

## 风力摆控制系统（B 题）

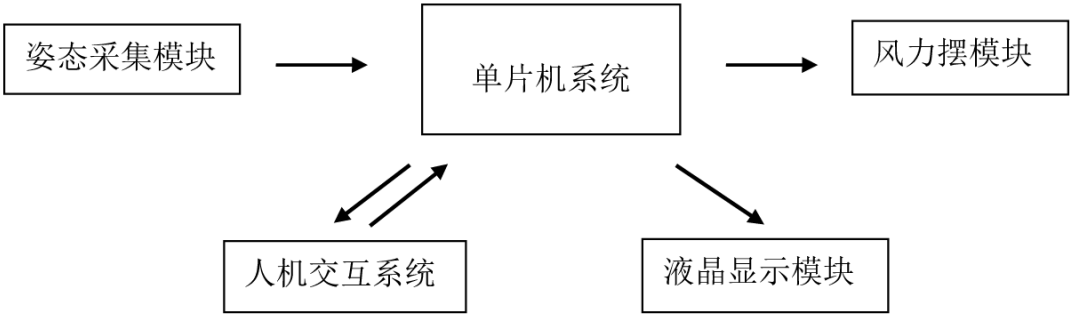
### 摘要

本系统为由 STM32 单片机控制模块、姿态采集模块、风力摆模块、液晶显示模块、人机交互系统以及风力摆机械结构组成的闭环控制系统。MPU6050 采集风力摆姿态角，单片机处理姿态角数据后通过 PID 精确算法调节直流风机以控制风力摆。本系统实现了风力摆在仅受直流风机为动力控制下快速起摆、画线、恢复静止的功能，并能准确画圆，且受风力影响后能够快速恢复画圆状态，具有很好的鲁棒性。另外，本系统具有良好的人机交互界面，各参数及测试模式可由按键输入并通过液晶显示，智能性好，反应速度快。

关键词：**PID 算法** **MPU6050** **STM32 单片机** **人机交互**

# 1、系统方案

本风力摆控制系统主要包括单片机控制模块、电源模块、姿态采集模块、风力摆模块、液晶显示模块、人机交互系统以及风力摆机械结构组成。风力摆由万向节连接碳杆再连接风机组成。位于碳杆最下方的姿态采集模块不断采集风力摆当前姿态角，并返回单片机。单片机控制液晶显示姿态角数据并处理数据后通过控制 PWM 波占空比控制风机转速，实现对风力摆的控制。本系统结构框图如图 1 所示。



## 1.1 风力摆运动控制方案的选择与论证

方案一：采用 2 只直流风机作为动力系统。采用 2 只风机并排同向而立，分别位于摆杆两侧，通过控制风机转速控制风力摆使激光笔画线画圆。此方案风力摆负载轻，但风力摆摆动过程中状态微调 and 快速静止不易实现。

方案二：采用 3 只直流风机作为动力系统。三只风机为等边三角形三边，相背而立，互成  $120^{\circ}$  夹角。此方案相对于方案二在控制风力摆转动过程中状态微调方面有提升，但自成三角形，相邻两风机夹角过大，依旧不利于精确控制风力摆状态。

方案三：采用 4 只直流风机作为动力系统。四只风机取一边靠于摆杆，朝向成顺时针排列，通过控制四只风机转速控制风力摆当前状态。此方案风力摆负载最重，但对于控制风力摆状态最为精确，且动力最足。

综合上述比较，考虑系统的快速工作以及精确控制，本系统采用方案三。

## 1.2 电源方案的论证与选择

方案一：使用单电源接自制线性直流稳压源模块。单电源同时给控制系统和风机供电，方案简单易操作。但风机转动过程中不仅会给电源带来纹波，而且产生反电压容易使单片机被烧毁。且单电源工作负载大，耗电快。

