



基于 STM 32 的风力发电模拟装置综合实验

王 一, 颜轶涵, 黄星明, 程玉怀

(贵州大学 大数据与信息工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 以 STM32F103C8T6 核心板作为本装置的处理中心, 外接风速、风向传感器进行信息的实时采集; 同时, 也可通过集成的微型碳刷 280 电机采集风速信息与电压信号, 并经单片机 ADC 模块进行模数转换, 实现在较小误差范围内 (风速误差不超过 ± 1.5 m/s, 风向误差不超过 20°) 的信息实时捕获, 并采用 LCD12864 液晶显示屏进行采集信息的显示。同时该电机能够模拟风力发电, 产生高达 20 mA 的电流以驱动红光 LED。整个系统能够通过红外遥控器对采集设备或显示信息进行操作; 能够切换风速采集设备、调整警告方位; 能够显示工作时电流或功率; 能够实现远距离控制系统以及远距离采集所需信息的功能。

关键词: STM32F103C8T6; 风速、风向信息采集; 风力发电

中图分类号: TP2

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20200595

STM32-based Wind Power Generation Simulator Comprehensive Experimental Design

WANG Yi, YAN Yihan, HUANG Xingming, CHENG Yuhuai

(College of Big Data and Information Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The STM32F103C8T6 core board is used as the processing center of this device, and the external wind speed and wind direction sensors collect real-time information. It is also possible to collect wind speed information and voltage signals through the integrated micro carbon brush 280 motor, and perform analog-to-digital conversion through the single-chip ADC module to achieve a small error range (wind speed error does not exceed ± 1.5 m/s, wind direction error does not exceed 20°) of information captured in real time, and LCD12864 liquid crystal display is used to display the collected information. At the same time, the motor can generate wind power, generating a current of up to 20mA to drive the red LED. The whole system can operate the collection equipment or display information through the infrared remote control, can switch the wind speed collection equipment, adjust the warning position, can display the current or power at work, and can realize the long-distance control of system and information collection.

Key words: STM32F103C8T6; wind speed and wind direction information collection; wind power generation

风力发电虽然是较为普及且成熟的一个研究方向, 但其中内部系统可以涉及的电路设计、PCB 板设计、单片机的使用、程序算法的设计编程等相关领域知识内容, 是电子通信方向类本科生的重要课程^[1]。因此风力发电装置较为适合于电子系、通信系的本科学生进行实际操作演练^[2]。尽管于平时的课程教学过程中有相关的讲述与运用, 然而由于较少的课时安排和实践机会的缺少, 学生往往只停留于课本上的理论知识层面和仅限于教材内的学习, 无法拓展思维将知识加以实际化操练^[3-4]。

风力发电装置的核心在于它的发电转换效率与数据的采集显示能否精确^[5]。显而易见, 在相同电机的选择上, 风扇的尺寸选取决定了其接触的风面大小^[6], 风面越大, 能收集到的能量就越多, 进而影响电机能量转换的效率^[7-8]。

本实验综合了本科生的模拟电子技术、单片机原理与应用、MATLAB 与通信仿真等课程内容进行展开, 使学生综合利用各科相关知识, 制造出一个可以测量风速、风向, 同时还能发电的装置。从而达到促进学生学习兴趣, 巩固理论知识, 增强实践能力的目的。

收稿日期: 2020-12-15; 修回日期: 2021-08-27

基金项目: 国家自然科学基金(61564002); 教育部半导体功率器件可靠性研究中心开放项目(ERCMEKFJJ2019-08)。

作者简介: 王一(1989-), 男, 硕士, 高级实验师, 主要从事电子学科实验室教学等方面工作。E-mail: ywang16@gzu.edu.cn

1 系统方案与总体设计

1.1 系统方案

本装置主要由 3 个系统单元组成：数据采集单元、数据处理与输出单元，以及风力发电单元。系统单元采用模块化设计，因此，在系统实现过程中要做到多模块的协调统一性。

在数据采集单元上，由于涉及对风力数据的采集，同时需要输入到数字处理系统，故可使用具备模拟量输出能力的成型传感器。再考虑到成本与测量精度，本装置最终使用了冠拓公司生产的风速、风向传感器^[9]。同时，为便于风力发电与当前风力信息关系的直观展现，可将采集风速的功能集成到发电单元的装置上。从而实现可选择使用内、外两个设备对当前风速信息进行采集的双端口可编程功能^[10]。

整个系统的核心部分是基于 STM32F103C8T6 单片机^[11] 构建的数据处理与输出单元。本单元通过对前一单元(数据采集单元)传递来的模拟量进行数字化操作(即模数处理)；同时，采用串行通信协议，连接一块型号为 LCD12864 的四行液晶显示屏，从而实现数据处理后的输出显示与信息交互功能。

