

# 江苏信息职业技术学院

## 毕业设计论文

风板控制系统设计

系 电子信息工程学院

专业 姓名

班级 \*\*\*\*\* 学号 \*\*\*\*\*

指导教师 王恩亮 职称 副教授

设计时间 2018.09.15—2018.12.25

## 摘要

本设计的被控对象为底部固定在转轴上的风板，通过风板两侧的直流风扇分别向风板吹送不同的风量来实现风板旋转在不同角度的目的。该系统采用 MSP430F5438A 为控制核心，输出频率为 1KHZ 的 PWM 直流脉冲，通过 LM298 驱动直流风扇，通过调整 PWM 脉冲的占空比，实现风板两侧的出风量的控制。该控制系统采用角度传感器检测风板的角位置，将电位器检测信号经过放大、AD 转换、数据处理后转换为风板的角位置信号，并通过 PID 控制算法获得两侧输出 PWM 脉冲输出值，通过调整 PWM 的占空比，实现风板角位置的控制。

**关键词：**风板，PID，单片机，PWM，直流风机

# 目 录

目 录 .....	I
第 1 章 概述 .....	1
1.1 设计背景 .....	1
1.2 国内研究情况 .....	1
1.3 设计意义 .....	1
1.4 设计任务 .....	1
第 2 章 风板控制系统硬件设计 .....	3
2.1 风板控制系统结构 .....	3
2.2 微处理器选择 .....	3
2.3 显示电路与键盘电路设计 .....	4
2.4 风板角度检测设计 .....	6
2.5 直流风扇驱动电路 .....	7
2.6 限位开关电路设计 .....	8
2.7 供电电源电路设计 .....	8
2.6.1 3.3V 电源电路设计 .....	9
2.6.2 5V 电源电路设计 .....	10
2.6.3 角度检测电路电源设计 .....	10
2.7 本章小结 .....	11
第 3 章 风板控制系统控制方案设计 .....	12
3.1 风板控系统的结构分析 .....	12
3.2 风板控制系统风扇输出功率方案 .....	12
3.3 控制参数的设定 .....	14
3.4 本章小结 .....	15
第 4 章 风板控制系统程序设计 .....	16
4.1 程序设计开发环境 .....	16
4.2 角度控制实现操作 .....	17
4.3 系统工作流程 .....	18
4.4 设计要求 1 的角度控制过程 .....	22

4.5 设计要求 2 的角度控制过程 .....	22
4.6 本章小结 .....	23
<b>第 5 章 风板系统功能测试 .....</b>	<b>24</b>
5.1 测试结果 .....	24
5.2 测试结果分析 .....	28
5.3 本章小结 .....	28
<b>总结与展望 .....</b>	<b>29</b>
一、总结 .....	29
二、今后研究方向 .....	29
<b>参考文献 .....</b>	<b>30</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>31</b>
<b>附录 A 硬件电路原理图 .....</b>	<b>32</b>
1. 主控电路及声光报警电路 .....	32
2. 电源电路 .....	33
3. 键盘及显示电路 .....	34
4. 角度检测电路 .....	34
5. LM298 驱动电路 .....	35
<b>附录 B 主程序清单 .....</b>	<b>35</b>
1. 主程序清单 .....	35

## 第 1 章 概述

### 1.1 设计背景

直流电机被广泛应用于各类控制系统中，通过对直流电机的控制实现转速、功率等控制功能。小功率的直流风扇主要用于实现通风、散热等功能。主要的控制方式只有开关状态。对直流电机调速最有效方法是采用 PWM 控制，通过 PWM 方式，在输出电压固定的情况下通过调整占空比能够有效的调整直流风扇的转速，从而实现出风量的调节。

### 1.2 国内研究情况

国内外对大功率的直流电机的控制研究较多，而对小功率的直流风扇的研究较少，尤其是小功率的直流风机研究很少，大部分对直流风机的调速几乎都采用 PWM 方式，通过调整占空比实现调速。重庆大学的潘银松进行了基于 FPGA 的防脉冲干扰温控调速直流风扇研究，实现了通过调整直流风扇的转速实现温度控制功能；暨南大学吴翔、王思华基于 DSP 的小型直流风扇自动化测试系统进行了研究，以 DSP 控制器 TMS320F2812A 为控制核心，实现了风扇的转速检测、转速控制功能。

### 1.3 设计意义

综述国内外发展现状，对直流风扇调速的研究基本都是采用 PWM 方法实现控制功能，而对由风扇构成的控制系统的研究较少，本设计通过对风板系统的研究，研究风板系统的结构，以单片机等微处理器为控制核心实现对风板旋转角度的准确控制，在响应时间，最大超调量，稳态误差方面达到优秀的效果。探索能够在单片机等微处理器上实现的控制方法。

### 1.4 设计任务

如图 1.1 所示的风板控制系统，封板底部固定在可旋转的轴上，能够左右自由的旋转，通过风板两侧的风扇相向吹动风板，根据两侧的风速不同，调整封板的旋转角度。通过按键实现设定角度的调整，工作模式的切换，启动及停止等操作。并通过显示设备实时设定角度、检测角度、工作模式的显示。

要求 1:风板能够从左侧  $30^\circ$  的起始位置开始，稳定的停留在  $45^\circ \sim 135^\circ$  范围内，

并在该角度的  $5^{\circ}$  误差范围内,从启动到到达指定位置的时间小于 10 秒,到达稳定位置后停留 5 秒后,停止到右侧  $150^{\circ}$  位置。

要求 2:风板能够从右侧  $150^{\circ}$  的位置开始启动,在  $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$  范围内的两个角度之间进行摆动,到达第一个角度的时间小于 10 秒,在两个角度之间的摆动时间不超过 5 秒,摆动 3 个周期后停止在左侧  $30^{\circ}$  的起始位置。

要求 3:在风板的外侧悬挂 10g 重物,实现要求 1 的功能,并在 15 秒内到达指定角度,稳定时间为 5 秒。

要求 4:在风板的外侧悬挂 10g 重物,实现要求 2 的功能,并在 15 秒内到达指定角度,稳定时间为 5 秒。

要求 5:实现功能要求后并有声光提示,在左侧  $30^{\circ}$  , 右侧  $150^{\circ}$  设置限位装置限制风板的位置。

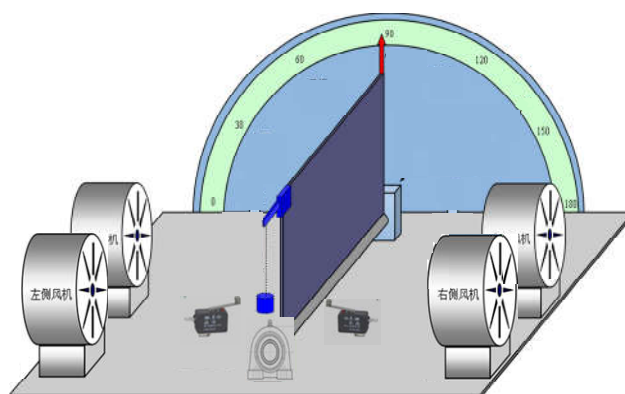


图 1.1 风板机构结构示意图

## 第2章 风板控制系统硬件设计

### 2.1 风板控制系统结构

风板控制系统的硬件电路结构包括微处理器，风板角度检测模块，风扇驱动电路，电源电路，风板机构。微处理器通过风板角度检测模块，实时检测风板的位置，通过与设定的角度进行比较获得偏差，应用合适的算法获得两路直流风扇输出的 PWM 占空比，通过风扇驱动电路驱动输出不同的输出功率，调整两侧直流风扇的出风量。系统硬件结构框图如图 2.1 所示。

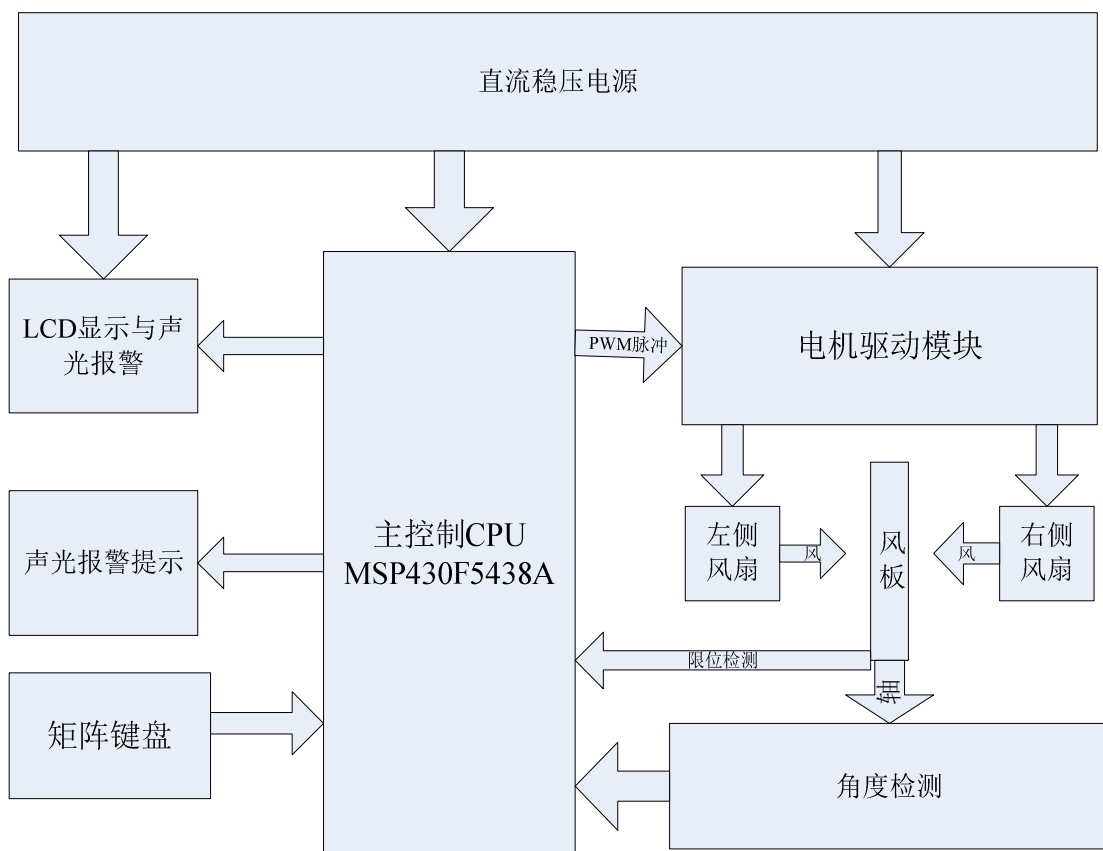


图 2.1 风板控制系统硬件设计方案图

### 2.2 微处理器选择

本系统的微处理器需要具有很强的数据处理能力，8 位微处理器的数据能力较差。本设计需要通过调整 PWM 脉宽来实现输出功率的调整，如果微处理器内部集成两路以上的 PWM 硬件电路结构，则可以降低对微处理器软件系统资源的占用，为提高 PWM 输出的精度控制，优先选择内部集成了高精度的 PWM 硬件的微处理器。通过对市场上

各类微处理器进行分析, 在 STC, PIC, MSP430, Atmel 等不同系类单片机中进行综合比较, 选择 TI 公司的 MSP430F5438A 作为风板系统的控制核心。

MSP430F5438A 是 16 位的单片机, 具有丰富的软硬件资源, 内部具有多路 12 位的 AD 转换电路, RTC 实时时钟, 定时器, 具多路有比较器及 PWM 硬件结构, 具有 SPI, IIC, USB, UART 总线接口。该处理器的时钟主频可以达到 25MHz, 指令都是单周期指令。16 位单片机在处理数据方面具有一定的优势。MSP430F5438A 微处理器引脚如图 2.2 所示。

