

# 风力摆控制系统

成员：李根（组长） 赵建强 陈航

**摘要：**本系统为由 STM32 控制模块、姿态采集模块、显示模块以及风力摆机械结构等组成的闭环控制系统。由 MPU6050 采集风力摆姿态角，数据经过单片机处理后，通过 PID 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，具有很好的稳定性。此外，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可显示。

**关键词：**PID 算法、MPU6050、STM32

## 目录

1、系统方案 .....	2
1.1 风力摆运动控制方案的选择与论证 .....	2
1.2 电源方案的论证与选择 .....	2
1.3 角度测量方案的选择与论证 .....	2
1.4 控制算法的选择 .....	3
2、系统理论分析与计算 .....	3
2.1 风力摆状态的测量与计算 .....	3
2.2 风力摆运动控制的分析 .....	3
2.3 控制算法的分析 .....	3
3、电路与程序设计 .....	4
3.1 系统流程设计 .....	4
3.2 程序流程图设计 .....	5
3.3 电路模块设计 .....	6
3.3.1 角位移传感器输出电路设计 .....	6
3.3.2 电源电路设计 .....	6
3.3.3 电机及驱动电路设计 .....	6
4、系统测试 .....	7
4.1 测试仪器 .....	7
4.2 测试方案及结果 .....	7

# 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杆再连接风机组成。位于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。

## 1.1 风力摆运动控制方案的选择与论证

方案一：采用 2 只风机作为动力系统。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 4 只风机作为动力系统。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，本系统采用方案二。

## 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：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，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,将运算结果用于输出控制。优点是控制精度高,且算法简单明了。它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：

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

其中：

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 **I**：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。可控制其在特定时刻的通与断。

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，因此,可以改善系统的动态性能。

### 3、电路与程序设计

#### 3.1 系统流程设计

系统包括 STM32 单片机、轴流风机、电机驱动模块及 MPU-6050 传感器。由四台成九十度放置的轴流机来控制旋转臂转动从而来使摆杆摆动，在摆杆和风机平台相结合处加 MPU-6050 传感器.使摆杆能够按照要求完成任务。 系统流程图如下图所示。

