

一种低功耗高精度数显扭矩测量系统设计*

李继超 陈超波 张海宁

(西安工业大学电子信息工程学院 西安 710021)

摘要: 针对便携式数显扭矩测量系统的功耗及精度问题,设计了一种具有低功耗、高精度的便携式数显扭矩测量系统。系统采用了内部具有16位ADC(SD16)的超低功耗单片机MSP430F425为核心,优化设计了测量模块外围电路及高质量电源电路,保障了系统的高测量精度;同时增设了零功耗RS232通信电路,运用间歇性供电的软件管理模式,有效降低了系统的运行功耗。实验结果表明,系统在低功耗模式下,最大工作电流不超过 $3\mu\text{A}$;测量相对误差小于3%。有效地延长了电池的使用寿命,提高了系统的测量精度。

关键词: 扭矩测量;低功耗;高精度;电源管理

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

Design of low-power consumption and high-precision measurement system of digital torque

Li Jichao Chen Chaobo Zhang Haining

(School of Electronics Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: For the power consumption and accuracy in the measurement system of portable digital torque, a low-power consumption and high-precision measurement system of portable digital torque is designed in this paper. On the basis of MSP430F425 micro-controller, using as the core with MSP430F425 micro-controller which contains 16-bit ADC, the peripheral circuit of measurement module and high-quality power circuit are optimized and designed, which ensures high measurement accuracy of the system; Meanwhile, that zero-power RS232 communication circuit is designed working with software management mode of intermittent power reduces operational power consumption of the system. Experimental results show that maximum working current of the system is no more than $3\mu\text{A}$ when it is in the low-power mode; the relative-error of measurement is less than 3%. The design extended battery life effectively and improved measurement accuracy of the system.

Keywords: measurement of torque; low-power consumption; high-precision; power management

1 引言

数显扭矩测量系统是从传统的机械设计转向数字电路和程序设计的一种智能仪器^[1]。在设备维修及加工组装行业中,保证机械设备的可靠联接和正常使用。

国内目前已有数家公司具备设计和生产的能力。由中航工业东方仪器厂生产的SNB数显扭矩扳手,代表了国内生产厂家的设计生产水平^[2]。SNB数显扭矩扳手,采用微处理器数字化处理技术,核心是应变计传感器。国外数显扭矩扳手的应用已非常广泛。具备测量范围广、稳定性高、抗干扰能力强、功耗低、精度可达

$\pm 1\%$ 等特点^[3]。但价格昂贵,使其难以在国内广泛应用。

将以16位超低功耗MSP430F425单片机为核心,采用压力桥式传感器,通过设计系统的总体框图,进一步设计低功耗的测量电路及零功耗RS232通信电路,并通过软件编程来实现低功耗的电源管理。设计可靠、稳定的高质量输入电源,充分利用单片机内部集成的PGA及SD16模块,完成高精度的测量。

2 系统总体方案设计

数显扭矩测量系统由模拟部分和数字部分组成,模拟

收稿日期:2015-01

* 基金项目:陕西省工业科技攻关计划(2014K06-40)项目

部分主要是对数据的采集及电池电量的实时监测;数字部分包括系统各种参数设置、LCD显示、报警及与系统上位机进行通信。系统总体设计如图1所示。

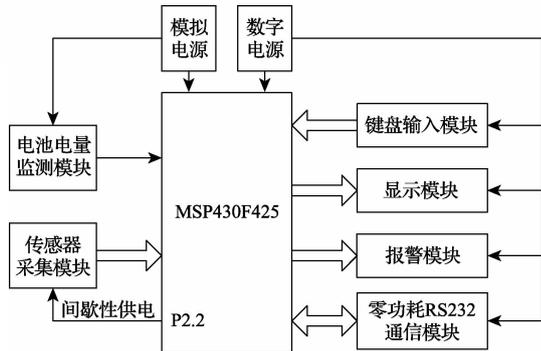


图1 系统总体设计

系统工作时,首先由传感器进行数据采集,输出的电压信号经A0通道进入单片机,经内部PGA放大后,在SD16模块对放大信号进行采样然后转换成数字信号,由单片机经过滤波及量纲转化后,得到相应的扭矩值,最后通过段式LCD显示出来。当扭矩值超过上限或电池电量到达下限的时候,则进行声光报警。上限报警值及电池电量下限值通过软件设置,工作参数及标定参数则由键盘输入模块进行预先设置。检测后的数据通过零功耗RS232通信模块与上位机进行通信。