此外，本装置还通过配置红外遥控器件^[12]，该红外遥控器件工作距离最远可达 8 m，可对整个系统进行精确调控的能力。风力发电作为本装置所要模拟及实现的关键要素，其构造至关重要。本系统采用扇叶大小适中的微型碳刷 280 发电机作为发电设备；并连接核心处理器对其输出端进行电压信号采集。由于扇叶的构造，其转动方向是唯一的，故而发电机输出为直流电。因此，只需对电路进行限流保护即可。这一方案实现简单，既能满足题设要求，同时降低能耗，又可留出拓展空间，集成“风速采集”与“风力发电”两大功能。同时，系统设计思路清晰、难度适中并囊括大量电子系、通信系的本科学生的教学知识，可以让学生更好地实践理论知识和锻炼动手能力。

1.2 总体设计

在实物装置的设计上，可构造基于有机玻璃材料的双层立方体形态容器实现整个系统的合理安置与完整体现。整个系统的各单元、模块在其中的布局示意图如图 1 和图 2 所示。

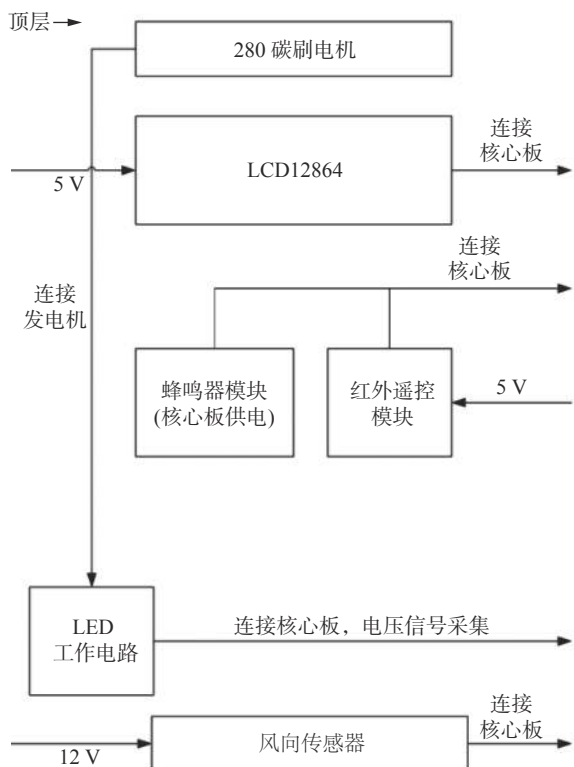


图 1 顶层各单元、模块布局示意图

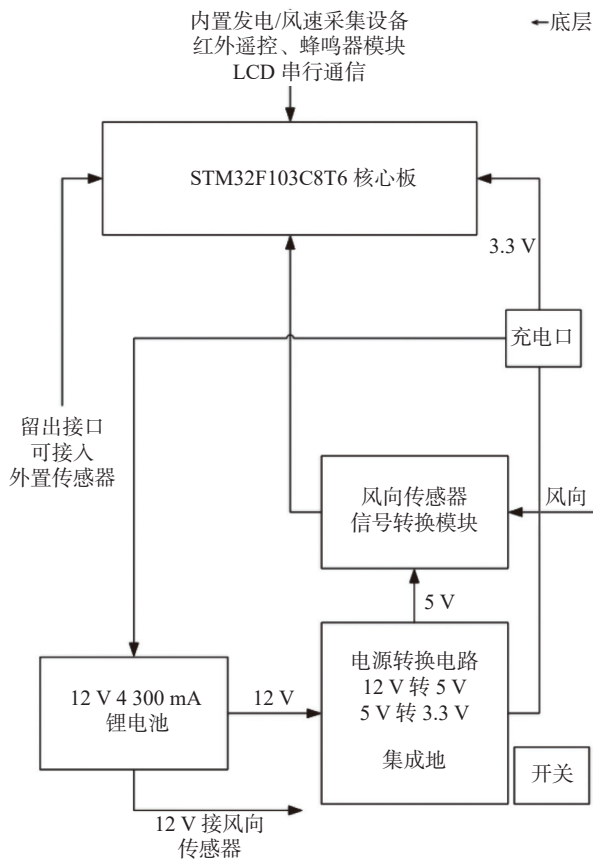


图 2 底层各单元、模块布局示意图

在此设计基础上，调整线路配置，使用热熔胶对亚克力板立方体进行密封契合。同时，考虑

到整体框架的协调性, 以及其物理结构, 从而制作出如图 3 所示的实物装置。



图 3 已完成的装置成品图

2 算法设计与分析

2.1 风向与风速的算法设计

当系统前端单元的风向、风速传感器或集成了风速采集功能的发电设备获取到当前风速信息时, 该信息可被转化为电信号, 该电信号被输入到单片机对应的采集通道。经模数转换(ADC)后, 系统核心处理器可得到当前风向、风速所对应的瞬时电压, 从而进行下一步操作。