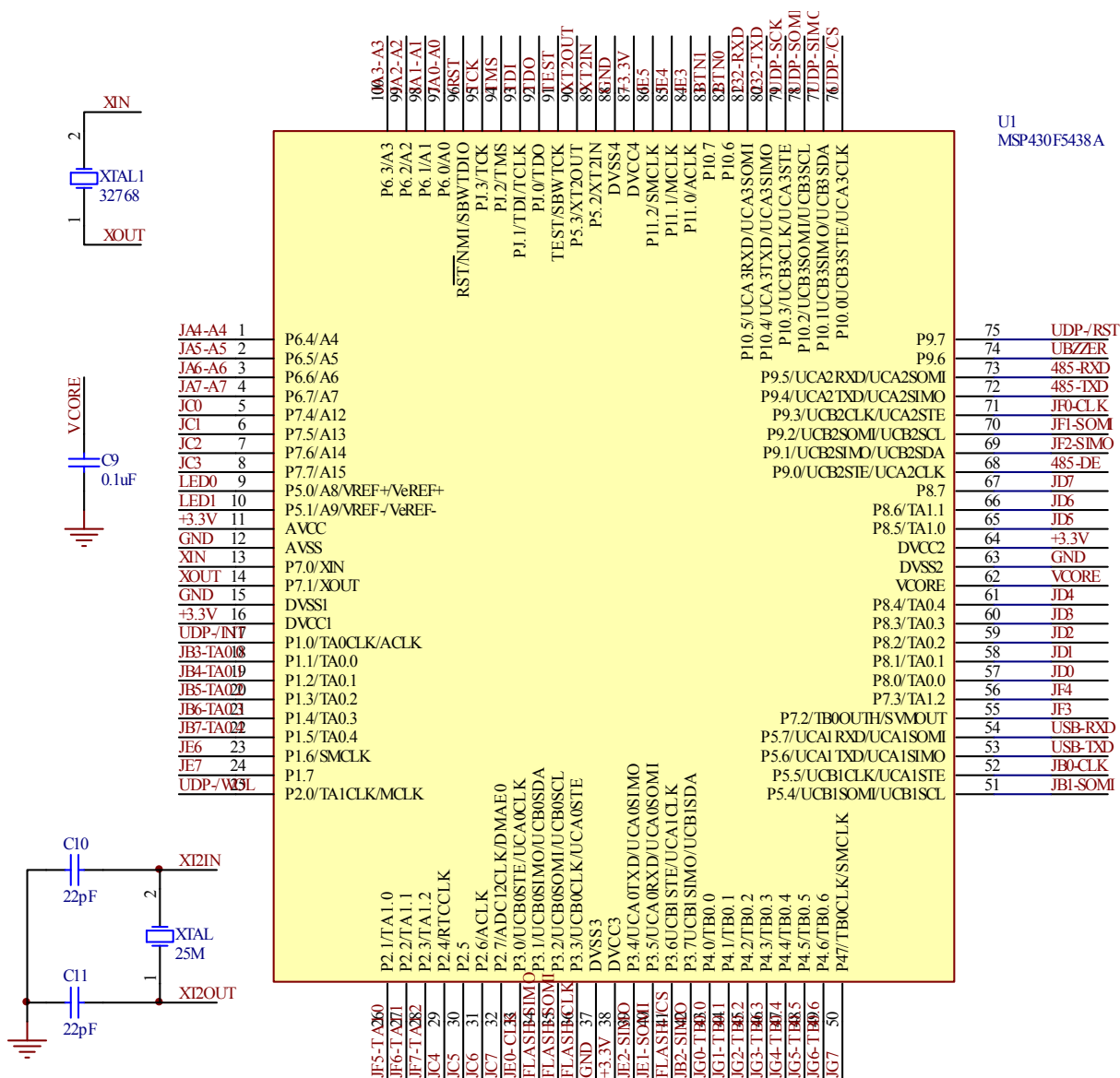


图 2.2 MSP430F5438A 引脚

### 2.3 显示电路与键盘电路设计

本系统需要通过手动方式设定控制的角度及进行控制操作, 需要设计显示接口及键



盘接口。微处理器控制系统的常用显示器件包括 LED 数码管、LCD1602、LCD12864 等。本设计显示参数较少，考虑显示器件尽可能少的占用系统资源，宜采用 LCD 模块进行显示，LCD1602 与 LCD12864 所占用的硬件 I/O 端口数相同，驱动基本相似，而 LCD12864 能够直接显示汉字，使用更加方便，本设计采用 LCD12864 显示设计参数，并采用并行通信方式。显示接口电路如图 2.3 所示。

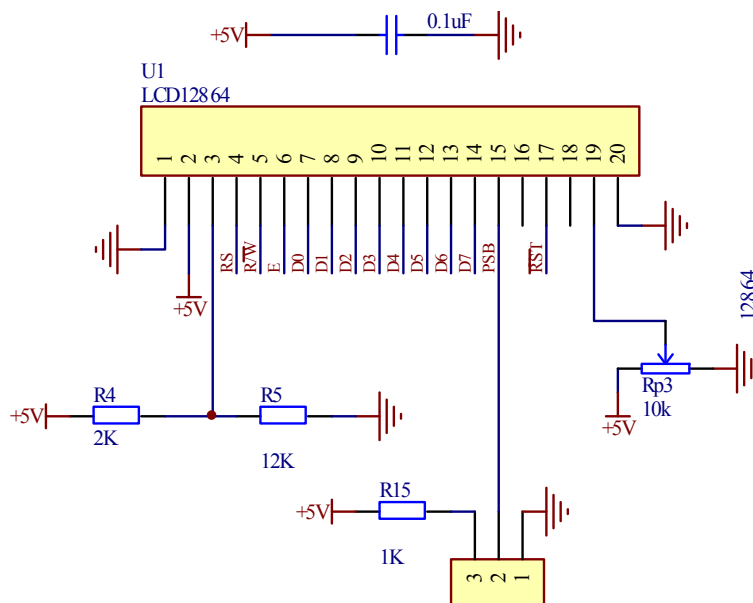


图 2.3 LCD12864 电路设计

键盘电路可以采用 I/O 按键，矩阵按键，AD 按键等方式。考虑到操作过程中设置的功能较多，采用矩阵键盘可以获得更多的按键。本系统采用 4 行、4 列的矩阵键盘结构，如图 2.4 所示。设置功能键 6 个，S1 为功能切换键，S2 为功能选择键，S3 为启动键，S4 为停止键，S5 为角度调整加，S6 为角度调整减，其余按键作为备用功能键。

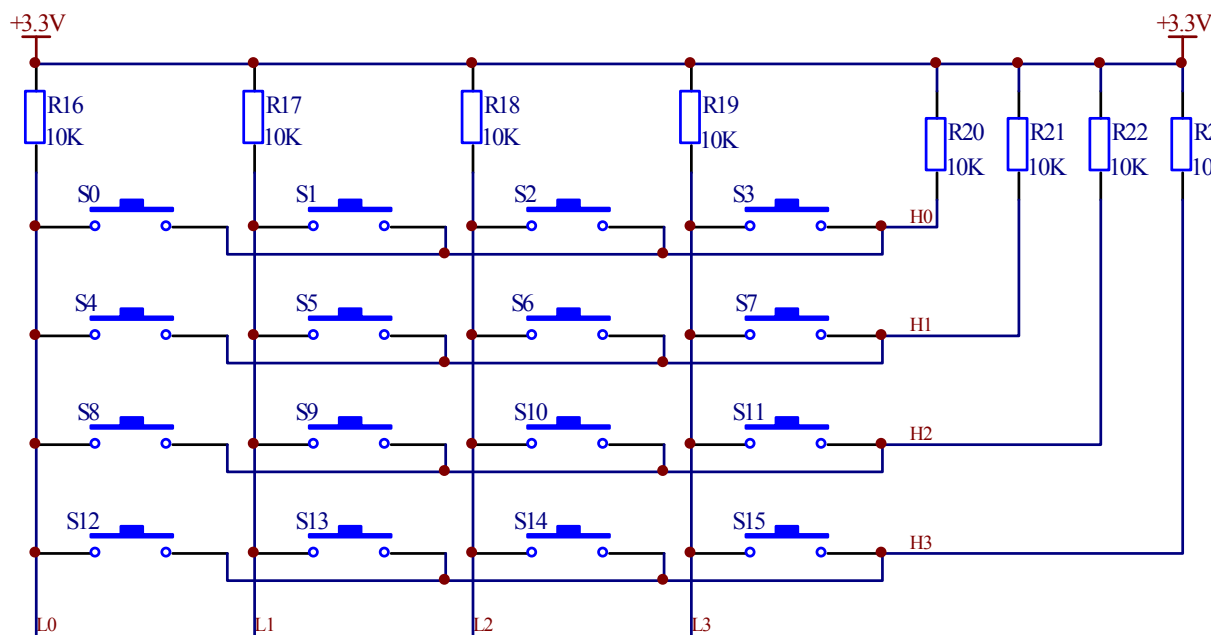


图 2.4 矩阵键盘电路结构

## 2.4 风板角度检测设计

风板的旋转角度为  $30^{\circ} \sim 150^{\circ}$ ，根据风板系统的结构分析，风板的一端固定在轴上，风板旋转的同时，对应的转轴将同步进行旋转，因此在转轴的另一侧安装角度传感器 SV01A103，该传感器的检测范围为  $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ，角度对应输出电阻为 0-10K，电位器输出阻值与检测角度成线性关系。

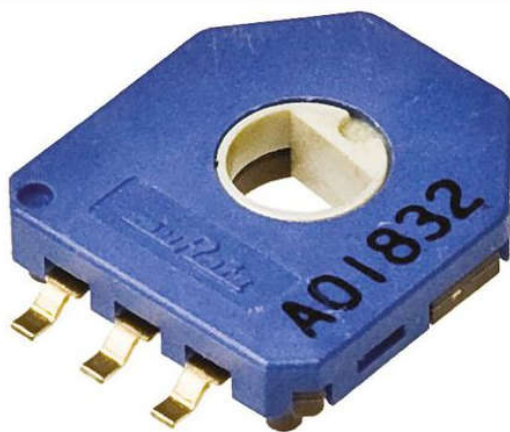


图 2.5 SV01A103 角度传感器

具体电路如图 2.6 所示，R3 即为旋转角度传感器，经 OP-07 隔离，放大后输出 0-2.5V 的电压信号送单片机的片内 A/D 转换器。

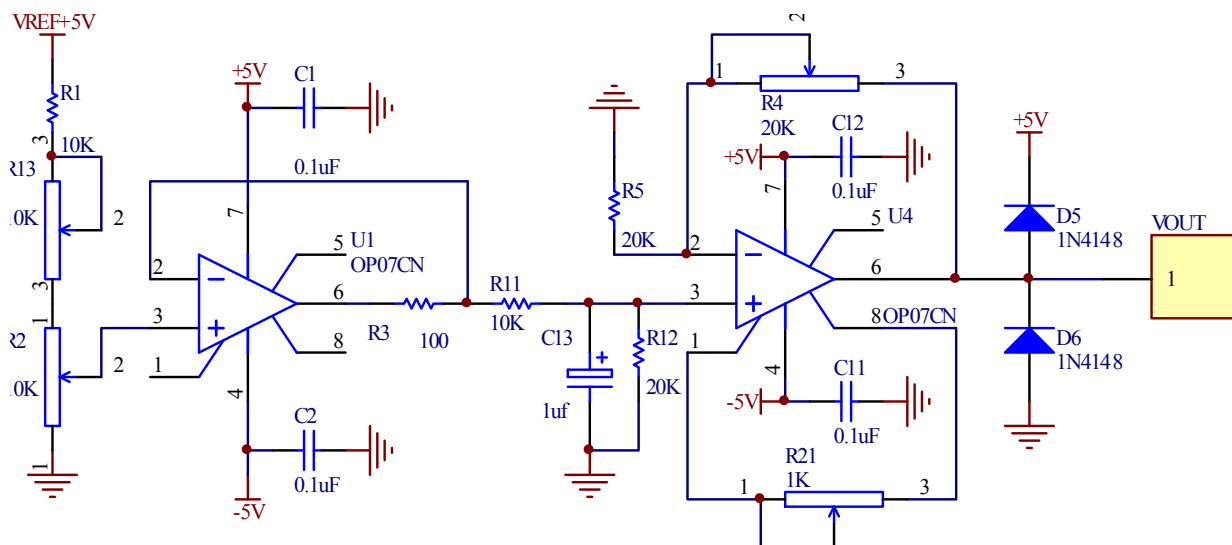


图 2.6 角度检测电路模块

AD 转换输入的数字量范围为 0~4095，对应输入角度为  $0^\circ \sim 360^\circ$ ，因此输入角度与 AD 转换的输入值对应关系为：

$$\theta = \frac{360}{4095} \times AD \quad \text{式 2-1}$$

## 2.5 直流风扇驱动电路

本设计中采用的直流风扇为 12V 轴流风扇，该风扇的额定工作电压为 12V，最大工作电流为 1.1A，因此对该风扇的调速只能通过 PWM 或 PFM 方式实现，根据微处理器的内部定时器功能结构分析，采用 PWM 方式更加合适，因此本设计中采用 PWM 方式对直流风扇进行调速，而微处理器不能直接驱动直流风扇，因此采用 LM298 模块驱动直流风扇。LM298 内部具有两路 H 桥电路，可以直接驱动 46V 以下，2A 直流电机。LM298 驱动电路如图 2.7 所示。