方案二：采用双电源供电。风机驱动电源和控制电源分开，控制电机部分通过光耦隔离。电机使用 12V 锂电池供电，单片机控制系统用另一块电池接线性

直流稳压源模块供电。此方案可确保系统的稳定性，且满足了系统对供电需求。

综合上述比较，考虑系统的安全性、稳定性以，本系统采用方案二。

### 1.3 角度测量方案的选择与论证

方案一：只测量风力摆关于静止状态时的偏转角。采用二维平面内角位移传感器测量风力摆转动时关于静止状态时的偏转角，通过控制该偏转角实现对流风机的控制。该方案软件处理繁琐，且二维平面内的角位移传感器不利于测量风力摆的空间位置，不利于实现对风力摆的精确控制。

方案二：选用双轴倾角传感器模块 LE-60-0EMLE-60-0EM，测量重力加速度变化，转为倾角变化，可测量双向。具有稳定性高、低功耗、结构简单等优点。响应速度为 5Hz。它可以测量平衡板与水平方向的夹角， $x, y$  方向可以测，但  $z$  轴不可测。且操作复杂，软件处理难度大。

方案三：采用三维角度传感器。用三维角度传感器时刻测量风力摆当前姿态，通过处理采集的姿态角数据控制风机带动风力摆运动。此方案可精确测量风力摆当前姿态，实现对风力摆的精确控制。

综合比较以上两个方案，本系统选择方案三。

### 1.4 控制算法的选择

方案一：采用模糊控制算法，模糊控制有许多良好的特性，它不需要事先知道对象的数学模型，具有系统响应快、超调小、过渡过程时间短等优点，但编程复杂，数据处理量大。

方案二：采用PID算法，按比例、积分、微分的函数关系，进行运算，将其运算结果用以输出控制。优点是控制精度高，且算法简单明了。对于本系统的控制已足够精确，节约了单片机的资源和运算时间。

综合比较以上两个方案，本系统选择方案二。

## 2. 系统理论分析与计算

### 2.1 风力摆状态的测量与计算

采用高精度的陀螺加速度计 MPU6050 不断采集风力摆姿态角数据。MPU6050 集成了 3 轴 MEMS 陀螺仪，3 轴 MEMS 加速度计，以及一个可扩展的数字运动处理器 DMP。MPU6050 和所有设备寄存器之间的通信采用 400kHz 的 I2C 接口，实现高速通信。且内置的可编程卡尔曼滤波器，采用最优化自回归数据处理算法精确测量风力摆当前姿态角。MPU6050 对陀螺仪和加速度计分别用了三个 16 位的 ADC，将其测量的模拟量转化为可输出的数字量，通过 DMP 处理器读取测量数据然后通过串口输出。

## 2.2 风力摆运动控制的分析

风力摆采用 4 只 45W 的直流风机为动力驱动系统。姿态采集模块采集风力摆当前姿态角，单片机处理姿态角信息调节输出 PWM 的占空比，控制四只风机的工作状态，从而实现对风力摆的控制。

## 2.3 控制算法的分析

本系统采用 PID 算法来控制风机转动的速度。风机开始工作后，姿态采集模块不断采集当前风力摆姿态角状态，并与之前的状态比较，使得风力摆的运动状态逐渐趋向于平稳。PID 算法控制器由舵机转动角度比例 P、角度误差积分 I 和角度微分 D 组成。

其输入  $e(t)$  与输出  $U(t)$  的关系为：

$$U(t) = P * \left[ e(t) + \frac{1}{I} \int_0^t e(t) dt + D * \frac{de(t)}{dt} \right]$$

它的传递函数为：

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = P * \left[ 1 + \frac{1}{I * s} + D * s \right]$$

风力摆转动角度比例 P：对风力摆角速度进行比例调整，即对舵机转动速度调整。比例越大，调节速度越快。但不能过大，过大可能造成四风机因工作状态突变而是摆杆不稳定。

角度误差积分 I：使系统消除稳态误差，提高无差度。加入积分调节可使系统稳定性下降，动态响应变慢。本系统追求更快更稳完成对风力摆的控制，因此，本系统对积分调节的需要就非常弱。即保证在不需要时系统不会受到影响。

角度微分 D：微分作用反映风力摆角度的变化率，即角速度。具有预见性，能预见偏差变化的趋势因此能产生超前的控制作用，在偏差还没有形成之前，已被微分调节作用消除。因此，可以改善系统的动态性能。在微分时间选择合适情况下，减少调节时间。