在测试环境下, 已测得风力的实际方向与单片机该通道电压采集量的对应关系, 如表 1 所示。

表 1 实际方向与电压采集量对照表

实际方向	电压采集量/V
北	1.75~2.15
北偏东	2.20~2.60
东	2.70~3.10
南偏东	3.10~3.50
南	-0.20~0.20
南偏西	0.30~0.70
西	0.80~1.20
北偏西	1.25~1.65

从图 1 可以显然看出, 风向是可以被数据量化的, 则其输出信号是阶跃的。因此, 只需对采集量进行标识判断, 即可确定当前风向。

而对于集成了采集风速需求的发电设备, 在测试环境下, 通过与风速计实际测量值进行校准比对, 统计出多个有效的“实时风速-实时电压”对应数据(如表 2 所示)。再对数据进行“频率-平均值”“MATLAB 曲线拟合”操作, 得出风速 $C_0(\text{m/s})$ 与该通道电压采集量 $U_0(\text{m/s})$ 的关系为:

$$C_0 = 1.2U_0 - 0.15 \quad (1)$$

或:

$$C_0 = -3.4U_0^3 + 14.8U_0^2 - 19.5U_0 + 9.1 \quad (2)$$

需要注意的是, 当 $U_0 \in [0.97, 1.97]$ 时, 适用于式 (2), 其余则适用式 (1)。如图 4 所示, 由于采用了一阶线性与三阶多项式的共同拟合方式, 从而确保二者对应关系的高度协调统一, 增强了可信度。

表 2 风速与电压对照表(部分)

风速计显示值	电压采集量/V
1.833 600	1.847 267
2.062 500	2.028 560
1.937 670	1.770 796
1.523 800	1.586 936
2.018 027	1.927 356

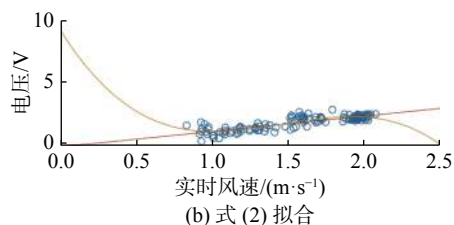
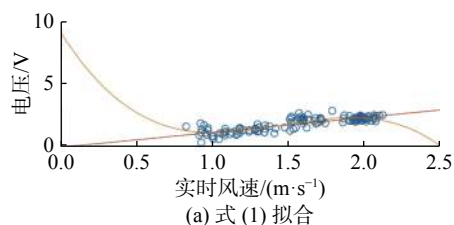


图 4 实时风速与电压采集量的拟合曲线图

类似的, 可获得外置风速传感器采集的风速 $C_1(\text{m/s})$ 与其对应通道电压采集量 $U_1(\text{m/s})$ 的关系为:

$$C_1 = 10.5U_1 \quad (3)$$

2.2 LED 工作电路电流与功率的算法设计

为直观地显示出发电设备的实时工作电流, 还需通过采集 LED 工作电路两端的实时电压信号 $U_2(\text{m/s})$ 。并由欧姆定律与恒压降模型, 计算出 LED 工作电路的实时电流 $I(\text{mA})$ 与功率 $P(\text{W})$ 分别为:

$$I = 100U_2 - 180 \quad (4)$$

$$P = 1.8I_0 + 10I_0^2, I_0 = 10^{-3}I \quad (5)$$

根据此次风力发电装置的设计, 存在着一些风向与风速、电流和功率计算等基础算法设计与实现, 可以让学生对算法有基础的认识与实践, 为以后更复杂的系统设计打下基础。

3 电路与程序设计

3.1 电路设计

如图 5 所示, 整个系统由可充电的 12 V、2800 mA

锂电池供电。考虑到各模块单元所需供电电压不同, 故采用 LM7805、LM1117-3.3 等降压芯片, 设计电源转换电路以迎合不同模块的电压需求。此外, 拓展了单片机地线 I/O 口, 以共“地”连接。