3 系统的低功耗设计

3.1 微处理器低功耗设计

就微处理器的功耗而言,在不影响系统性能的情况下,采取2种方法来有效降低系统的功耗^[4-5]:1)选用较低的工作电压;2)降低工作频率,合理选择和控制时钟频率。

MSP430F425单片机工作电压范围为1.8~3.6V,其他外设的工作电压:三色灯2.9~3.4V、直流震子3.0V、蜂鸣器3.0V,综合功耗及成本的考虑,利用2节普通1.5V干电池串联为整个系统提供3.0V电压。

从低功耗的角度看,应选择较低的时钟频率;而在ADC周期性采样及通信时,为了快速响应、并提高处理器对数据的处理速度,需要高频时钟。为同时满足以上2个要求,在CPU外部使用一个32.768kHz的钟表晶体振荡器生成辅助时钟ACLK,能够保证一些低频率应用场合的要求;同时,CPU内部使用结合数字控制振荡器DCO的FLL技术,将ACLK倍频升高,作为系统的主时钟MCLK。

3.2 测量模块低功耗设计

3.2.1 测量模块硬件低功耗设计

在测量电路中,压力桥式传感器内阻为1kΩ,3V电池供电时耗电3mA。若不对其电源进行控制,就传感器而言,14天可将2节500mA·h的电池电量耗尽。因此将传感器的激励电压由AV_{CC}改为P2.2口,通过控制P2.2口的电平高低即可控制传感器的电源间歇性的开启,从而降低传感器功耗,如图2所示。

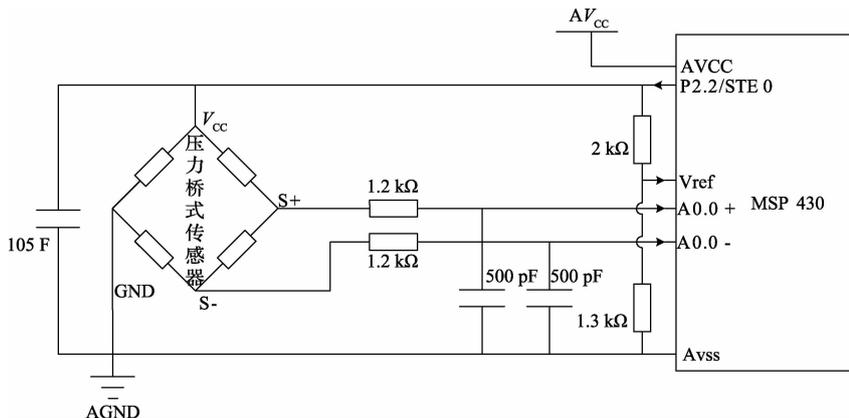


图2 低功耗、高精度数据采集电路

3.2.2 测量模块软件低功耗设计

系统上电后,进入初始化程序,包括单片机的初始化、LCD液晶初始化等。初始化完成后,程序即进入无限循环的状态。对于扭矩测量系统来说,系统的工作过程就是不断地测量、不断的显示的过程。转入主程序后,开启中断,配置晶振,系统进入低功耗模式LMP3,基本定时器每

0.5s中断一次,以此进行测量和显示程序。在测量程序中要完成的子程序有A/D转换器模块操作程序、数字滤波程序、超限判定、低电压判断以及Flash读写程序,最终得出显示值,每次需时间30ms,完成后立即关闭各功能模块,同时进入LMP3状态,以节省功耗,以此方式无限循环^[6]。

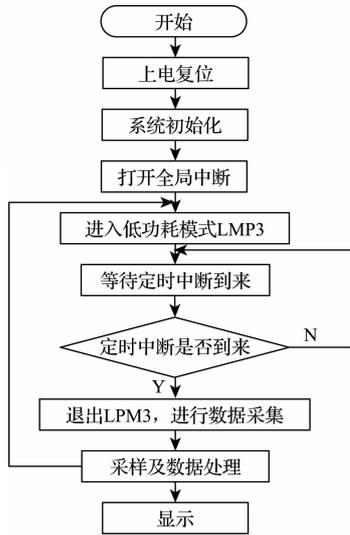


图3 低功耗数据采集软件流程

在每个循环过程中,基准源、ADC、CPU 3 个部分功耗至少 $900 \mu\text{A}$, LCD 显示功耗 $3 \mu\text{A}$, 传感器 3mA , 若连续地采集, 平均功耗为: $I = (900 \mu\text{A} \times 500 \text{ms} + 3 \mu\text{A} \times 500 \text{ms} + 3000 \times 500 \text{ms}) / 500 \text{ms} = 3903 \mu\text{A}$, 且连续地采集反而导致显示数字快速变化, 看不清楚。

在低功耗模式下, 平均功耗为: $I = (3000 \times 30 \text{ms} + 900 \mu\text{A} \times 30 \text{ms} + 3 \mu\text{A} \times 470 \text{ms}) / 500 \text{ms} = 236.82 \mu\text{A}$, 电池的寿命为连续采集时的 16.5 倍。