## 3、 电路与程序设计

（理论分析与电路设计，理论分析说明总体思路，电路设计解说如何实现。如理论分析说放大十倍，电路解说如何放大十倍，芯片介绍，非必要不写）

3.1 系统程序流程设计

本系统采用三个独立按键输入各参数及测试模式，系统开机启动进入系统初始化界面，按下指定按键后进入菜单选择界面，菜单选择界面有 6 个功能：分别对应题目基本要求和发挥部分 6 点，通过按键可以选择进入相应的功能，功能执行完毕后系统回到菜单选择界面，继续等待按键输入执行相应的功能。系统程序流程图如图 1 所示。

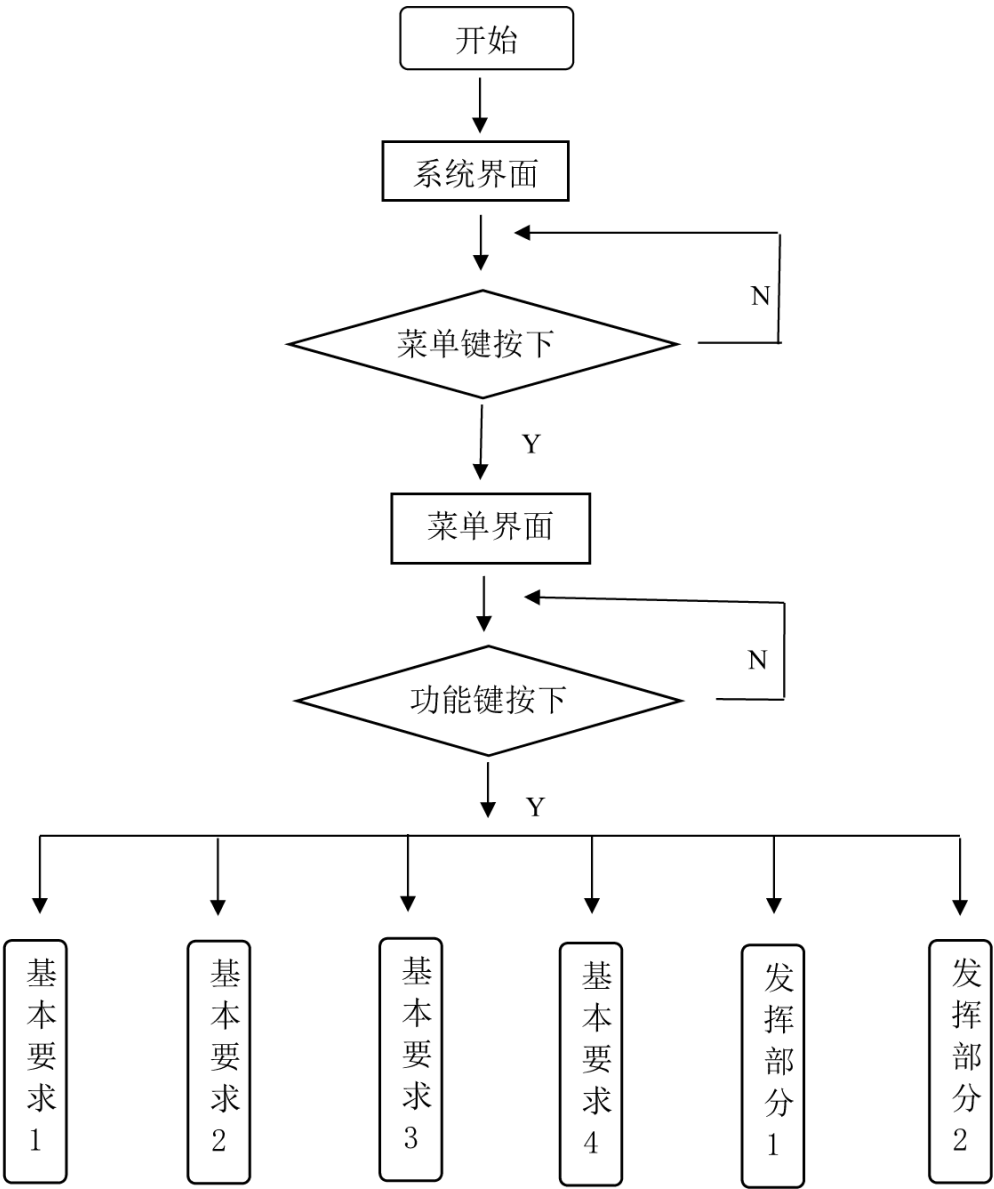


图 1 系统程序流程图

3.1 角位移传感器输出电路设计

图 1

### 3.2 电源电路设计

### 3.3

## 4、系统测试

### 4.1 测试仪器

- (1) 秒表
- (2) 量角器
- (3) 自制方向角度图纸

### 4.2 测试方案及结果

4.2.1 驱动风力摆工作，使激光笔稳定地在地面画出一条长度不短于 50cm 的直线段，来回五次，记录其由静止至开始自由摆时间及最大偏差距离。测试结果如表 1 所示。

表 1 风力摆画长于 50cm 直线测试

	时间(s)	误差 1	误差 2	误差 3	误差 4	误差 5
第一次测试						
第二次测试						
第三次测试						

4.2.2 设置风力摆画线长度，驱动风力摆工作，记录其由静止至开始自由摆时间及在画不同长度直线时的最大偏差距离。测试结果如表 2 所示。

表 2 风力摆画不同长度直线测试

	时间(s)	误差 1	误差 2	误差 3	误差 4	误差 5
画 30cm 直线						
画 40cm 直线						
画 50cm 直线						
画 60cm 直线						

4.2.3 设置风力摆自由摆时角度，驱动风力摆工作，记录其由静止至开始自由摆时间及在画不同角度直线时的最大偏差距离。测试结果如表 3 所示。

表 3 风力摆画不同角度直线测试

	时间(s)	误差 1	误差 2	误差 3	误差 4	误差 5
画 0° 直线						
画 90° 直线						
画 180° 直线						
画 270° 直线						
画 360° 直线						

4.2.4 将风力摆拉起一定角度放开，驱动风力摆工作，测试风力摆制动达到静止状态所用时间。测试结果如表 4 所示。

表 4 风力摆恢复静止测试

	时间（1）	时间（2）	时间（3）	时间（4）	时间（5）