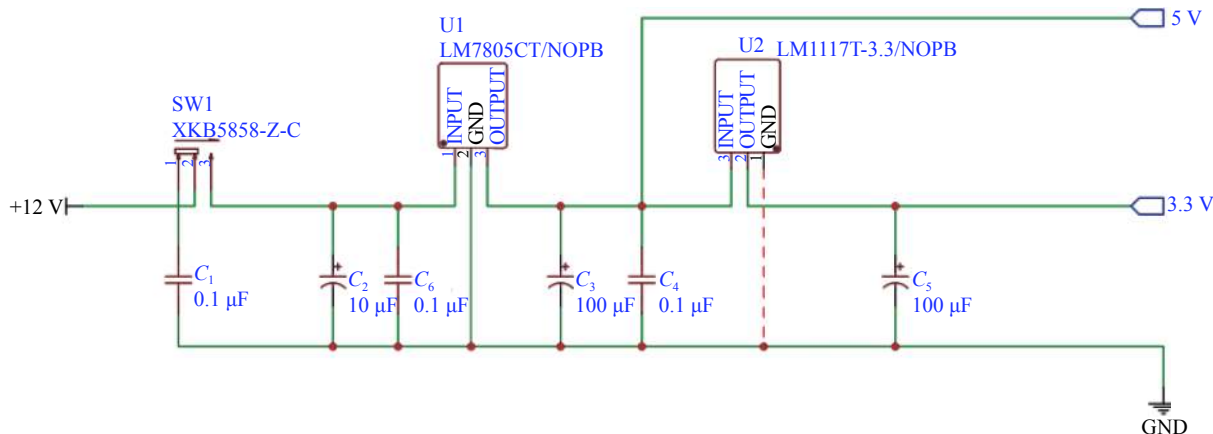


图 5 电源转换电路原理图

STM32F103C8T6 内部自带的 2 个 ADC, 共使用 5 个通道采集电压信号。由于风向传感器输出信号范围在 0~5 V 之间, 而单片机 I/O 一般最大支持 3.3 V 电压测量, 故需接入信号转换模块, 再连接单片机。LED 工作电路会受到发电机的影响, 可进行简单的电路设计作为硬性保护。