3.3 零功耗 RS232 通信电路设计

在串口通信中, 为了增加抗干扰能力, 0/1 数据不用 TTL 或 CMOS 高低电平来传输, 而采用 RS232 电平进行数据传输。RS232 电平格式规定 $-3 \sim -15 \text{V}$ 电压表示逻辑 1, $3 \sim 15 \text{V}$ 的电压表示逻辑 0。最常用的 RS232 收发器有 MAX232、MAX3232 等, 是一直保持开启状态的, 不能满足系统的低功耗要求。为此, 设计一种零功耗 RS232 通信电路, 通过电路的自动休眠来降低功耗, 如图 4 所示。

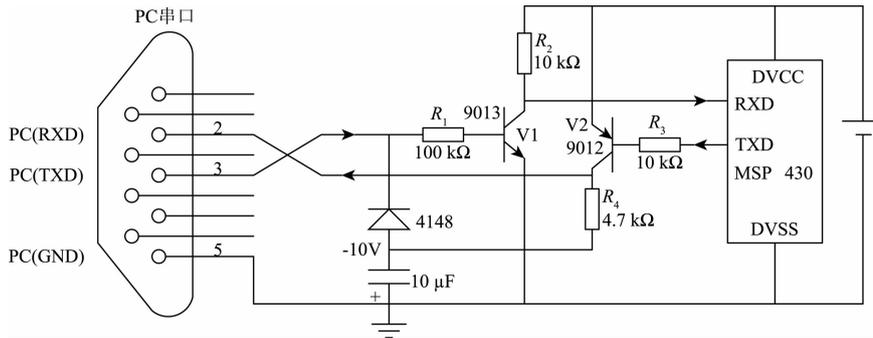


图4 零功耗 RS232 通信电路

当 PC 的 TXD 管脚 (3 管脚) 输出逻辑 1 时, 电压为 -10V , V_1 截止, 单片机的 RXD 管脚被 R_2 上拉为高电平, 实现了计算机发逻辑 1, 单片机收到逻辑 1; 当 PC 的 TXD 管脚 (3 管脚) 输出逻辑 0 时, 电压为 $+10 \text{V}$, V_1 饱和, 单片机的 RXD 管脚被拉低为低电平, 实现了计算机发逻辑 0, 单片机收到逻辑 0。

当单片机的 TXD 输出逻辑 1 时, 电压为 -3V , V_2 截止, 计算机的 RXD 管脚被 R_4 下拉为 -10V , 实现了单片机发逻辑 1, 计算机收到逻辑 1; 当单片机的 TXD 输出逻辑 0 时, 电压为 0 , V_2 饱和, 计算机的 RXD 管脚被上拉为 $+3 \text{V}$, 实现了单片机发逻辑 0, 计算机收到逻辑 0。

该电路只有在通信双方有数据流交换时才会耗电, 当计算机与单片机都不发送数据时, V_1 和 V_2 均截止, 整个电路功耗为 0。

4 系统的高精度设计

在单片机内部, SD16 模块、基准源、PGA 等模拟电路全部使用 AVCC 管脚供电, AVSS 管脚作为参考地。其他数字部分使用 DVCC 管脚供电, 的 DVSS 管脚作为参考地。为防

止数字电源电路的高频干扰进入模拟部分, 影响系统的测量精度, 因此为系统提供两套输入电源^[7], 如图 5 所示。

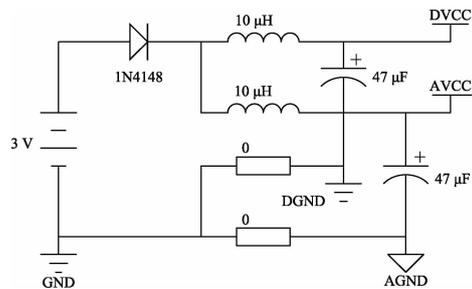


图5 可靠、稳定的高质量的电源电路

传感器输出不仅正比于被测转矩, 并且正比于激励电压, 所以, 激励电压须尽量稳定且准确。如图 2 所示, 从 P2.2 口上分出 1.2V 作为基准源, 从而形成比值测量法^[8], 激励电压变化将导致输出信号和基准源同时发生变化, 两者变化比例相等, 从而完全消除电压的影响, 提高系统的测量精度, 同时也节省了增加稳压电路带来的功耗和成本。

在测量电路中, ADC 采用对称差分输入结构^[9-10], 具

有很强的抗干扰能力,进一步提高测量精度。如需测量负转矩,即反向测量,只要 $A0.0 -$ 高于 $A0.0 +$, 就能测出结果,无需负电源。设置 SD16 时钟为 500 kHz、过采样率 OSR 为 256, 此时,系统可快速响应,且 SD16 模块可达到标称的 16 位有效分辨率。以此,若不考虑传感器本身的误差,系统的测量精度可达满量程的 $1/2^{16}$ 。