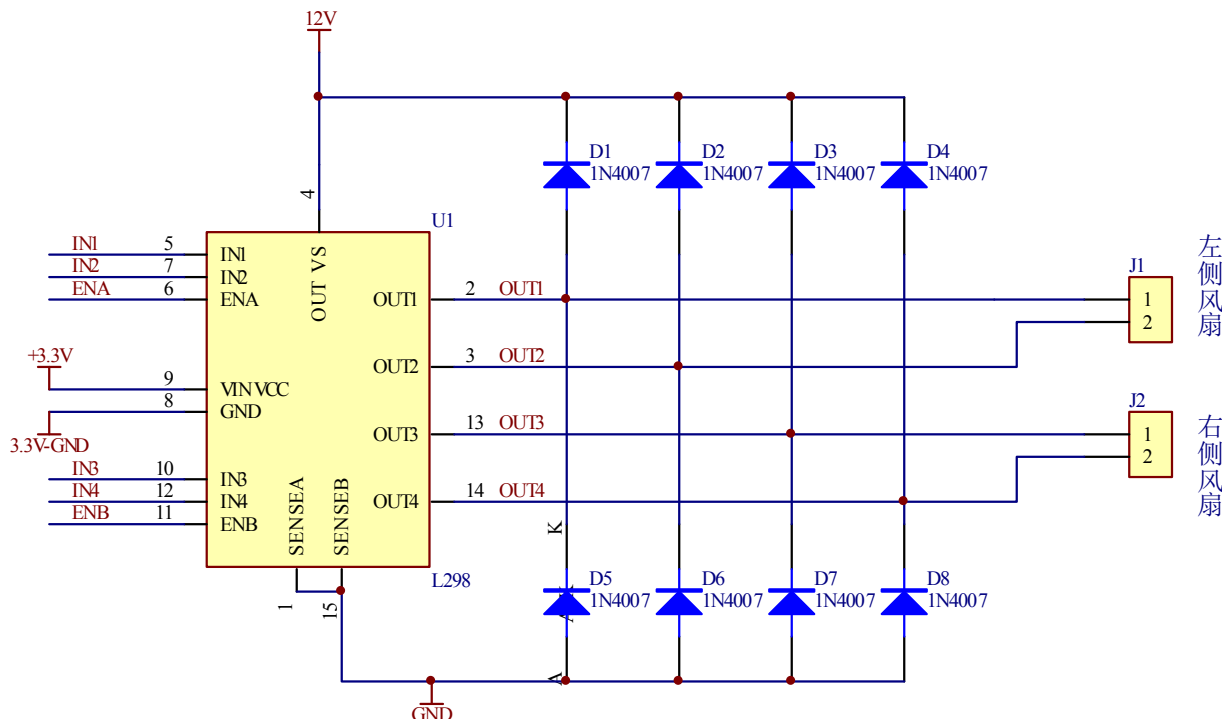


图 2.7 直流风扇驱动电路

## 2.6 限位开关电路设计

为准确检测风板到达左侧  $30^\circ$ 、右侧  $150^\circ$  位置，在左右两侧分别安装限位开关，当风板到达限定位置后开关闭合，微处理器通过 I/O 端口检测限位开关的状态，电路结构如图 2.8 所示。

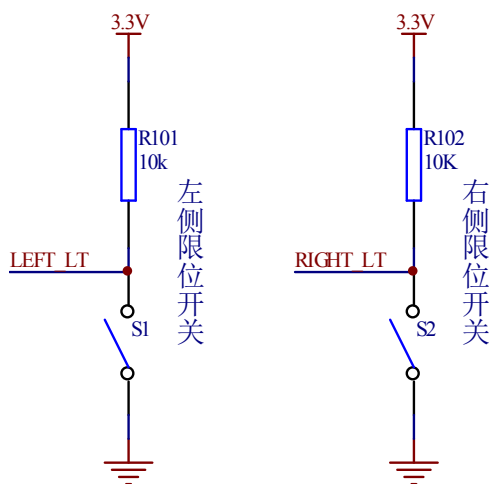


图 2.8 限位开关电路设计

## 2.7 供电电源电路设计

本设计的电源供电主要采用 12V、5A 的开关电源，设计系统中使用 3.3V 电源为微

处理器系统供电, LCD12864 采用 5V 电源供电, 12V 风扇驱动电路采用 12V 电源供电, 角度检测电路需要独立的+5V, -5V 电源为放大电路提供电源, 角度传感器采用独立的 5V 电源供电。

### 2.6.1 3.3V 电源电路设计

本设计采用 12V 直流开关电源供电, 通过开关电源模块 TPS5430 模块将电压降为 3.3V, 为单片机等电路提供电源。TPS5430 是 TI 公司最新推出的一款性能优越的 DC/DC 开关电源转换芯片。

TPS5430 具有良好的特性, 其各项性能及主要参数如下:

高电流输出: 3A (峰值 4A);

宽电压输入范围: 5.5~36V;

高转换效率: 最佳状况可达 95%;

宽电压输出范围: 最低可以调整降到 1.221V;

内部补偿最小化了外部器件数量;

固定 500kHz 转换速率;

有过流保护及热关断功能;

具有开关使能脚, 关状态仅有 17 $\mu$ A 静止电流;

TPS5430 需要一个稍大些的退耦电容。输出滤波器件 L1、C15。TPS5430 具有内部补偿电路。输出电感与最大输出电流有关, 此处电容选 0.1 $\mu$ F, 电感选择 22 $\mu$ H, 输出电容是影响额定电压、额定纹波电流和等价阻抗 (ESR) 的重要设计因素。此应用中选择 220  $\mu$ F 输出电容, 此时电路中产生的 RMS 纹波电流为 143mA, 需要最大的 ESR 为 40m $\Omega$ 。输出电压由 VSENSE 脚的电阻 (R8、R9) 决定。VSENSE 参考电压为 1.21, 因此选择 R8 为 10K, R9 为 5.9K, 输出电压为 3.3V。TPS5430 需要外部捕获二极管, 选择 1N5822, 它的反向电压为 40V, 正向电流 3A, 正向电压 0.3V。TPS5430 的 PCB 设计与一般电源设计方法相同, 按电流的方向进行布线。

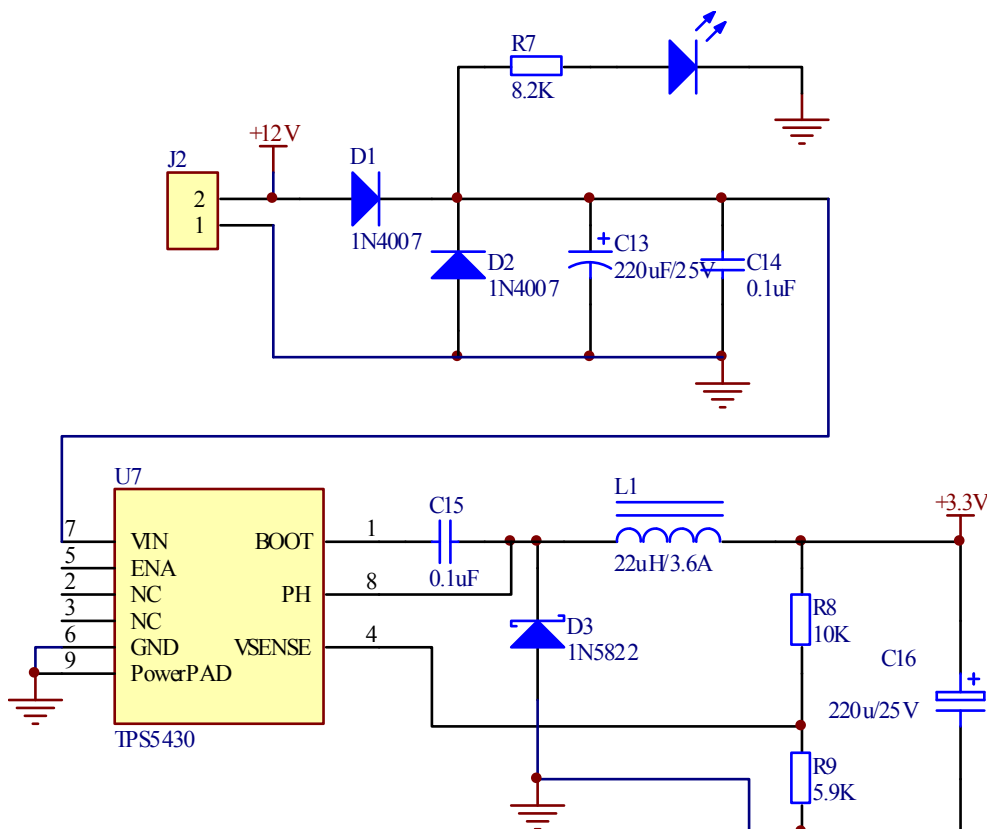


图 2.9 3.3V 供电电路

### 2.6.2 5V 电源电路设计

LCD12864 电路采用 5V 电源供电，供电电路采用 LM2576-05 设计，电路结构如图 2.10 所示，输入电压为 12V，输出电压为 5V。

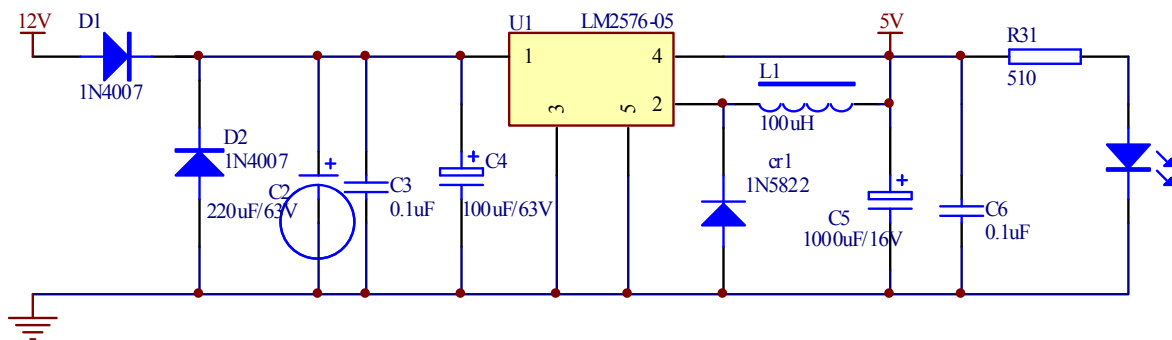


图 2.10 5V 供电电路

### 2.6.3 角度检测电路电源设计

角度检测电路需要+5V，-5V 电源为放大器电路进行供电，采用变压器降压、整流、滤波、7805 和 7905 稳压后获得+5V，-5V 电源，电路结构如图 2.11 所示。角度传感器电路的电源供电采用独立的 5V 电源“VREF+5V”供电，该部分电源采用 TL431 设计获得，如图 2.12 所示。