此外, 本装置配备了红外遥控模块以及蜂鸣器的报警系统, 并接入单片机 I/O 口, 可实现预设

报警, 以及远距离遥控功能。

如图 5 和图 6 所示, 为整个系统的电路原理图。

STM32F103C8T6 核心板采用 Muse Lab 厂商的设计, 其电路原理图如图 7 所示。

通过杜邦线, 将各单元、模块相连接, 并集成在亚克力板构建的封闭立方体空间内, 如图 8 所示。

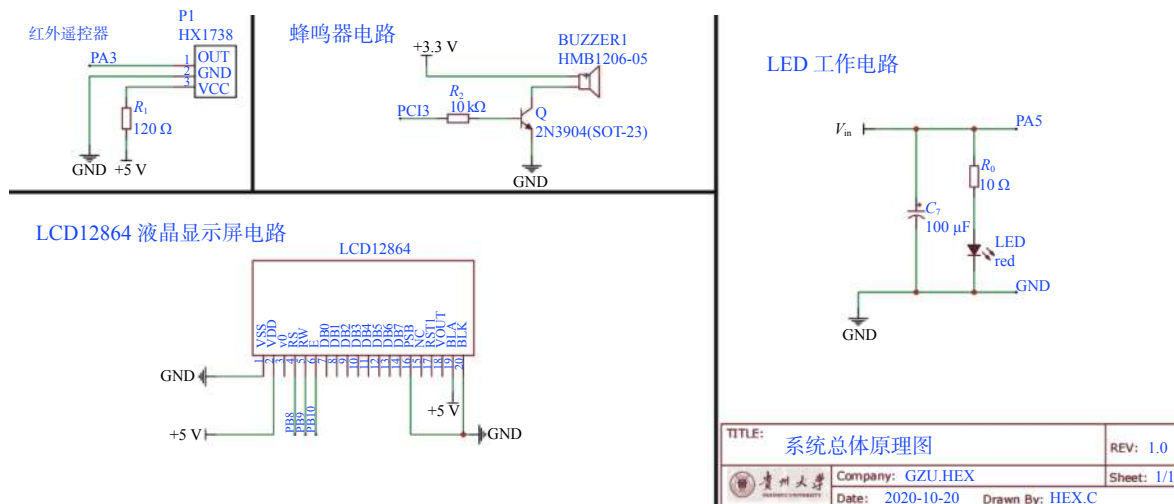


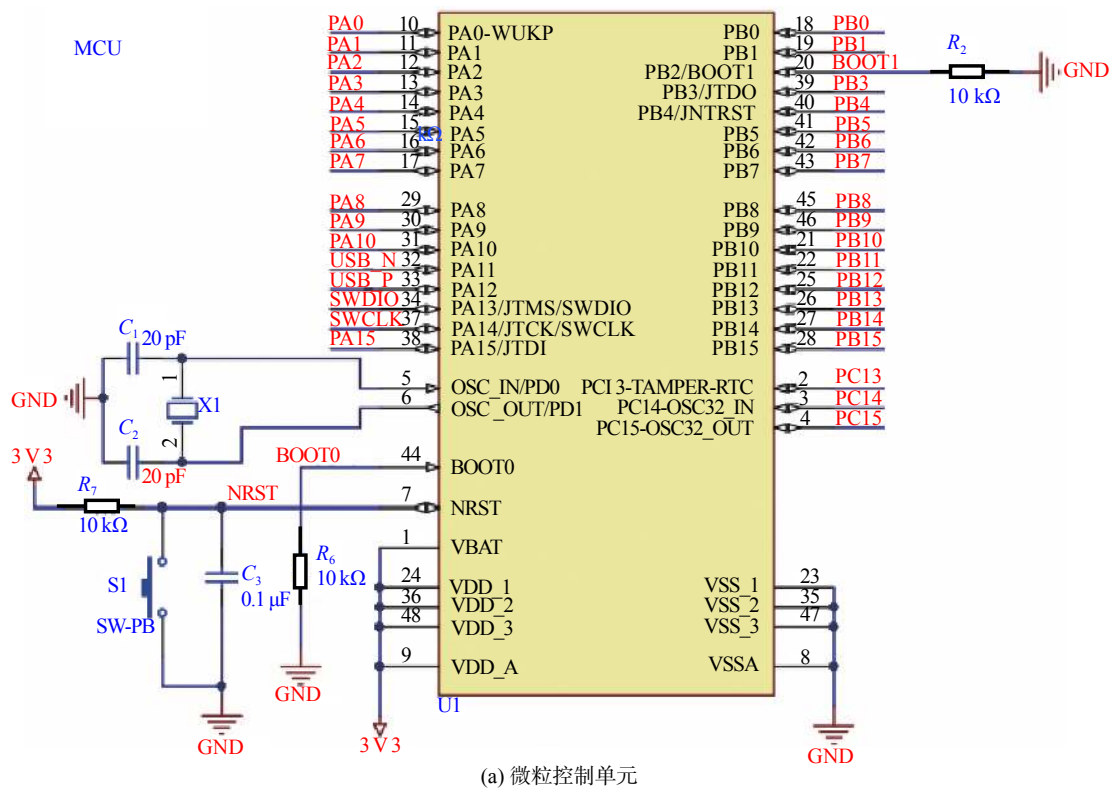
图 6 其余系统电路原理图

3.2 程序设计

程序设计是本装置的核心组成。各单元、模块功能的实现与调控, 以及数据的输入与输出,

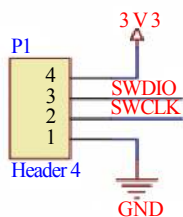
都需要通过单片机进行使能、处理。

利用单片机的中断系统, 可实现数据采集、数据处理与输出单元的需求功能。

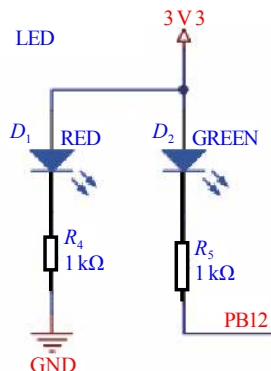


(a) 微粒控制单元