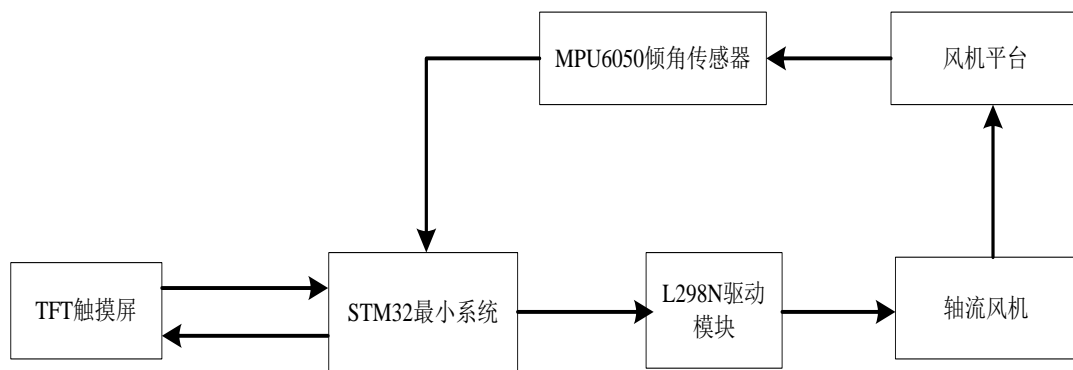


图 1 系统流程图

### 3.2 程序流程图设计

本系统采用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。系统流程图如下图所示。

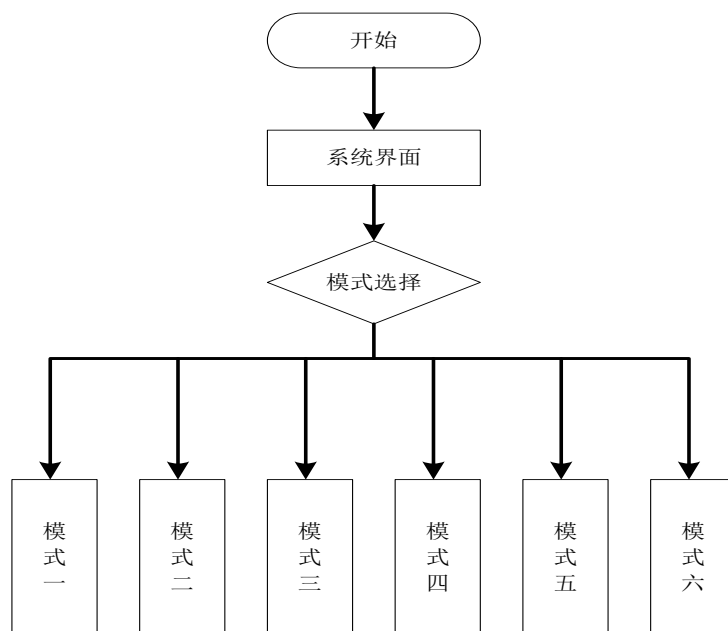


图 2 程序流程图

### 3.3 电路模块设计

### 3.3.1 角位移传感器输出电路设计

采用 MPU6050 传感器。它具有集成的位置信息采集模块，同时可利用 I2C 协议输出采集的信息，用于后续的控制。它的电路原理图如下：

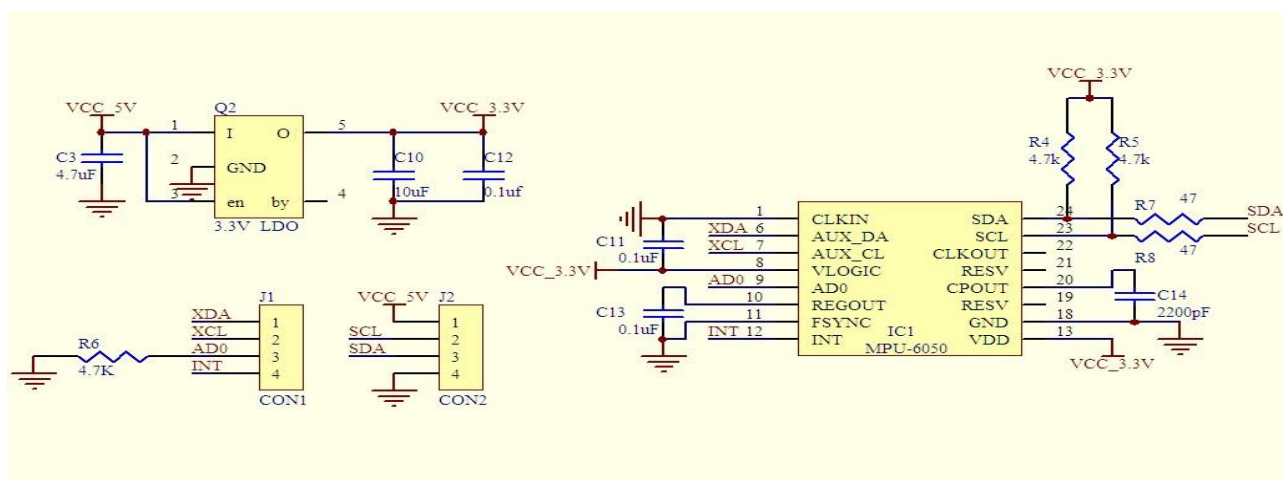


图 3 角位移传感器

### 3.3.2 电源电路设计

电源由变压部分、滤波部分、稳压部分组成。为整个系统提供 5V 或者 12V 电压，确保电路的正常稳定工作。这部分电路比较简单，主要采用三端稳压管实现。

### 3.3.3 电机及驱动电路设计

通过 L298N 芯片手册可知, L298N 同时最多能够控制四个直流电机, 但是 L298N 最大只能输出 2A 的电流, 因此本系统采用四个 L298N 模块, 每个模块分别控制一个电机以保证系统能够给风机提供足够的功率, L298N 驱动模块原理图如图所示。

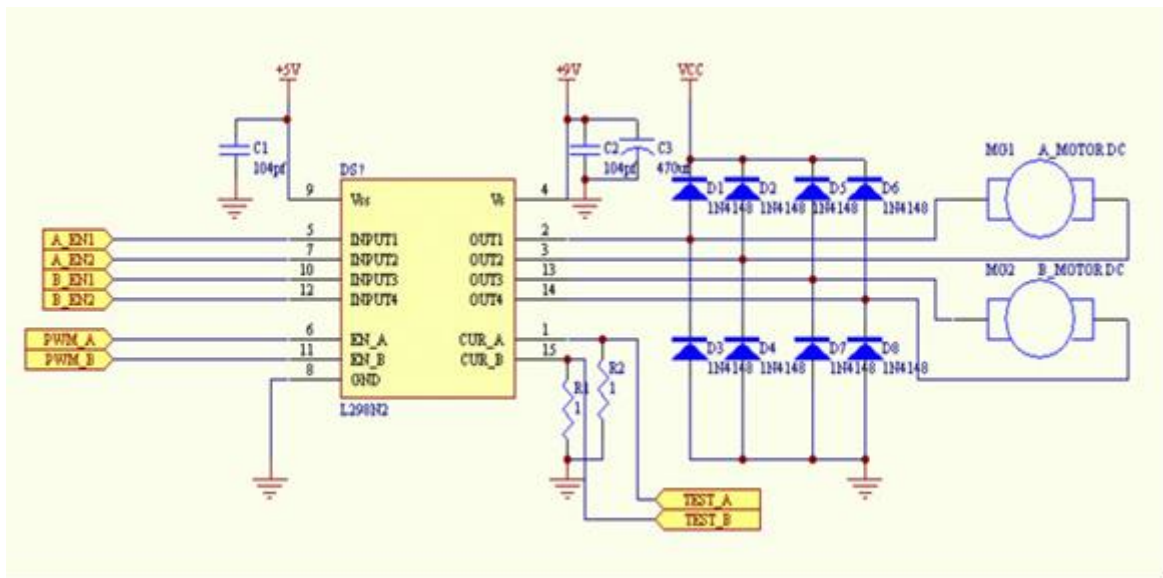


图 4 电机及驱动

## 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

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

测试次数	时间 (s)	误差 1 (cm)	误差 2 (cm)	误差 3 (cm)
第一次测试				
第二次测试				
第三次测试				

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

画直线长度 (cm)	时间 (s)	误差 1(cm)	误差 2(cm)	误差 3(cm)
30				
40				
50				
60				

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

画直线	时间 (s)	误差 1(cm)	误差 2(cm)	误差 3(cm)
画 0° 直线				
画 90° 直线				
画 180° 直线				
画 270° 直线				

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

拉起角度	时间 1 (s)	时间 2 (s)	时间 3 (s)	时间 4 (s)
拉起 30°				
拉起 35°				
拉起 40°				
拉起 45°				

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。

6. 在 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。