤波电路负责对旋转机械的输出信号进行处理,将旋转机械输出的类正弦信号转换成频率相同的方波信号,并输入到微处理器的输入捕获(Timer)接口,微处理器根据方波捕获情况完成转速运算;状态指示电路通过 LED 灯指示当前工作状态。其中,LED 点亮表示转速测量完成,LED 闪烁表示转速正在测量中;功能选择电路通过按键进行输入,微处理器通过判断 GPIO 接口电平状态执行相应的功能。ROM 存储电路负责装置关键参数的存储,具备掉电保存功能,装置每次开机无需重新设置被测机型、背光亮度等参数,方便用户使用;电池电量采样电路负责电池电压的采集、处理并输入到微处理器的 ADC 接口,微处理器根据接口电压值完成电量换算;此外微处理器集成 I²C 接口和外部中断(EXTI)接口,用于与触摸屏的数据交互。

显示单元由数据显示界面和参数设置界面两部分组成,参数显示界面用于转速、机型、电量等关键数据的显示;参数设置界面用于触摸屏背光亮度、被测机型设置。在显示单元参数设置完成以后,微处理器会收到来自触摸屏的外部中断信号,并在该中断函数中完成设置参数的读取。

供电单元用于主控单元和显示单元的供电。在电池放电过程中,先进行降噪处理。降噪后的电压一路通过采样电阻分压处理,并将处理后的电压输入到微处理器完成电量采集;另一路电压输入到稳压芯片,转换成稳定的电平给其他各单元模块供电。

装置用到的关键元器件如表 1 所示。

表1 主要原器件列表

	关键元器件	功能
主控单元	微处理器	运算和控制的核心
	运算放大器比较器	被测信号整形滤波
显示单元	触摸屏	人机交互设计
电源管理单元	稳压芯片电池	电池充放电管理

2 国产化设计

2.1 国产微处理器

受中美贸易争端影响,国产微处理器厂商飞速发展。其中以兆易创新、湖南进芯电子、华大半导体系列芯片为代表,各厂商微处理器性能对比如表 2 所示。

由表 2 可知,进芯电子 AVP32 系列微处理器采用 DSP 架构,最高主频高达 180 MHz,具有高存储空间和高速浮点运算能力,但这类产品通常用于汽车电子、复杂的工业产品中,在低功耗、便携式手持设备中并不适用。兆易创新的 GD32 系列微处理器为 40 nm 级工艺,性能优越、功耗最低,但这款芯片为兆易创新推出的最新一款超低功耗芯片,缺乏大规模的应用验证,可能存在潜在风险而影响开发进度。HC32 系列微处理器是华大半导体推出的一款超低功耗 MCU,在正常工作模式下功耗为 130 μ A/MHz,通过 3.3 V 供电,最高主频 24 M,具有丰富的外设接口,满足转速测量装置功能需求,且技术相对成熟,已经过市场大规模测试应用,如西安胜利仪器有限公司已经通过这款芯片开发出了成熟的产品,在国内已经规模化应用。因此该设计以华大 HC32 系列微处理器进行转速测量装置的开发。

表 2 国产微处理器性能对比

厂商	型号	架构	功耗	性能特点	应用领域
兆易创新	GD32 系列	ARM	66 $\mu\text{A}/\text{MHz}$	最高主频 64 M 3.3 V 供电 64 KB Flash16 KB SRAM 支持 I ² C、ADC 等接口	便携式设备
进芯电子	AVP32 系列	DSP	580 $\mu\text{A}/\text{MHz}$	最高主频 180 M 3.3 V/1.8 V 供电 2 M \times 16 Flash 34 K \times 16 SRAM 支持 I ² C、ADC 等接口	工业化产品 汽车电子
华大半导体	HC32 系列	ARM	130 $\mu\text{A}/\text{MHz}$	最高主频 24 M 3.3 V 供电 64 KB Flash 8 KB SRAM 支持 I ² C、ADC 等接口	便携式设备