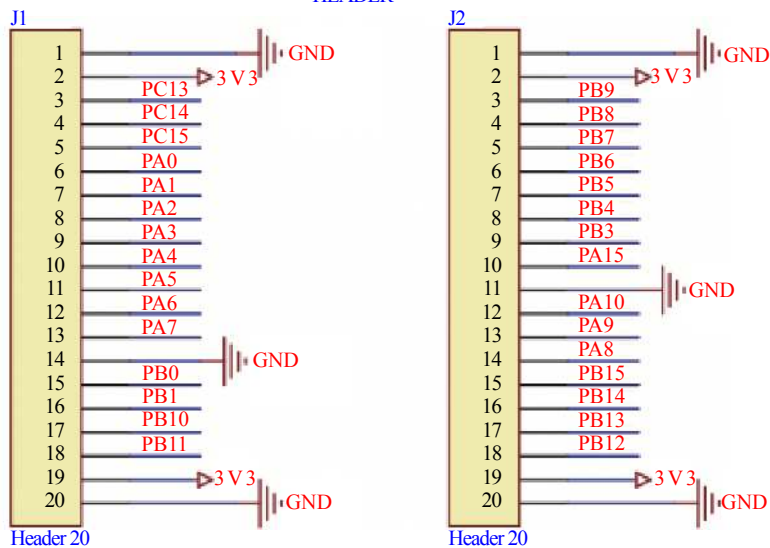
SWD



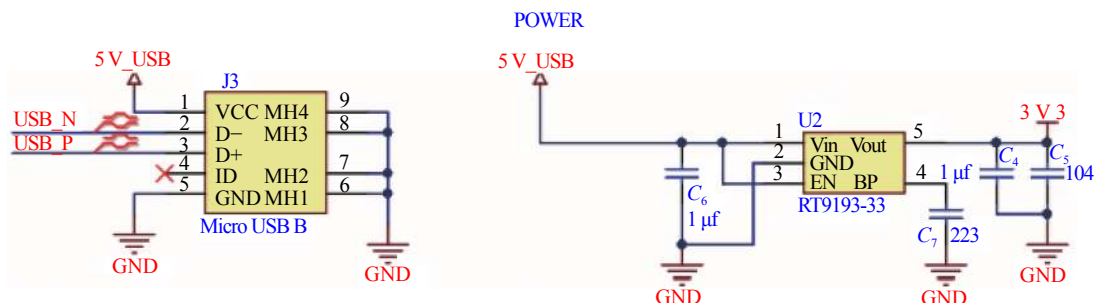
LED



HEADER



(b) 串口、发光二极管、单排针座



(c) 电源

图 7 STM32F103C8T6 核心板的电路原理图



图 8 各模块电路实物相接图

风向自动报警与红外遥控功能的程序框图如图 9 和图 10 所示。

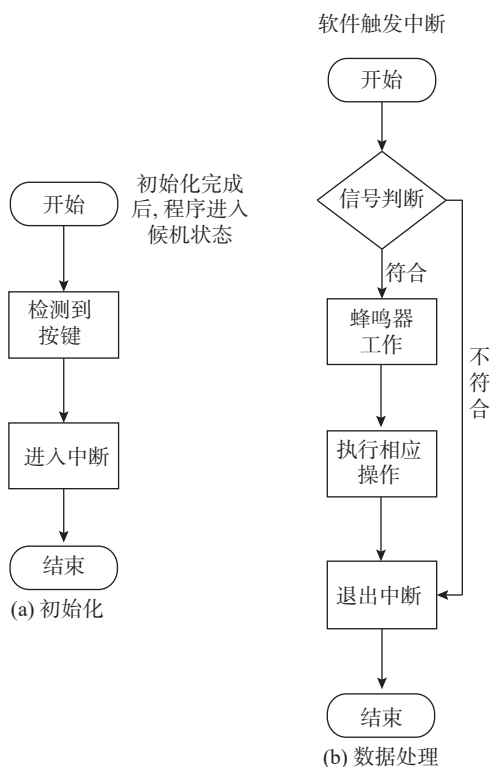


图 9 红外遥控程序结构图

其中, 通用定时器中断系统的 Period 值为 1 500, Prescaler 值为 7 199。红外遥控则采用 NEC 编码进行通信。单片机 ADC 的采集功能使用 DMA

中断实现, 可实时采集电压信号。同时, 程序中还使用系统定时器构建延时函数, 在需求部分实现精准延时。当单片机采集到电压信号或红外信号时, 即可按照相关算法进行数据处理, 并通过串行通信, 将处理后的数据输出至 LCD 液晶显示屏, 实现通过遥控器选择内置或外置风速采集设备、显示功率或电流、设置警告方向的功能。