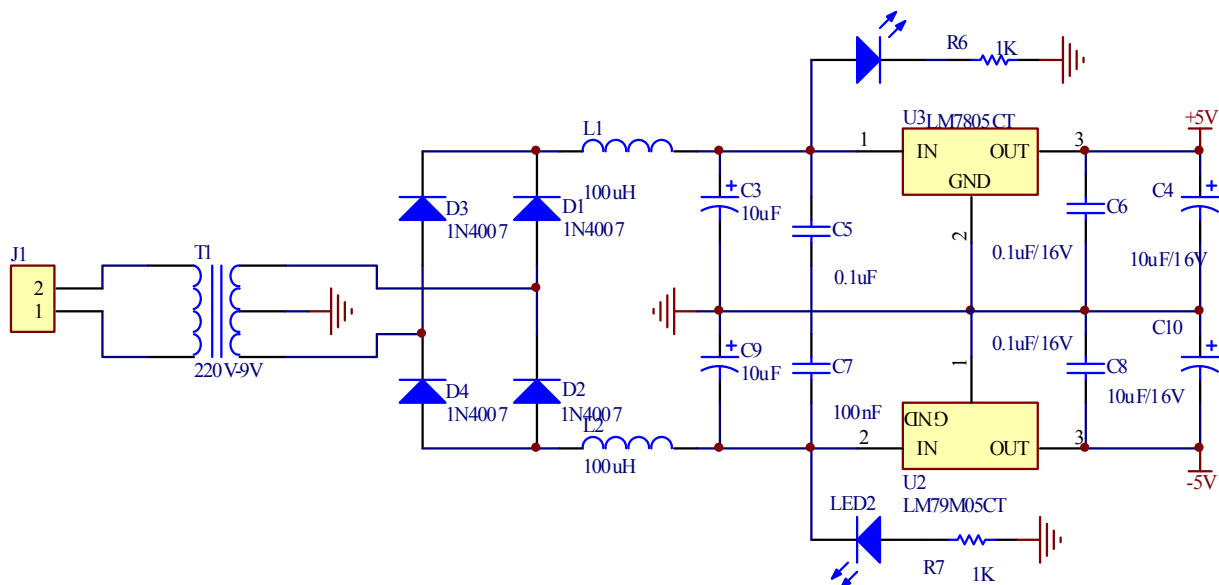


图 2.11 +5V、-5V 电源电路

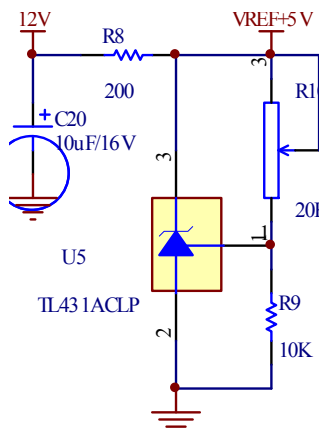


图 2.12 角度传感器电源电路

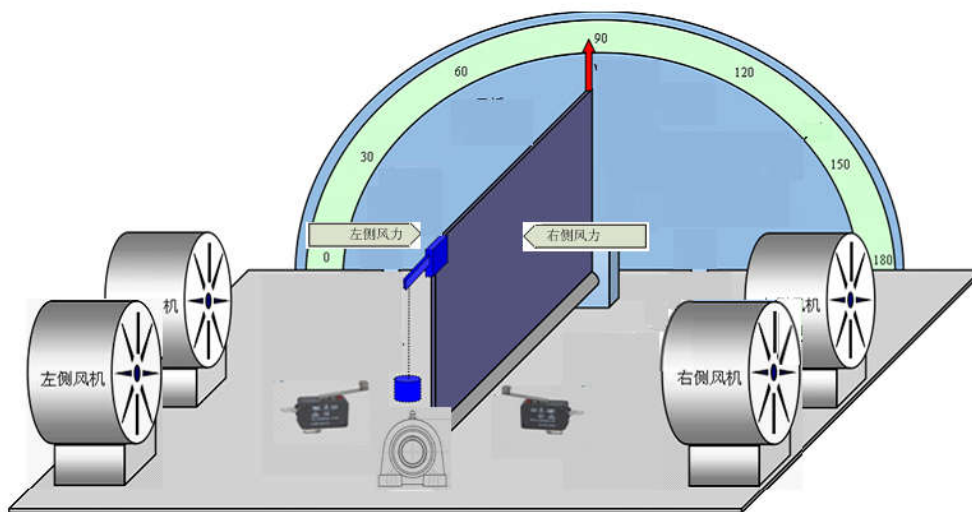
## 2.7 本章小结

本章对风板控制系统的硬件设计方案进行分析与介绍，对微处理器电路、角度检测电路、显示与键盘电路、风扇驱动电路、电源电路的结构进行了分析与介绍，硬件系统的设计能够满足风板控制能够的要求。

## 第3章 风板控制系统控制方案设计

### 3.1 风板控系统的结构分析

本设计中的被控对象为风板的控制角度，控制范围为  $45^{\circ} - 135^{\circ}$ ，两侧的直流风扇吹风量的不同导致左右两侧作用在风板上的力不同，从而使风板偏转到某一角度后两侧的风力影响与风板自身重力的影响达到力矩的平衡，实现风板稳定的停留在某个设定的角度。



通过实际风扇输出功率调试发现，当两侧风扇以固定输出功率工作时，如左侧以 40% 功率工作，右侧以 80% 功率工作，风板将在  $45^{\circ} - 55^{\circ}$  范围内进行无规律的摆动，不能够稳定在某个固定的角度，通过实际测试获知，当直流风扇输出不同的输出功率，风板将在不同角度的范围内进行无规律的摆动，并且输出功率与所在角度范围呈非线性规律，因此采用输出功率分级的方法将无法实现将风板角度稳定在某个角度。通过分析可知实现控制要求必须采用一定的控制算法。

通过实际测试发现，风板在  $45^{\circ} - 75^{\circ}$  度之间摆动时左侧风扇对控制角度影响较大，在  $120^{\circ} - 135^{\circ}$  摆动时右侧风扇对风板的角度影响较大，在  $76^{\circ} - 119^{\circ}$  之间摆动时，两侧风扇的出风量同时对风板的摆动角度有较大的影响。因此对风板角度的控制采用分段方案。

### 3.2 风板控制系统风扇输出功率方案

通过对风板系统的结构与特性分析，本系统采用分段控制与 PID 控制相结合，由于



受控对象是非线性系统的特点，两侧的风扇需要同时进行控制。因此将根据设定角度、检测角度、角度误差三项因素设计具有的控制方案。

将设定角度划分为三段， $45^{\circ} \sim 75^{\circ}$ ， $76^{\circ} \sim 114^{\circ}$ ， $115^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 。检测角度的范围划分为三段，分别为  $45^{\circ} \sim 79^{\circ}$ ， $80^{\circ} \sim 119^{\circ}$ ， $120^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 。根据不同的检测角度调整控制参数。整体控制方案如图 3.1 所示。

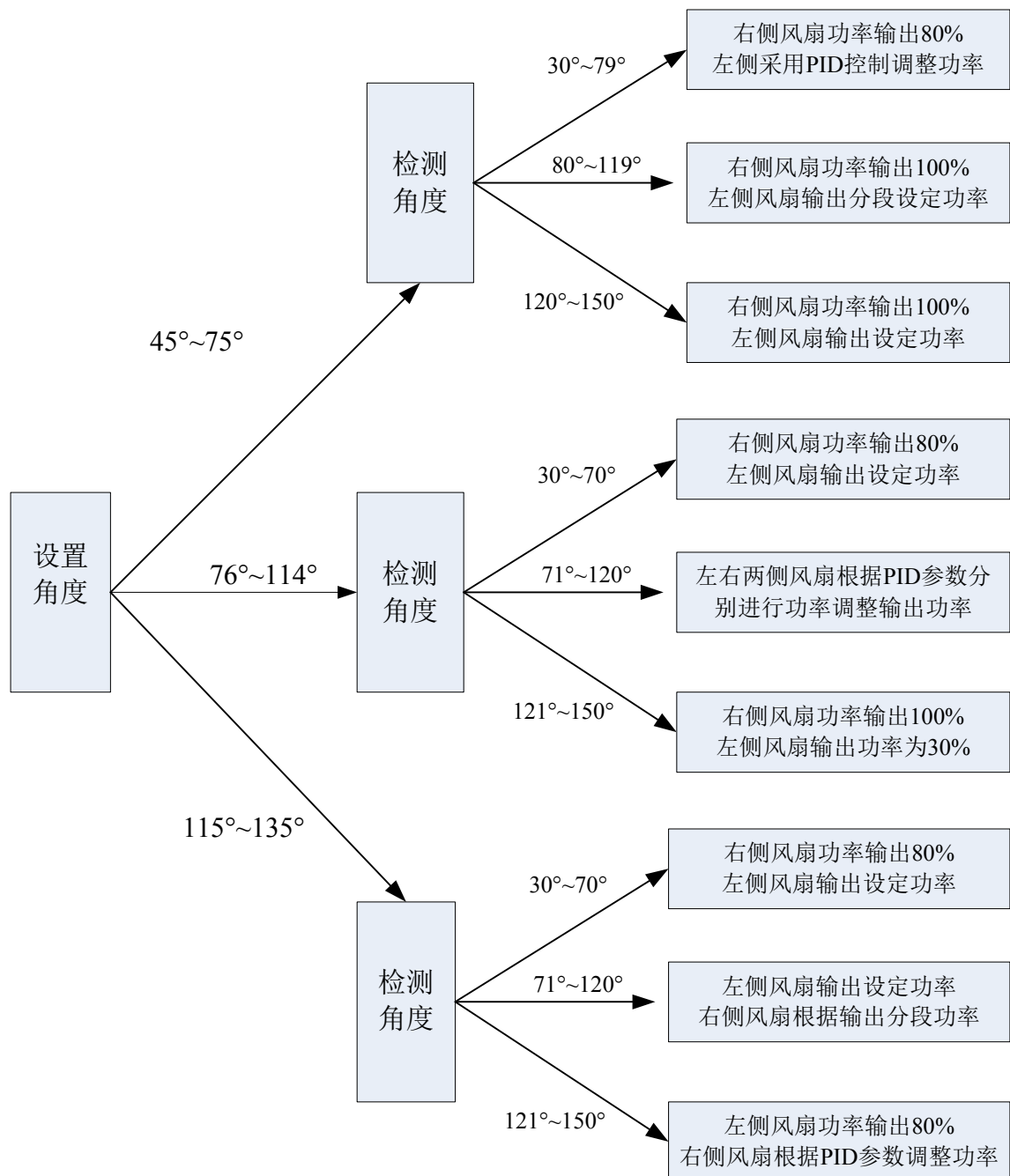


图 3.1 风扇输出功率控制方案

### 3.3 控制参数的设定

PID 控制主要依据偏差，偏差变化率，偏差的积累三方面的因素。本系统的被控对象为设定角度，设定角度为  $rin(t)$ ，输出角度为  $yout(t)$ ，则偏差为：

$$error(t) = rin(t) - yout(t) \quad (\text{式 3-1})$$

偏差变化率为：

$$derror(t) = \frac{error(t) - error(t-1)}{\Delta t} \quad (\text{式 3-2})$$

累计误差为：

$$sum(error(t)) = \int_0^t error(t) d(t) \quad (\text{式 3-3})$$

PID 的输出为：

$$u(t) = k_p \left( error(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t error(t) d(t) + \frac{T_D derror(t)}{dt} \right) \quad (\text{式 3-4})$$