2.2 运算放大器与比较器

装置通过运算放大器和比较器搭建整形滤波电路,将旋转机械输出的类正弦信号转换为微处理器可识别的方波信号,转换原理如图 2 所示。

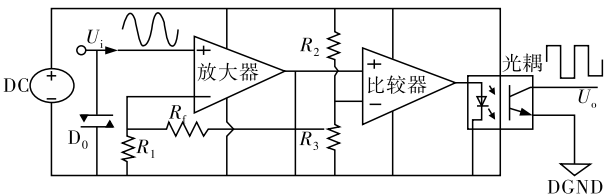


图 2 整形滤波电路原理图

由图 2 可知,输入信号 U_i 经瞬态二极管 D_0 进入放大器。 D_0 的功能是将输入信号 U_i 钳位在 $\pm 0.7\text{ V}$ 之间,防止旋转机械输出的瞬间高电压烧毁后端电路,运算放大器负责将输入信号 U_i 放大,实现装置对微弱信号的检测,放大后的信号与 R_2/R_3 分压电路的输出电压进行比较,比较器根据比较结果输出相同频率的方波信号,并输入到微处理器输入捕获接口完成转速计算,光耦用于模拟地与数字地的隔离。

运算放大器采用上海贝岭公司的运算放大器,该放大器是一款具有高输入阻抗、极低功耗的运算放大器,不仅可以有效降低功耗,同时能够提供足够的驱动电流。比较器采用深圳圣邦微电子科技有限公司的电压比较器,它是一款双电压比较器集成电路,可通过单电源 ($2\sim 36\text{ V}$) 或双电源供电 ($\pm 1\sim \pm 18\text{ V}$),正常工作电流只有 4 mA ,转换速率 $\geq 100\text{ MHz}$,满足装置电平转换要求。

2.3 触摸屏

该设计转速测量装置采用广东宏达科技有限公司 H28 系列触摸屏,该型触摸屏基于 K600 + 内核进行设计,厂家提供了完善的 GUI 方案,包括按钮、文

本动态图标、图形、曲线、列表和输入法等控件,集成了 RTC、背光亮度调节、文本滚动等功能,具体参数如表 3 所示。

表 3 触摸屏技术参数

基本参数	
触摸类型	电容触摸屏
背光调节	0 ~ 100
通讯接口	IIC
工作温度	-20 ~ 70 $^{\circ}\text{C}$
显示比例	4:3
显示参数	
显示类型	TFT/LCD
分辨率	1024 \times 768
色彩	24 位 RGB
电气参数	
额定功率	<0.2 W
工作电压	2.7 ~ 5 V

2.4 稳压芯片与电池

该设计采用深圳振邦微科技有限公司的 AH53 系列 LDO 稳压芯片,能够稳定工作在 $1\sim 35\text{ V}$ 的输入电压范围内,对于不稳定的输入电压具有较好的稳压效果。电池采用大佳满溢科技有限公司 103450 系列电池,这款电池性能优良,充电电压 $4.2\sim 5\text{ V}$,输出电压 3.7 V ,容量 2000 mAh ,可为装置提供较大的电量和稳定的输入电压。

3 低功耗设计

3.1 低功耗器件选型

选用低功耗电子元器件是降低整机功耗的关键举措。在装置微处理器、触摸屏、运算放大器和电压比较器等硬件选型过程中均采用低功耗电子元件,这类电子器件在功耗管理方面通常有更科学的管理

机制,对于降低整机能耗,延迟装置待机时间具有更大的优势。

3.2 低功耗运行机制

HC32 系列微处理器有睡眠模式、停止模式和待机模式 3 种低功耗模式,设计过程中,需要将装置运行状态与低功耗模式结合起来,在不同状态下选择最佳的休眠唤醒机制,从而实现科学的功耗管理,具体如下:

睡眠模式与工作模式切换:装置通过操作触摸屏实现转速测量、参数设置等功能。当装置在转速测量或电量采集过程中,会有较多的延时等待时间。该设计将传统的延时函数通过定时器中断来替代,即当延时开始时,微处理器开启定时器中断,同时进入睡眠模式,当定时器计时完成后延时结束,同时睡眠模式被唤醒,而实现装置延时等待过程中的休眠。