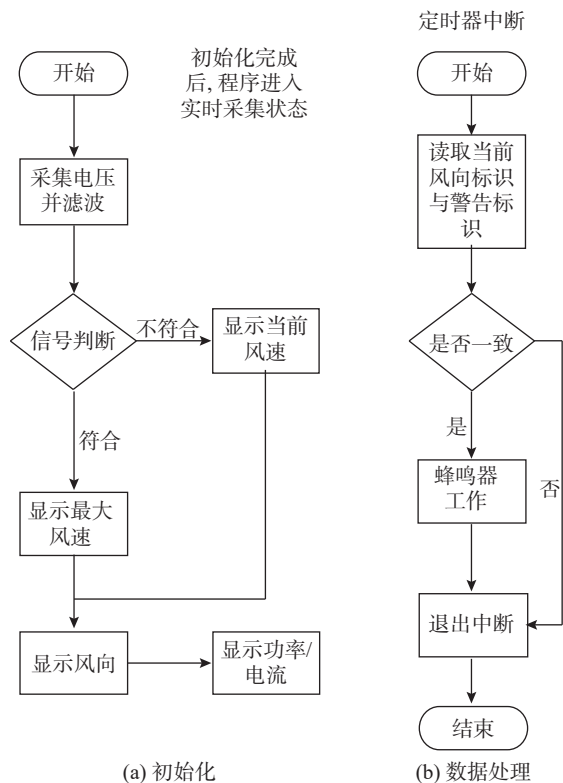


图 10 自动报警程序结构图

整个系统基于 STM32 单片机作为主控制器, 同时存在 LM7805、LM1117-3.3 等降压芯片, 以及红外遥控模块、蜂鸣器等多个模块的电路与程序设计和功能基础等多个任务。在系统的实现过程中, 可以培养学生如何协调多个模块的布局, 实现和集成等系统设计的整体观。

4 测试及误差分析

4.1 测试方案

总体方案: 通过硬件测试、软件仿真测试和软硬件联调。

测试条件: 室内、室外常温环境下均进行测试。检查多次, 仿真电路和硬件电路必须与系统原理图完全相同, 并检查无误, 硬件电路保证无虚焊。软件部分在 Keil uVision5 上编译通过, 并通过仿真器写入单片机。

测速仪器: Digital Anemometer AS836 风速计、FT-30 家用 50W 电风扇 12、MASTECH MY-64 数字万用表。

测试结果如表 3 所示。

表 3 距离实时风速变化测试表

序号	距离/m	风速1/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	风速2/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	风速计/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
1	1.0	2.1	2.0	2.115
2	1.2	1.8	1.7	1.804
3	1.4	1.5	1.4	1.352
4	1.6	1.1	1.2	1.142
5	1.8	0.8	0.9	0.873

风向及自动报警测试结果如表 4 和表 5 所示。

表 4 各方位风向变化测试表

序号	风向	实际	差值
1	南偏西	南偏西212°	13°
2	西	西268°	2°
3	北偏西	北偏西306°	9°
4	北	北0°	0°
5	北偏东	北偏东49°	4°
6	东	东90°	0°
7	南偏东	南偏东125°	10°
8	南	南179°	1°

表 5 各方位风向变化测试表

序号	距离/m	电流/mA	风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
1	1.00	21.15	2.1
2	1.05	14.08	1.9
3	1.10	9.11	1.8
4	1.15	4.36	1.7
5	1.20	2.01	1.7
6	1.25	0.00	1.6

4.2 测试结果分析

结果表明:

距离风扇 1 m 位置处, 本装置采集风速信息

较为准确, 误差 13 不超过 $\pm 1.5 \text{ m/s}$ 。风向指示清楚, 可显示 8 个方位, 与实际风向相差不超过 20° 。当电扇到达预设方向时, 蜂鸣器可自动鸣声, 实时显示风速为最大值。同时, 本装置也可通过风力发电, 点亮 LED 灯(工作电流可达 20 mA), 并能实时显示工作电流或功率。装置基于红外遥控, 可实现最远 8 m 距离对系统进行控制。且预留外设接口, 可采集较远距离的风速、风向信息。

误差分析:

本装置存在系统误差与偶然误差。其中, 偶然误差通过多次测量取算术平均值的方法来减少。系统误差具体由如下两个方面产生:

1) 仪器误差

装置本身使用的数据采集仪器(风速、风向传感器、单片机 ADC 等), 并非精密测量, 故而出现一定误差。同时, 对装置进行校准配置与测试的设备(如指南针、电扇、风速计等)也存在一定的误差。这是影响装置测试结果的主要原因。

2) 操作误差

由于单片机对通道电压的采集是即时的, 数据变动的间隔甚至小于 1 000 ms, 而操作人员的观察器官达不到特别敏锐的水平。故而所观察到的数据是滞后的。因此, 在配置参数上, 存在滞后性, 从而出现误差。这是影响装置测试结果的次要原因。

影响测量结果的因素有人为、量具、力量、测量、环境等因素。但结合上述误差分析与综合考虑后, 判定大部分影响因素仍在数据测量结果的可接受范围之内, 故此处不再赘述。下面, 给出仪器厂商所标注的误差范围:

1) 风速传感器

准确度: 测量范围 $\leq 56 \text{ m/s}$ 时, 为 $\pm 5\%$; 测量范围 $> 56 \text{ m/s}$ 时, 为 $\pm 0.55 \text{ V}$ 。

2) 风向传感器

准确度: 正常工作时, 绝对误差小于 10° 。

3) 风速计

准确度: 实际风速 $< 10 \text{ m/s}$ 时, 为 $\pm 0.02 \text{ m/s}$; 实际风速 $\geq 10 \text{ m/s}$ 时, 为 $\pm 0.03 \text{ m/s}$ 。