$K_p$  是比例系数， $T_I$  是积分时间常数， $T_D$  是微分时间常数。

由于采用微处理器来实现控制算法，对各偏差、偏差变化率、累计误差进行数字化处理以简化微处理器的计算。可以采用如下方法实现输出的计算：

$$u(t) = k_p * error(t) + \frac{k_p}{T_I} \sum_{i=0}^{i=t} error(t) + k_p * Td * derror(t) \quad (\text{式 3-5})$$

进一步简化参数的计算：

$$u(t) = P * error(t) + I * sum(error(t-1)) + I * error(t) + D * derror(t) \quad (\text{式 3-6})$$

其中：P 为  $k_p$ ，I 为  $\frac{k_p}{T_I}$ ，D 为  $k_p * Td$ ， $sum(error(t-1))$  为本次运算前的累计误差

处理结果， $derror(t)$  为本次偏差与前次偏差的差值。本系统的控制结构如图 3.2 所示。

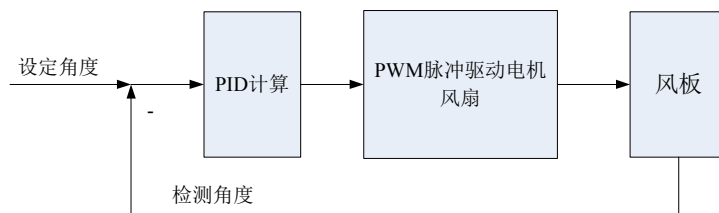


图 3.2 风板控制系统结构

本系统对直流风扇驱动使用的 PWM 的定时器时钟脉冲为 1us，1KHz 频率的 PWM 脉冲周期数为 10000，通过 PID 运算最终获得的 PWM 脉冲输出的宽度对应定时器定时脉冲宽度 0~10000，对应风扇的输出功率范围为 0 至最大输出功率。对被控角度的检测周期为 10 毫秒，10 次检测后进行数字滤波处理，求得角度的平均值，作为风板角度的检测值。因此对风板角度的采样周期为 100 毫秒，由于直流风扇的惯性较小，选择 100 毫秒的采样周期在实际调试中效果较好。

P, I, D 三个参数的调整需要进行现场进行整定。在不加负载的情况下，针对某一设定角度进行参数整定。由于整个风板系统具有一阶惯性环节的特性，在输出固定功率情况下，风板能够在某个角度范围内进行摆动，但不能稳定在较小的角度范围内，通过不断的尝试调整 P, I, D 三个参数，能够实现控制角度在 5° 范围内，但响应时间较长。尤其在启动阶段，由于风板停留在 30° 位置，启动过程具有较长的延迟特性。因此在本系统的设计中，对 PID 的控制方法进行了调整。在算法上进行了改进，在启动时刻，将  $\text{sum}(\text{error}(t-1))$  设定为某个设定值，在此基础上进行 PID 参数的重新整定。通过不断的调整，能够有效的缩短响应时间，同时满足稳态误差的要求。

由于该系统为非线性系统，因此每 5° 范围进行一次 PID 参数及初始设定值  $\text{sum}(\text{error}(0))$  的整定，分别对 45° ~75°、76° ~114°、115° ~135° 设定角度进行参数整定。并分别对空载、悬挂 10 克负载的情况下进行调试与整定。获得了对应范围设定角度范围的 PID 参数及  $\text{sum}(\text{error}(0))$  参数。

### 3.4 本章小结

本章对风板控制系统的控制系统结构进行了分析，针对设定角度范围，检测角度范围制定控制方案。对 PID 等控制参数的整定方法进行了分析，通过分段整定 PID 参数及初始偏差求和值，实现了风板系统对响应时间及稳态误差的要求。

## 第4章 风板控制系统程序设计

### 4.1 程序设计开发环境

风板控制系统的程序设计,采用 TI 公司提供的 CCS5.5 开发工具,该系统界面友好,功能完善,TI 公司提供了详细完整的设计资料。提供详细的硬件功能头文件及相当丰富的功能函数,在程序设计时,只要根据技术文档,通过使用硬件电路功能头文件即可完成对硬件电路功能的控制与操作。将程序编译完成后,通过 J-TAG 下载工具可以将程序直接下载到 MSP430 单片机中,并可以直接进行单步调试与连续调试,通过设置中断断点及参数观察窗口非常方便的查看系统的工作状态及各项参数,便于系统调试与查找逻辑错误。编辑界面如图 4.1 所示。

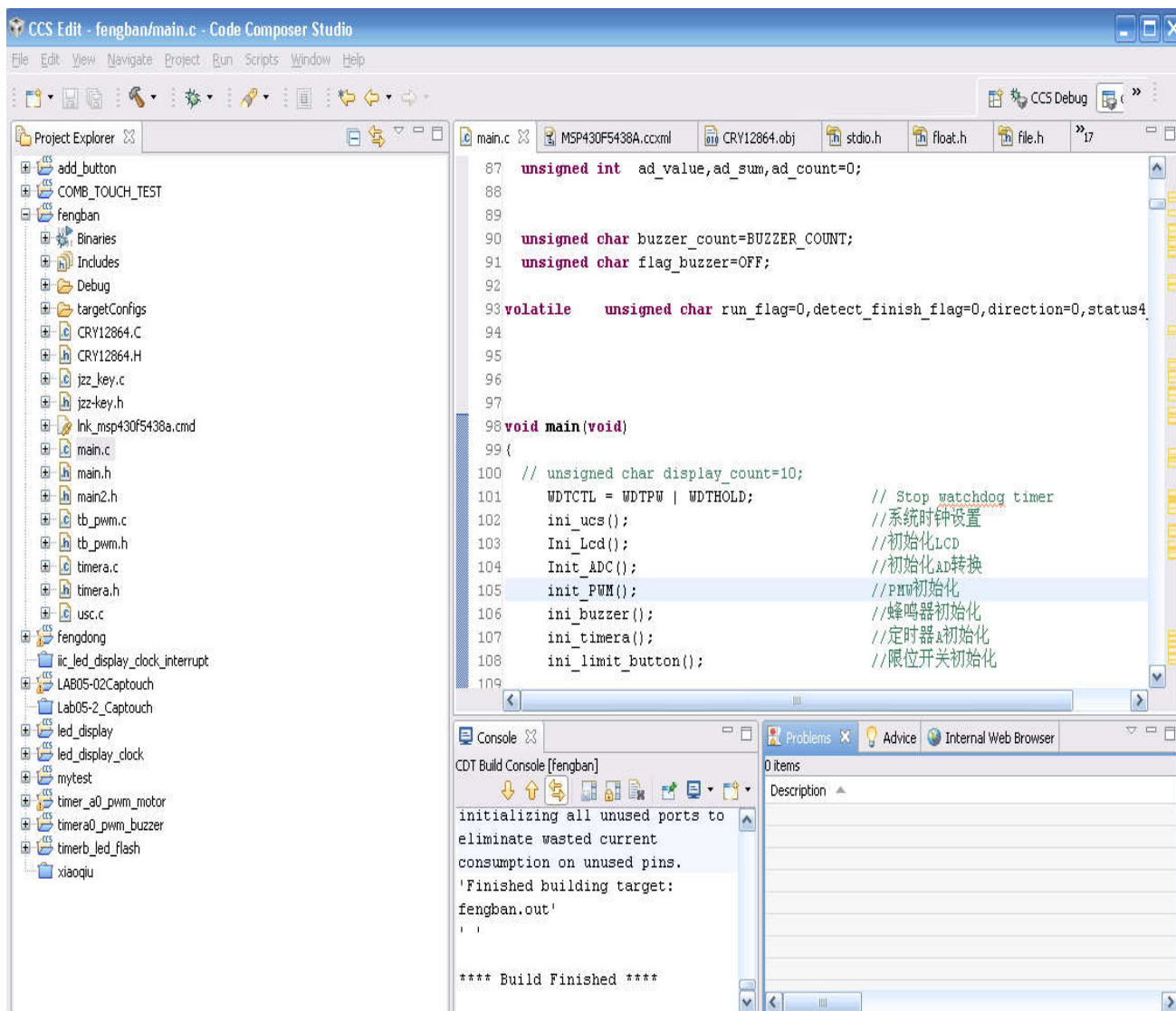


图 4.1 CCS5.5 编辑界面

## 4.2 角度控制实现操作

风板的控制系统属于闭环系统，输入值为设定角度，直接被控对象为两侧的直流电机的出风量，反馈值为风板实际旋转的角度。输入值与反馈值相减作为偏差输入，通过PID等计算获得两侧电机的输出功率值。

风板控制系统中对风板旋转的角度采用AD转换方式实现，采用MSP430F5438A内部的12位AD转换通道对输入的0~2.5V的电压进行转换，并将AD值转换为 $0^{\circ}$ ~ $360^{\circ}$ 的角度值。系统每10毫秒检测一次AD转换值，10次即100毫秒后，对10次检测值进行数字滤波，滤波后将AD值经过数据转换，转换为检测角度值。系统根据设定角度与检测角度的差值作为PID控制运算的偏差输入。

应用MSP430F5438A内部的定时器A的PWM功能，设定定时器A的定时周期为1毫秒，而定时器的输入脉冲频率为10MHz，因此定时器A的定时计数周期为10000，通过调整PWM的设定值，从而实现占空比的调整。PWM脉冲的占空比可以实现万分之一的调整精度。

根据设定角度，检测角度，偏差值，通过PID运算获得对应的输出结果。PID运算参数被保存在多维数组中，根据工作模式的不同分为空载，带10克负载两种情况。控制角度分为三段，检测角度分为三段，并且在相应的分段范围内，每 $5^{\circ}$ 进行一次PID参数的手动整定。因此在进行PID运算时，需要根据工作模式、设定角度、检测角度进行分段查表，获得相应参数，然后进行PID运算。

PID运算后输出结果在0~10000范围内，对应于PWM脉冲宽度的调整值，进行PID运算后将两侧风板对应输出值写入对应通过的PWM定时器中，从而实现对两侧的直流风扇输出功率的调整。输出角度调整流程图如图4.2所示。

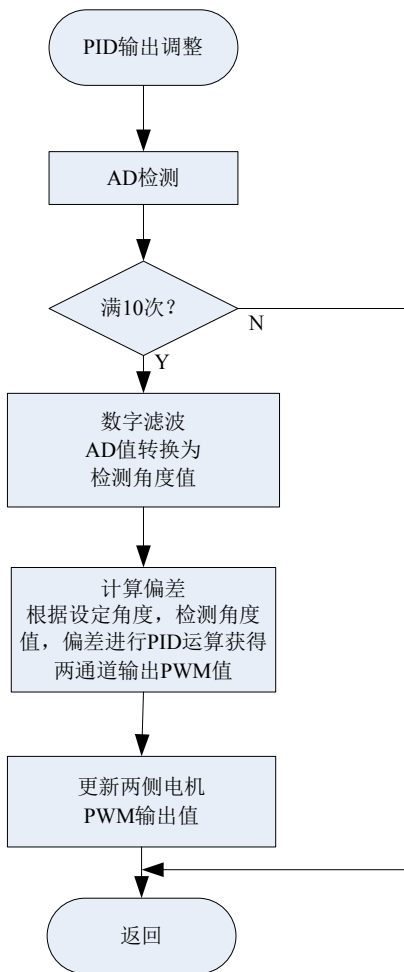


图 4.2 角度控制实现流程图

### 4.3 系统工作流程

风板系统要求能够实现 4 项工作要求, 因此将风板系统划分为 4 种工作模式。模式 1 的功能要求为风板能够从左侧  $30^{\circ}$  的起始位置开始, 稳定的停留在  $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$  范围内, 并在  $5^{\circ}$  误差范围内, 从启动到到达指定位置的时间小于 10 秒, 到达稳定位置后停留 5 秒后, 停止到右侧  $150^{\circ}$  位置。模式 2 的要求为风板能够从右侧  $150^{\circ}$  的位置开始启动, 在  $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$  范围内的两个角度之间进行摆动, 到达第一个角度的时间小于 10 秒, 在两个角度之间的摆动时间不超过 5 秒, 摆动 3 个周期后停止在左侧  $30^{\circ}$  的起始位置。模式 3 的要求为在风板的外侧悬挂 10g 重物, 实现要求 1 的功能, 并在 15 秒内到达指定角度, 稳定时间为 5 秒。模式 4 的要求为在风板的外侧悬挂 10g 重物, 风板能够从右侧  $150^{\circ}$  的位置开始启动, 在  $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$  范围内的两个角度之间进行摆动, 到达第一个角度的时间小于 15 秒, 在两个角度之间的摆动时间不超过 10 秒, 摆动 3 个周期后停止在左侧  $30^{\circ}$  的起始位置。