5 测试结果分析

5.1 系统功耗测试

在系统工作电压 3.0 V 时,对系统各模块在不同模式下的功耗进行实际测试,功耗测试结果如表 1 所示。

不同模块	活动模式		低功耗模式(LPM3)	
	理论值	实测值	理论值	实测值
	传感器	3	3.07	0
CPU	0.9	0.914	0.001	0.001 98
RS232	54.4	53.12	0	0
LCD	0.003	0.003 5	0	0

由测试结果可以看出,扭矩测量系统在低功耗模式下的总功耗最大不超过 $3 \mu A$,而在活动模式下的总功耗大于 57 mA,通过对系统硬件和软件的改进设计,实现系统间歇性地工作,从而大大地降低了系统功耗,使得 2 节普通 1.5 V 干电池能够连续工作 1 年以上。

5.2 系统精度测试

测量精度是衡量扭矩测量系统的最重要性能指标^[1]。经过多次实验和调试,使扭矩测量系统精度达到最佳。实际测量中,在跟踪模式下,分别对满量程 0~500 N·m 的 10%、20%、40%、60%、80% 及满量程点进行测量,测试结果如表 2 所示。

标准值	左旋		右旋	
	实测值	相对误差	实测值	相对误差
	(N·m)	(%)	(N·m)	(%)
50	50.075	1.50	50.107	2.140
100	100.158	1.58	100.257	2.570
200	200.446	2.23	200.485	2.425
300	299.724	-0.92	300.501	1.670
400	400.536	1.34	400.588	1.470
500	500.571	1.142	501.180	2.360

由表 2 可知,扭矩测量系统精度能够控在 3% 以内,具备很高的使用价值。

6 结论

本文设计的低功耗、高精度数显扭矩测量系统以

超低功耗 MSP430F425 单片机为主控器,选择最优的单片机工作电压及频率,降低了单片机的功耗。通过改变传感器的供电方式、利用单片机的 LMP3 低功耗模式,降低测量模块的功耗。设计了零功耗 RS232 通信电路,该电路在无数据传输时,处于休眠状态,功耗为 0。针对单片机内部的模拟部分和数字部分,设计了可靠、稳定的 2 路系统电源,利用比值测量法及差分输入结构,配合单片机内部 PGA 及 SD16 模块,实现了高精度的扭矩测量。

参考文献

- [1] 宋春华,毛小飞. 数显扭矩扳手的发展前景[J]. 装备制造技术,2011(2):97-99.
- [2] 宋春华,韦兴平. 数显扭矩扳手的研究综述[J]. 机床与液压,2012,40(4):106-108.
- [3] 张胜生. 低扭矩数显扳手的研制[D]. 成都:西华大学,2012.
- [4] 沈晓昱,王晓娜,李文军. 基于 MSP430 的低功耗温度采集报警系统的实现[J]. 工业仪表与自动化装置,2009(3):31-33.
- [5] 井新宇. 超低功耗有源 RFID 温湿度传感标签的设计与测试[J]. 自动化仪表,2012,33(11):51-55.
- [6] 王永超,郭瑞,包贵浩,等. 低功耗有源 RFID 标签设计与实现[J]. 电子测量技术,2010,33(7):30-33.
- [7] 徐立松,李佩玥,葛川,等. 高精度 DA 电路的设计与实现[J]. 国外电子测量技术,2014,33(12):21-25.
- [8] 赵汉宾,和卫星,吕继东,等. 低功耗高精度体温计设计[J]. 计算机测量与控制,2011,19(3):676-678.
- [9] 尹勇生,杨鑫波,邓红辉. 应用于高速高精度流水线 ADC 中的差分参考源[J]. 电子测量与仪器学报,2013,27(12):1043-1049.
- [10] 徐国金,吴健,温家鹏,等. 基于误差分析的电池组高精度测量系统的设计[J]. 仪器仪表学报,2013,34(9):1989-1997.
- [11] 徐进,杨德望,冯成. 扭矩测量装置的研究与实践[J]. 船电技术,2006,25(5):52-55.

作者简介

李继超,1989 年出生,硕士研究生,主要研究方向为单片机控制理论与工程实践。

E-mail 474501989@qq.com

陈超波,1978 年出生,硕士研究生,副教授。主要研究方向为智能控制、多传感器信息融合、计算机控制、复杂网络控制及嵌入式系统。

张海宁,1966 年出生,硕士研究生,副教授。主要研究方向为图像处理、信息处理及其应用技术研究。