4) 单片机 ADC

STM32F103C8T6 单片机自带了两个 12 位精度的 ADC, 而风速与电压拟合的计算关系式中, R2 也只有 0.9130 与 0.9918, 因此, 在电压-风速

采集上也存在一定误差。

数据的测试与误差分析是本科生所必须掌握的关键技能。通过本次的系统实现,可以让学生了解到系统设计过程中如何对一些基础的数据进行采集和分析,同时培养其分析数据误差的来源和解决误差的动手能力。

5 在教学中的应用

在实际的课程教学与实践中,可以将本综合设计与一系列专业课程的实验结合起来,单片机等实验中的课时可以与综合设计进行学时互换。将本综合设计设计为 24 学时,其中 4 学时进行理论上的课堂教学,主要对单片机、C 语言等基本的系统开发工具进行讲解,其余 20 学时由教师引导,学生自主进行。

教师将 24 学时的学生自主实验分为两大部分。首先,实物设计部分计划设计 12 学时,由于实物设计对于学生的动手能力与整体框架概念产生一定程度上的挑战,因此,此部分主要考察学生对于材料器件的选择和处理,体现出集成一体化的思想,以及如何拓宽对于设备整体设计的方向性,锻炼学生的实践能力和团队协作精神。

第二部分为程序设计板块,设计 7 学时。这部分主要是对学生能力的检验与锻炼,不外乎是对编程能力、逻辑分析、数学建模能力进行评估。引导学生利用课本上学习到的数学基础知识将其运用到实际项目中,可以更好地理解掌握。

最后,综合测评 1 学时,此部分依据 4.2 节对学生设计的实物进行测评。综合考察学生单片机、算法程序和元器件的结合应用程度,考察时突出多点思考、深入思考、集体思考的优越性,提倡自主设计,对利用其他方法达到相当或者更好的效果者适当予以加分。

6 结束语

本文基于电子设计大赛,引导学生制作了一个测量风速、风向兼具发电点亮 LED 灯的小型装置,然后手动测量数据拟合曲线得出风速和电压的关系方程,经过多距离、多风速、多情况的测

量,利用此数据拟合出的曲线在显示与采集数据时可以变得较为稳定与精确,充分体现了学生对于单片机编程的熟练运用。在电路设计与焊接上,完整的 PCB 板的设计制作很好地为以后的课程学习做了铺垫。除了项目本身所用到的知识经过锻炼外,器材采购时的与人交流、团队内出现问题的协调合作都很好地在这方面提升了学生的能力。因此本项目在结合模拟电子技术、单片机的原理等多方面书本知识的同时很好地培养了学生的动手能力和实践兴趣,锻炼了学生吃苦耐劳勇于钻研的科研精神。基于本项目实验数据和实际操作的完美切合,学生可以继续在此基础上进行优化改良,发散思维,引起对于新能源方向和数据模拟采集模式的思考与探究。

参考文献

- [1] 刘火良, 杨森. STM32 库开发实战指南: 基于 STM32-F103[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- [2] 沈红卫, 任沙浦, 朱敏杰, 等. STM32 单片机应用与全案例实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [3] 郭业才, 黄友锐, 吴昭方, 等. 模拟电子技术[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [4] 郭苏. 风电-光伏-储热联合发电系统的多目标容量优化[J]. 太阳能学报, 2020, 41(11): 359-368.
- [5] 肖丽佳. 优化风力发电机最大功率控制方法的研究[J]. 南方农机, 2020, 51(21): 97-103.
- [6] 梁相玲, 叶正伟, 秦旺, 等. 风力发电系统的随机响应[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2020, 36(1): 17-20.
- [7] 李白灵, 郝星宇, 杨晓梅. STEM 教育理论下的项目化学习研究——以风力发电探究学习为例[J]. 物理教学探讨, 2020, 41(11): 76-79.
- [8] 刘波, 贺志佳, 金昊. 风力发电现状与发展趋势[J]. 东北电力大学学报, 2016, 40(2): 7-13.
- [9] 陈璐艳, 陈昉, 郑道淮, 等. 风向传感器校准装置对比试验与探讨[J]. 海峡科学, 2020(7): 23-25.
- [10] 张占文. 风传感器故障检测与诊断[J]. 气象水文海洋仪器, 2020, 37(1): 91-93.
- [11] 季俊, 蔡锦达. 基于 STM32 的制管机人机界面系统[J]. 轻工机械, 2020, 38(6): 68-71.
- [12] 刘兰兰, 周祖华, 钱金伶. 基于单片机的双模式遥控风扇系统设计[J]. 电子世界, 2016(21): 82-83.

编辑 张俊