本系统由于使用了定时器，LCD12864，矩阵键盘，12位的AD转换器，PWM控制功能。因此在系统启动后首先需要进行初始化操作，完成对各项硬件功能的初始化操作，并进行人机操作界面的设置。

系统完成初始化，进入主循环程序，通过对键盘的检测与处理，修改设定工作模式，设置角度值及启动、停止功能。通过按键设置工作模式。通过按键设定模式1、模式3下的设定角度值，模式2、模式4下的角度1，角度2的设定值。并在各种模式下显示设定角度与检测角度，相应的工作模式。

当完成模式选择及参数设定，按下启动键后系统根据工作模式进行设定角度的控制调整，直到完成相应模式下的设计功能后直流风扇停止工作。系统工作流程如图4.3所示。

实现模式1的操作过程为当风板到达设定角度后，进行计时，到达5秒后，将设定角度设定为150°，当风板到达150°后关闭直流风扇，完成功能要求。

实现模式2过程中，当控制角度到达第一个设定角度后，立刻将设定角度设置为第二个设定角度，并相应的调整PID等控制参数，当控制角度到达第二设定角度后将控制角度重新设定为第一设定角度。当摆动次数达到后，将设定角度设置为30°，当风板回到30°则停止工作，完成设计要求。

模式3，模式4的实现过程与模式1，模式2的控制方法相同，但由于被控对象上增加了10克重物，控制参数都不相同。

主程序代码如下：

```
void main(void)
{
    // unsigned char display_count=10;
    WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD;           // Stop watchdog timer
    ini_ucs();                           //系统时钟设置
    Ini_Lcd();                           //初始化LCD
    Init_ADC();                          //初始化AD转换
    init_PWM();                          //PMW初始化
    ini_buzzer();                        //蜂鸣器初始化
    ini_timera();                        //定时器A初始化
    ini_limit_button();                 //限位开关初始化
}
```

```

ini_display_picture();           //LCD显示屏内容初始化
WRITE_PWMA(PWM_value_left);
WRITE_PWMC(PWM_value_right);
set_angle1=60;
set_angle2=70;
ad_sum=0;
ad_count=0;
_EINT();
while(1)
{
    key=ju_key_detect(); //检测按键输入
    ju_keytreat (key);    //矩阵键盘处理
    lcd_display();        //LCD显示
    if(flag_10ms==1)      //10ms事件处理
    {
        flag_10ms=0;
        ad_sum+=ADC12MEM0;
        ad_count++;
    }
    if(flag_100ms==1)     //100ms事件处理
    {
        flag_100ms=0;
        buzzer();
        ad_value=ad_sum/ad_count;
        ad_sum=0;
        ad_count=0;
        treat_ad();
        up_data_pwm_out();
        limit_button_detect();
    }
}
}

```



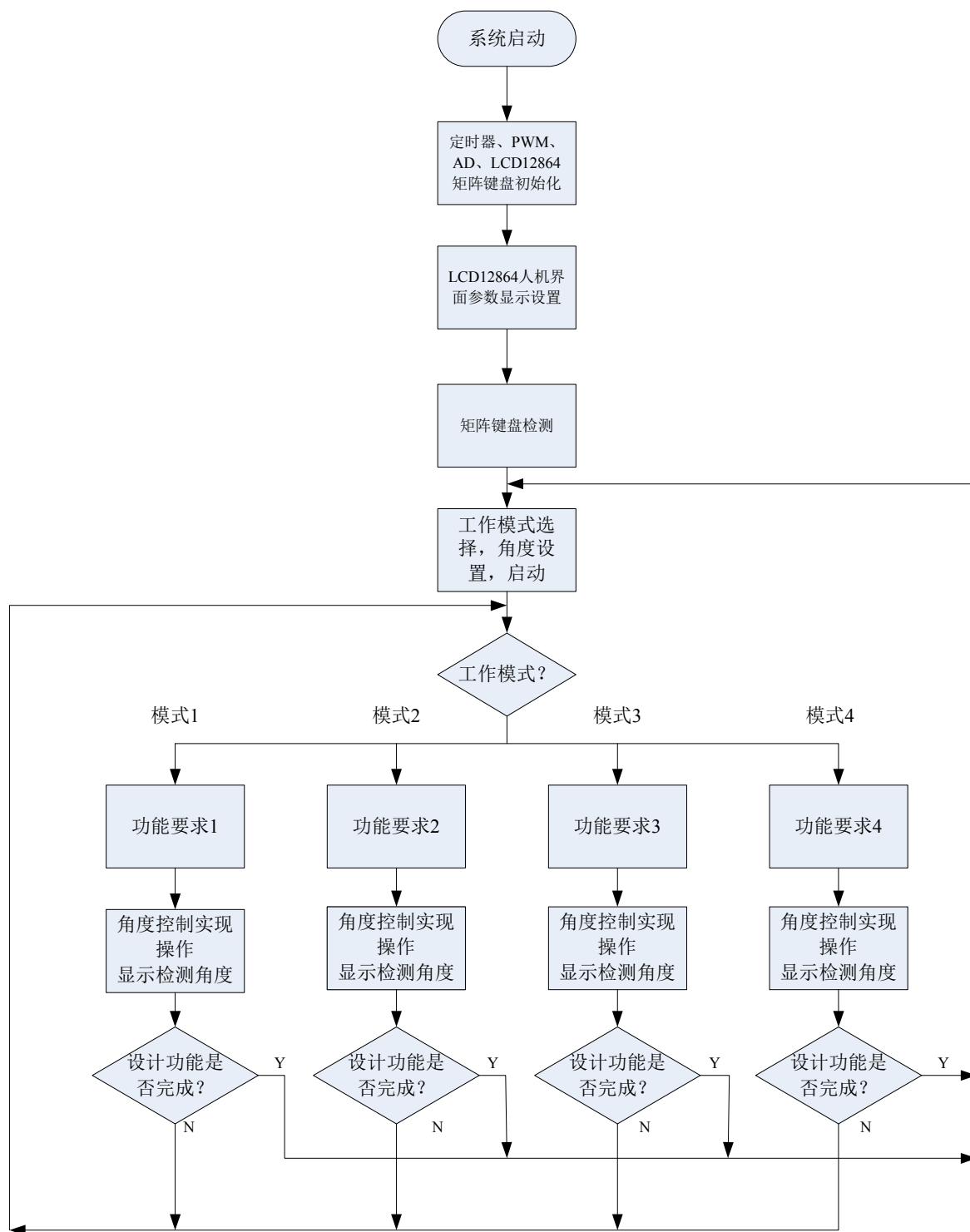


图 4.3 系统设计流程图

#### 4.4 设计要求1的角度控制过程

当工作模式设置为模式1后,按下启动键则系统开始实现控制要求,根据设定角度、检测角度、偏差值进行PID运算,计算两侧直流风机的PWM输出值。当检测角度到达设定角度后,开始计时,当风板稳定在设定角度的 $5^{\circ}$ 范围内的时间到达5秒后,将设定角度修改为 $150^{\circ}$ ,系统根据新的设定角度、检测角度、偏差值重新进行PID运算,当风板到达 $150^{\circ}$ 位置后两侧直流风机停止工作,并发出声光报警。模式1工作流程如图4.4所示。模式3的工作流程与模式1相同。

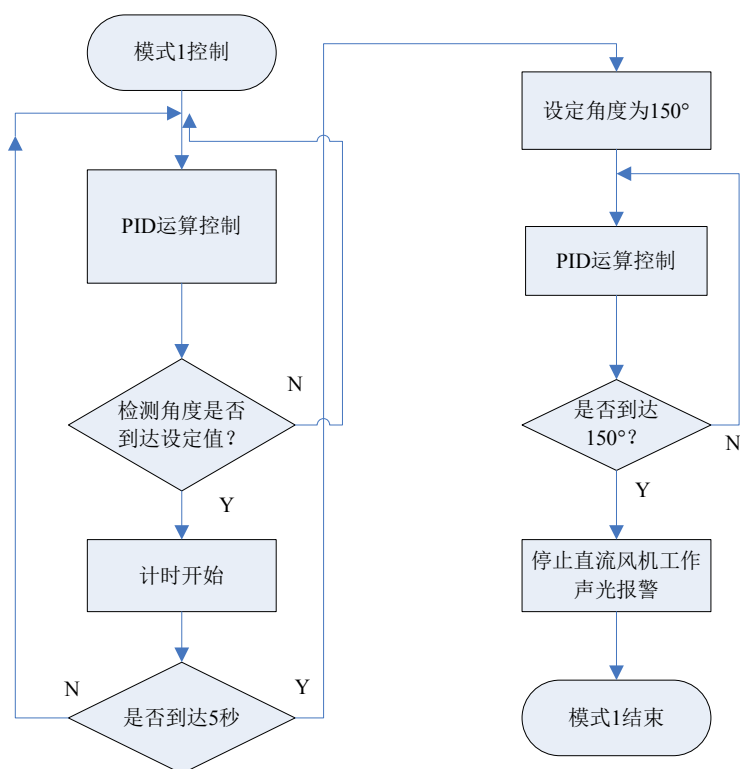


图 4.4 模式 1 工作流程图

#### 4.5 设计要求2的角度控制过程

当工作模式设置为模式2后,按下启动键则系统开始实现控制要求,设定角度为角度1,根据设定角度、检测角度、偏差值进行PID运算,计算两侧直流风机的PWM输出值。当检测角度到达设定角1后,将角度2作为设定角度,并对角度1到角度2的运动次数进行计数,当检测检测角度到达角度2后,再将角度1作为设定角度。当风板回到角度2,且运动次数到达3次后将设定角度修改为 $30^{\circ}$ ,当风板到达 $30^{\circ}$ 位置后两侧直流风机停止工作,并发出声光报警。模式2工作流程如图4.4所示。模式4的工作流程与模式2相同。