停止模式与工作模式切换:当完成转速测量时,装置进行转速存储并进入停止模式,等待连接外部中断的按键按下后,停止模式被唤醒,装置进行下一次转速测量,从而实现装置停止测量中的休眠。

待机模式与工作模式切换:当装置进入参数设置界面后,即当微处理器收到触摸屏下发的参数设置指令后,直接进入待机模式,功耗最低,当参数设置完成后装置从待机模式唤醒,进入正常工作模式,从而实现装置在参数设置过程中的休眠。

在实际运行过程中,装置通过这种轮询切换的方式达到降低整机功耗的目的,装置低功耗管理流程图如图 3 所示。

3.3 外围电路节能

外围电路是造成装置能量损耗的关键因素。将原本复杂的外围电路整合在一起,集成到微处理器

片上,不仅可以减少外围器件数量、降低设计成本,而且可以降低整机功耗。

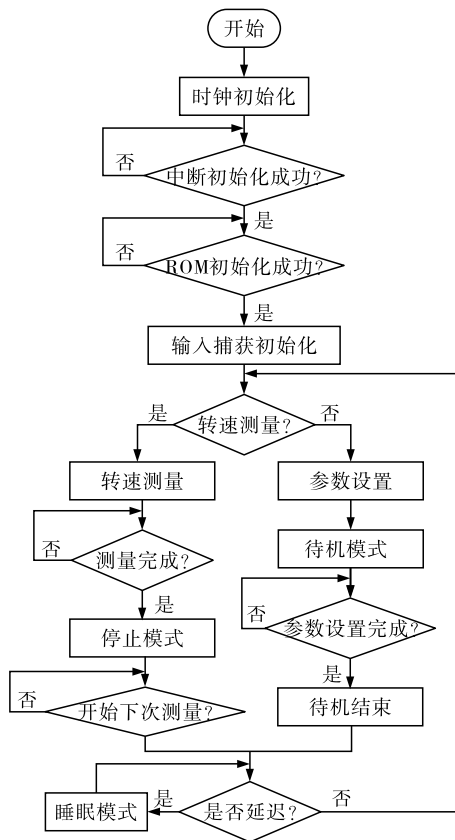


图 3 低功耗管理流程图

转速测量装置外设电路相对复杂,如果存储电路、信号处理电路、看门狗电路、EEPROM 存储电路、模数转换电路、基准电压电路均通过外扩芯片来实现,会大大增加系统能耗,该设计通过整理装置外设功能和 MCU 性能指标,将复杂的外围电路集成在微处理器内部,通过减少外围器件而降低整机功耗,具体如表 4 所示。

表 4 微处理器片上功能列表

序号	硬件功能	现有装置片上外设	原有装置所用芯片
1	硬件看门狗	10 kHz WDT	ST 系列看门狗芯片
2	EEPROM 存储器	64 KB Flash	AT24Cx 系列存储器
3	基准电压芯片	内置 1.5 V/2.5 V 基准电压	REF30xx 稳压芯片
4	模数转换器	12 位 1 Msps SAR ADC	AD9xx 系列 A/D

由表 4 可知,微处理器具有 10 kHz 的片上看门狗、64 KB 的 Flash 存储器、1.5/2.5 V 的内置基准电压源和 12 位 1 Msps 的模数转换器,通过合理调用这些外设功能可以省去大量的外设电路搭建,从而降低整机能耗输出。

4 测试

4.1 国产芯片性能测试

国产芯片性能测试主要是针对第 3 节所选的国产微处理器、触摸屏和通过国产运算放大器、比较器搭建的整形滤波电路进行测试。其中,在国产微处理器、触摸屏测试过程中,将满电的转速测量装置开

机运行,每间隔 1 小时进行一次转速测量、参数设置、页面切换、电量检测、机型选择等全功能测试,记录检测结果如表 5 所示。

表 5 国产元器件功能测试

序号	电量/%	转速测量	参数设置	机型切换	页面切换
1	100	合格	合格	合格	合格
2	96	合格	合格	合格	合格
3	90	合格	合格	合格	合格
4	82	合格	合格	合格	合格
...
n	0	合格	合格	合格	合格