拉起 30°					
拉起 35°					
拉起 40°					
拉起 45°					

4.2.5 以风力摆静止时激光笔的光点为圆心，设置风力摆画圆半径，驱动风力摆用激光笔在地面画圆，记录其画三次圆所用时间以及最大偏差距离，重复测试三次。改变圆半径再次测试，重复以上操作四次。测试结果如表 5 所示。

4.2.6 在 4.2.5 的基础上，使用一台 60W 台扇在距离风力摆 1m 距离处向其吹 5s 后静止，记录风力摆回复画圆状态时间。测试结果如表 5 所示。

表 5 风力摆画圆测试

	半径 15cm	半径 20cm	半径 25cm	半径 30cm	半径 35cm
时间 (1)					
偏差距离 (1)					
恢复时间 (1)					
时间 (2)					
偏差距离 (2)					
恢复时间 (2)					
时间 (3)					
偏差距离 (3)					
恢复时间 (3)					

## 五、总结

(没达到的指标不要写, 报告要写实现功能, 最优方面, 写特色, 如超出题目要求, 焊接美观等等)

## 六、参考文献

- [1] 童诗白, 华程英. 模拟电子技术基础 (第四版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [2] 阎石. 数字电子技术基础 (第五版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [3] 黄智伟, 王彦, 陈文光等. 全国大学生电子设计竞赛训练教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [4] 高吉祥, 唐朝京. 全国大学生电子设计竞赛培训系列教程 (电子仪器仪表设计) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [5] 张友德、赵志英、涂时亮. 单片微型机原理、应用与实践 (第五版) [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2009.
- [6] 郭天祥. 新概念 51 单片机 C 语言教程. 入门、提高、开发 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [7] 梁明理. 电子线路 (第五版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.