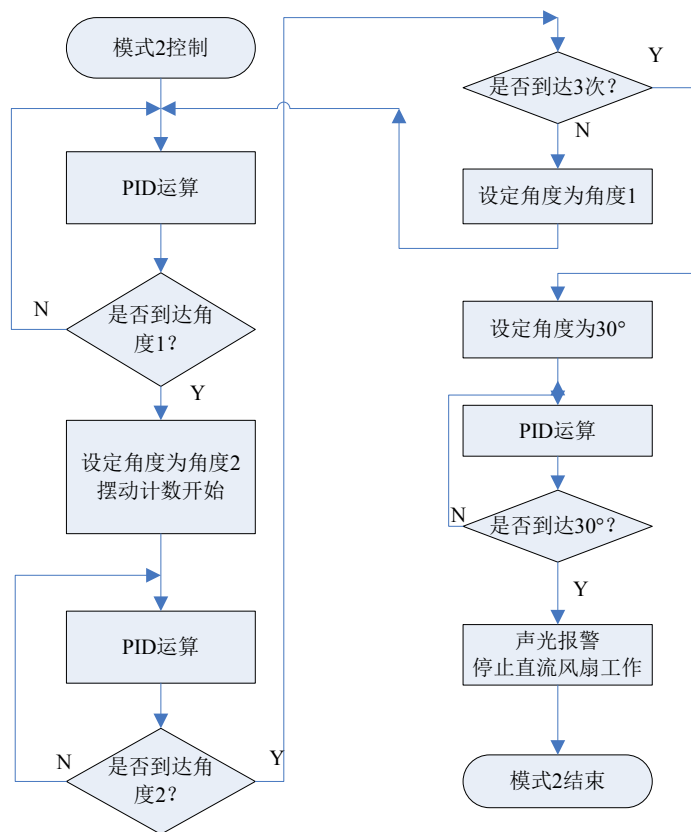


图 4.4 模式 2 工作流程图

#### 4.6 本章小结

本章对风板系统的软件编辑及调试环境进行了介绍，对控制角度 PID 运算及实现过程进行了分析，对系统的工作流程进行了详细的叙述，详细的介绍了模式 1，模式 2 的功能实现流程，模式 3，模式 4 的实现过程与模式 1，模式 2 的控制方法相同。

## 第 5 章 风板系统功能测试

根据设计要求对风板的运动方向、运动时间、指定位置维持时间要求，使用量角器、秒表直接测量相应数据。

### 5.1 测试结果

通过手动按键将工作模式设置为状态 1，通过按键设置风板的转动角度，按下启动键后开始测量，操作界面如图 5.1 所示。测量数据如表 5.1、表 5.2 所示。风板起始位置在  $30^\circ$  处，如图 5.2 所示。



图 5.1 控制电路界面

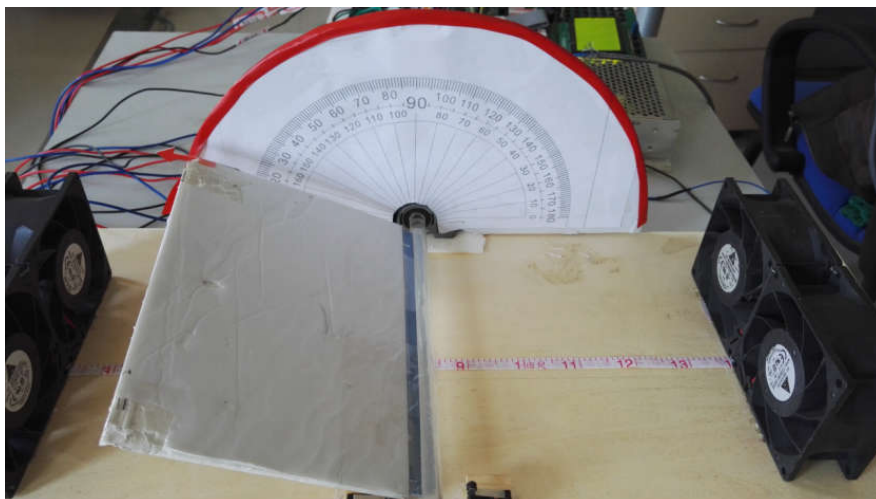


图 5.2 模式 1 的风板启动位置

表 5.1 工作模式 1 测试数据

预置角度	45°			55°			75°		
序号	①	②	③	①	②	③	①	②	③
实际角度 (°)	43-46	44-47	43-46	54-57	53-56	54-56	74-76	73-77	74-77
过渡时间 (s)	3	3	4	3	4	4	5	4	4
停留时间 (s)	5	5	5	5	5	5	5	5	5

表 5.2 工作模式 1 测试数据

预置角度	95°			115°			135°		
序号	①	②	③	①	②	③	①	②	③
实际角度 (°)	93-96	94-97	93-97	114-117	113-117	114-117	133-136	133-137	134-137
过渡时间 (s)	4	5	5	5	6	5	6	6	7
停留时间 (s)	5	5	5	5	5	5	5	5	5

在模式 2 下设置角度 1, 角度 2 的角度值, 按下启动键后进行数据测量, 模式 2 的启动位置为 150° 位置。如图 5.3 所示。测试数据如表 5.3, 5.4 所示。

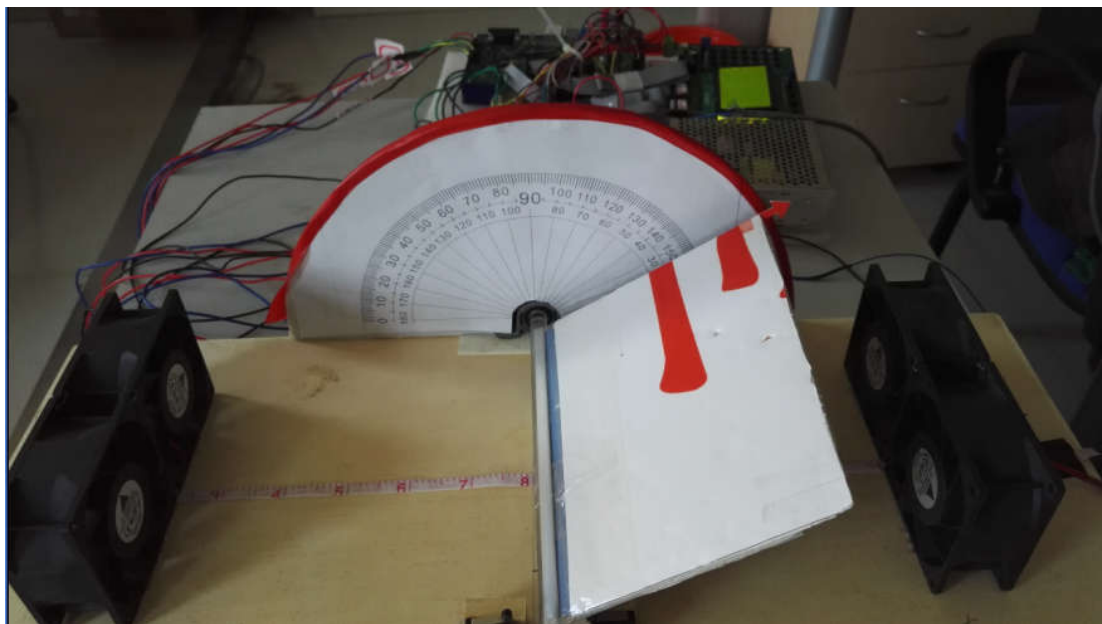


图 5.3 模式 2 风板启动位置

表 5.3 工作模式 2 测试数据

预置角度	50° - 130°							
序号	①		②		③		④	
实际角度 (°)	48	131	49	130	52	132	50	129
过渡时间 (s)	6		5		6		5	
摆动次数	3		3		3		3	
平均摆动周期 (s)	4		3		3		4	

表 5.4 工作模式 2 测试数据

预置角度	65° - 115°							
序号	①		②		③		④	
实际角度 (°)	65	114	64	117	64	114	65	114
过渡时间 (s)	5		6		6		5	
摆动次数	3		3		3		3	
平均摆动周期 (s)	3		2		3		2	

将工作模式设定为模式 3，将风板放置在 30° 位置，并在风板上悬挂 10 克砝码，

按下启动键后进行测试，测试数据如表 5.5，5.6 所示。

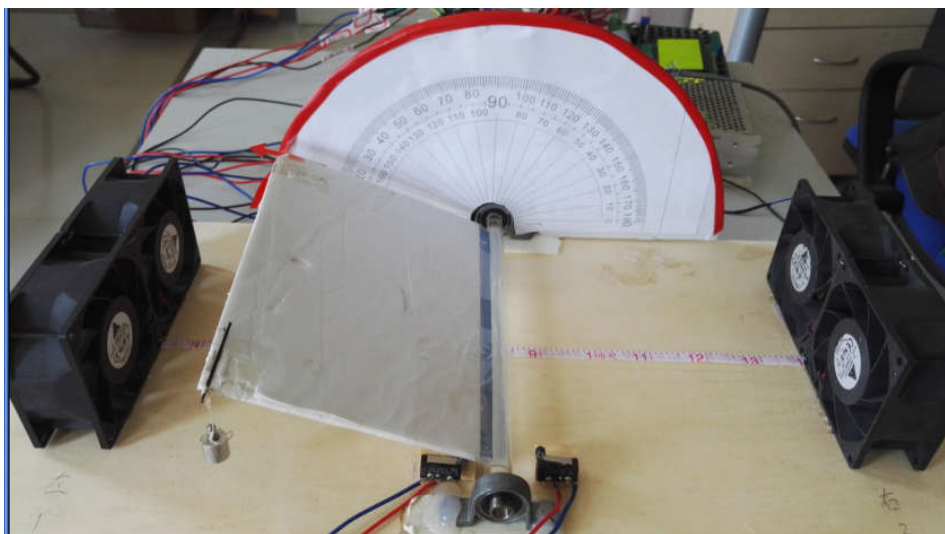


图 5.4 模式 3 风板启动位置

表 5.5 工作模式 3 测试数据

预置角度	55°			65°			75°		
序号	①	②	③	①	②	③	①	②	③
实际角度 (°)	54-57	53-56	55-57	64-67	63-66	64-66	74-76	73-77	74-77
过渡时间 (s)	5	6	6	6	7	6	7	7	6
停留时间 (s)	5	5	5	5	5	5	5	5	5

表 5.6 工作模式 3 测试数据

预置角度	90°			110°			120°		
序号	①	②	③	①	②	③	①	②	③
实际角度 (°)	93-96	94-97	93-97	107-111	108-112	110-113	117-121	118-122	121-122
过渡时间 (s)	7	7	8	7	8	7	8	8	7
停留时间 (s)	5	5	5	5	5	5	5	5	5

将工作模式设定为模式 4，将风板放置在 150° 位置，并在风板上悬挂 10 克砝码，按下启动键后进行测试，测试数据如表 5.7，5.8 所示。

表 5.7 工作模式 4 测试数据

预置角度	70° - 115°							
序号	①		②		③		④	
实际角度 (°)	70	117	70	117	71	116	70	117
过渡时	9		9		9		10	

间 (s)				
摆动次数	3	3	3	3
平均摆动周期 (s)	5	6	6	5

表 5.8 工作模式 4 测试数据

预置角度	60° -120°							
序号	①		②		③		④	
实际角度 (°)	60	123	61	123	61	117	61	122
过渡时间 (s)	7		7		8		7	
摆动次数	3		3		3		3	
平均摆动周期 (s)	6		6		7		7	

## 5.2 测试结果分析

工作模式 1 分析：完成要求 1 时，由于没有负载，过渡时间短，随着角度加大时间变长，控制效果仍然能满足设计要求，控制效果好。

工作模式 2 分析：完成要求 2 时，在两个预置角度差越小时，摆动周期越小，摆动误差成正态分布，能较好完成任务要求。

工作模式 3 分析：完成要求 3 时，预置角度小时过渡时间短，随着预置角度加大时间变长。有砝码状态下，过渡时间长于无负重转态，能较好完成任务要求。

工作模式 4 分析：完成要求 4 时，在两个预置角度差越小时，摆动周期越小，误差越小，预置角度差越大时，摆动误差大，能较好完成任务要求。

位置的测量精度较高，实时性好，并能准确地进行声光报警。

通过测试可以发现在带负载的情况下，响应时间及摆动周期的变长，如果需要进一步提升设计指标，可以采用更大功率的直流风扇。

## 5.3 本章小结

本章内容为对风板系统的控制功能进行测试，通过对 4 种工作模式下，随机进行测试，通过数据比价可以看出风板控制系统实现了控制要求，不论在响应时间，稳态误差方面都较好的满足了设计要求。