由表 5 可知,在装置整个放电过程中,微处理器、触摸屏各项功能指标均满足要求,性能可靠,不存在触摸屏死机、程序“跑飞”、参数测量异常等现象,能够满足装置设计需求。

4.2 低功耗测试

取 2 台装置做对比实验,取下装置电池,通过外接 DC 3.7 V 稳压电源供电,将装置分别切换至转速测量模式、参数设置模式和停止测量模式,记录不同模式下功耗变化情况,测试结果如表 6 和图 4 所示。

表 6 不同模式下功耗记录表

模式	低功耗方案/W	未加低功耗方案/W
转速测量模式	0.52	0.82
	0.49	0.83
	0.51	0.81
	0.37	0.79
参数设置模式	0.36	0.85
	0.38	0.82
	0.42	0.81
	0.43	0.79
停止测量模式	0.41	0.82

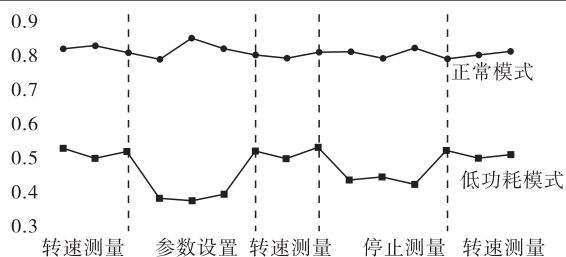


图 4 不同模式下功耗变化曲线

由图 4 可知,如果不加低功耗方案,装置整机平均功耗 P_0 约 0.80 W,增加低功耗方案后整机平均功耗 P_r 仅有 0.46 W,降低了 42.5%,该低功耗管理方案可以有效的降低整机功耗。

测试仪选用的电池容量 P_0 为 2000 mAh,额定

输出电压 V_0 为 DC 3.7 V,转换效率 λ 为 90%,单次充电总能量 ω 为:

$$\omega = P_0 \times V_0 \times \lambda = 6.66 \text{ Wh}$$

根据电池总容量 ω 和测试仪平均功耗 P_r 可知,测试仪单次充电续航时间 H 为:

$$H = \omega / P_r = 14.5 \text{ h}$$

即,每次充完电测试仪可以不间断测量 14.5 个小时。

5 结论

针对现有转速测量装置的不足,研制了一种集转速采集、测量、显示于一体的便携式测量装置。通过对显示模块、主控模块和供电模块的国产芯片选型、测试与考核,实现其核心芯片 100% 国产化设计,解决了进口芯片管控限制、采购困难问题,并根据国产微处理器特性和整机功能要求,通过进一步优化硬件外设、轮询切换运行状态,实现测速装置运行模式的自动切换,将不同运行状态下微处理器的低功耗管理机制发挥至最佳状态,使得整机功耗降低了 42.5%,达到单次续航 14.5 小时。

参考文献:

- [1] 张淦,王海彬,黄媛婷,等. 引信微弱信号降噪算法[J]. 探测与控制学报, 2023, 45(02): 1-10.
- [2] 陈皓,米海波,王一婷,等. 一种信号处理电路传导抗扰测试分析[J]. 电子制作, 2023, 31(05): 101-105.
- [3] 魏莉,杜锦铭,包伟华. 1151 压力变送器信号处理板老化测试装置设计与开发[J]. 中国仪器仪表, 2022(08): 74-78.
- [4] 周登科,杨颖. 基于深度学习的指针式仪表倾斜校正方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2020, 32(12): 1976-1984.
- [5] MA Z, HUANG Q, XU Q, et al. Permeable superelastic liquid-metal fibre mat enables biocompatible and monolithic stretchable electronics[J]. Nat Mater, 2021, 20(6): 859-868.
- [6] LIU L, LU Y, ZHUANG X, et al. Noise analysis in pre-amplifier circuits associated to highly sensitive optical-pumped magnetometers for geomagnetic applications[J]. Applied Sciences, 2020, 10(20): 7172.
- [7] LEE J, MIN K, RYU K, et al. Space plasma detectors on NEXTSat-1 for ionospheric measurements[J]. Journal of the Korean Physical Society, 2018, 72(11): 1393-1401.