## 总结与展望

### 一、总结

本设计以 MSP430F5438A 单片机作为控制核心，采用角度传感器检测风板的选择角度输出 0~2.5V 电压，应用 MSP430F5438A 内部的 AD 转换功能进行检测，并转换为角度，通过分段 PID 算法获得直流风扇的输出功率值，通过 MSP430F5438A 的 PWM 通道驱动 LM298 模块控制直流风扇的输出功率，实现风板角度的控制功能。

通过对风板系统的响应特性进行分析获知，由直流风扇驱动的风板系统是一种具有一阶惯性系统的特性及滞后特性的非线性系统。对于该系统仅仅采用单一的 PID 控制算法很难满足设计要求。根据设定角度、检测角度、偏差值等因素设计控制方案，通过现场调试，分别针对空载及携带 10 克负载的情况下进行分段整定 PID 等参数，完善风板角度的控制算法。

通过按键设定工作模式，分别实现了控制要求 1 至要求 4 的功能，通过现场的测试数据分析，该控制系统能够有效的完成设计要求。

### 二、今后研究方向

本设计中风板控制系统实现了控制要求，但对该系统的研究仍然不够，今后将进一步对风板系统的数学模型进行深入研究，争取获得准确可靠的数学模型，并通过仿真操作深度探索有效的控制算法。

在分段 PID 控制算法方面的研究仍然不够深入，进行将尝试采用模糊 PID、神经网络等算法进行风板角度的控制，争取取得更好的控制效果。

## 参考文献

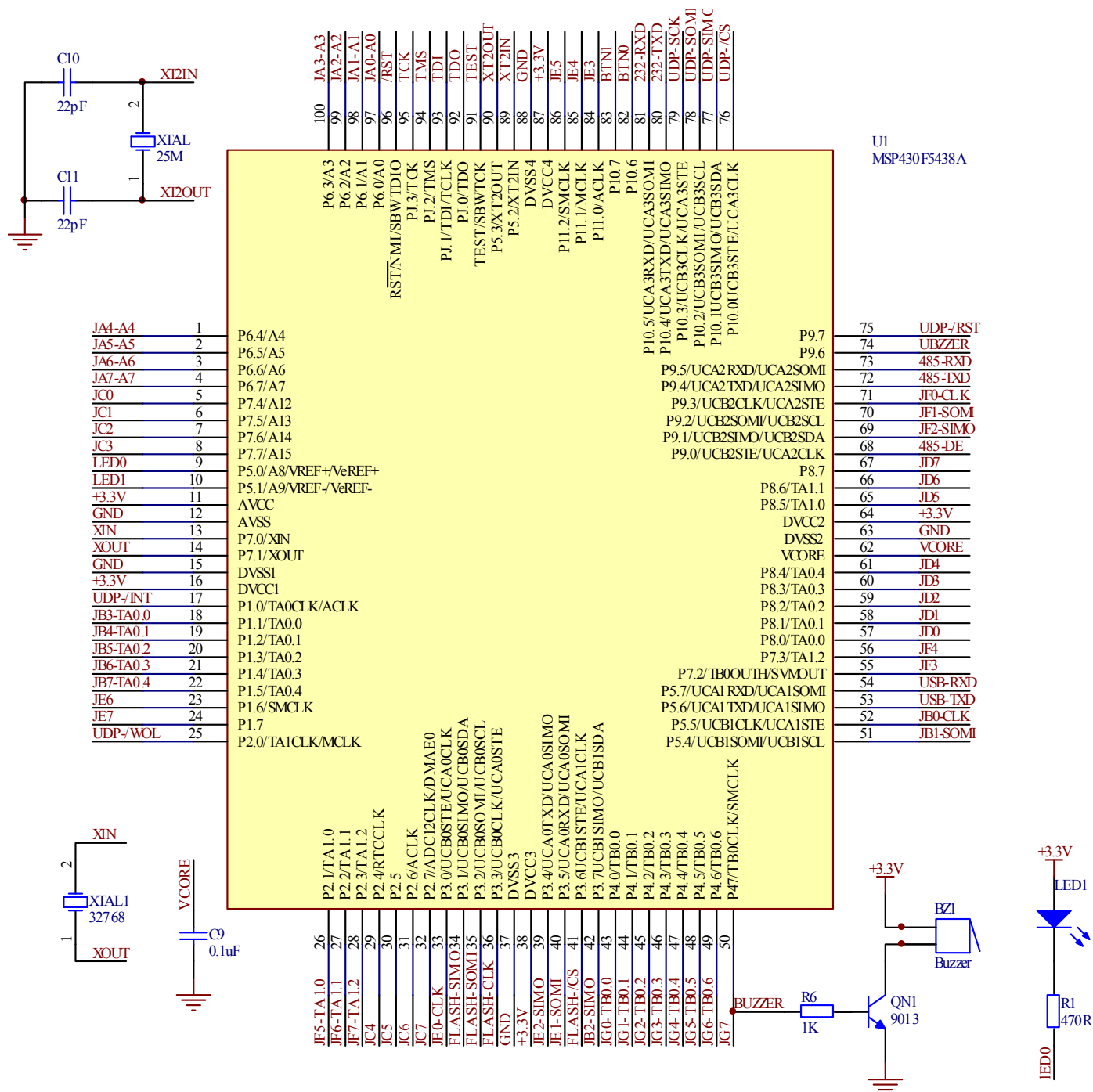
- [1]吴翔,王思华. 基于 DSP 的小型直流风扇自动化测试系统[J]. 电子技术应用,2005,07:24-26.
- [2]潘银松,覃海洋. 基于 FPGA 的防脉冲干扰温控调速直流风扇研究[J]. 微特电机,2015,09:97-99.
- [3]Rufino Olay. 使用 PWM 控制直流风扇[J]. 中国电子商情(基础电子),2012,05:59-63.
- [4]杨杰,乔俊力,丁友涛. 基于 MSP430 系列单片机的感应加热系统[J]. 电子技术,2010, 08: 40-41.
- [5]王恩亮. 中频电炉控制系统设计[D]:[硕士学位论文]. 无锡:江南大学, 2014.
- [6]王恩亮. 模糊 PID 控制的中频电炉温控系统设计[J]. 微型机与应用,2014,24:75-77.
- [7]王恩亮. 基于 MSP4305438A 的中频电炉温度控制设计[J]. 鄂州大学学报,2014,10:104-106.
- [8]马爱虹,李海亮. TI 公司电源转换芯片 TPS5430 及其应用[OL]. <http://wenku.baidu.com>,2011.12.
- [9]TPS5430 中文资料[OL]. <http://wenku.baidu.com>,2012.
- [10]MSPF5438数据手册[OL].<http://www.TI.com>,2012,5.
- [11]李全利. 单片机原理及接口技术(第二版)[M].北京.高等教育出版社, 2009.
- [12]王君荣,陈名松. 数字 PID 控制算法的研究和仿真[J]. 大众科技,2008,04:27-28.
- [13]付君,张桂臣. 数字 PID 控制算法在电子调速器中的应用[J]. 青岛远洋船员学院学报,2005,04:12-14+71.
- [14]肖文健,李永科. 基于增量式 PID 控制算法的智能车设计[J]. 信息技术,2012,10:125-127.
- [15]谭加加,刘鸿宇,黄武,吴先华. PID 控制算法综述[J]. 电子世界,2015,16:78-79.
- [16]刘剑,陈建,邬连学. 一种数字 PID 控制算法分析[J]. 承德石油高等专科学校学报,2007,03:11-13+20.
- [17]杨新华. PID 控制算法的科学研究分析[J]. 电子技术与软件工程,2015,18:151.

## 致 谢

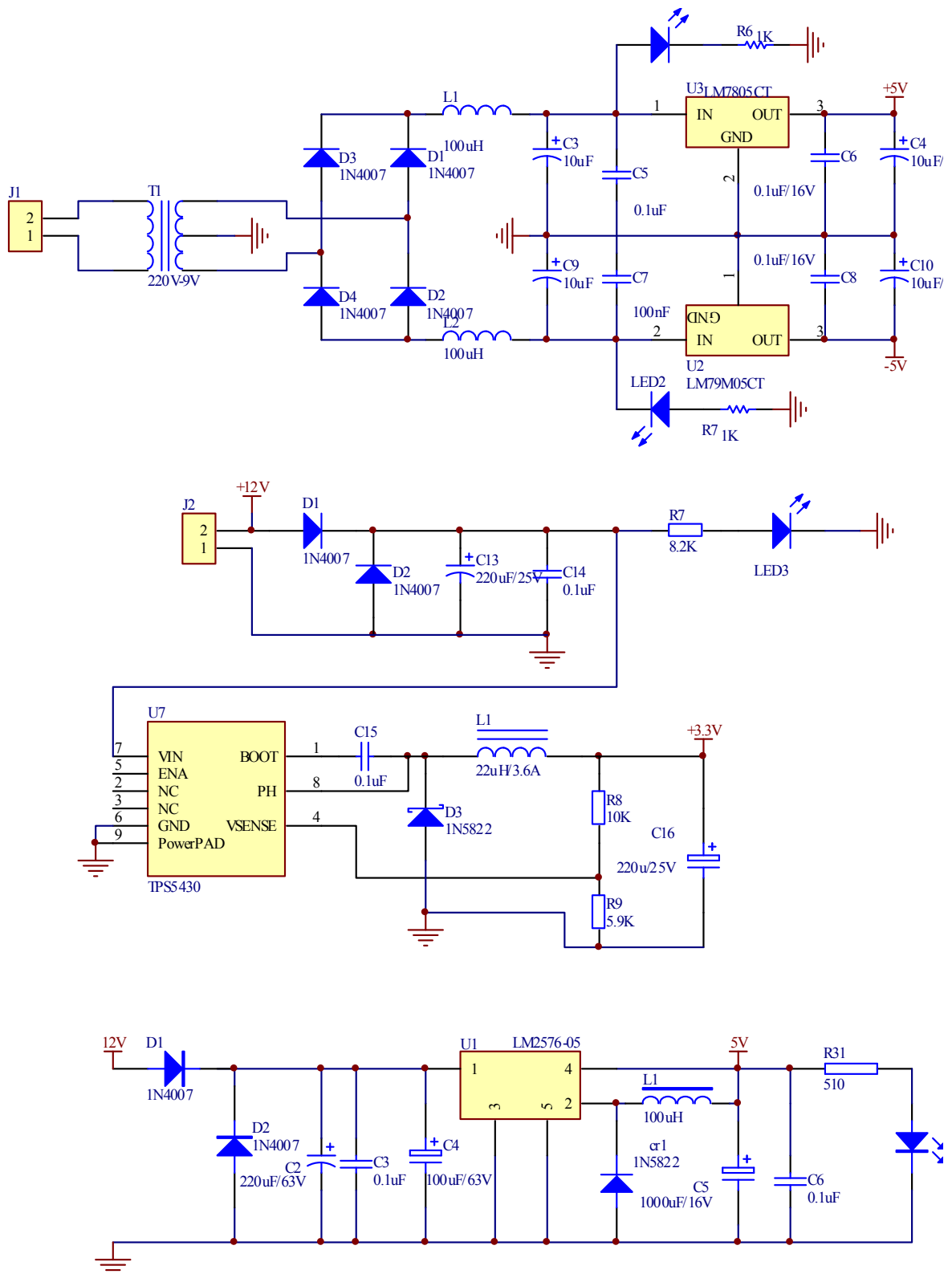
本设计在指导老师王恩亮老师的悉心指导下完成的。从设计的选题，相关资料的查寻，到论文的撰写这一整个过程中，王恩亮老师以其广博的知识、丰富的经验、清晰的思路，自始至终给我以指导。感谢王老师不辞辛劳地在我设计期间在理论和实践各个方面对我的有益的建议和具体指导，他诲人不倦的精神、严谨的治学态度、平易近人的工作作风、渊博的学识，使我钦佩不已，终生难忘。使我能够顺利完成设计。在此设计完成之际，对王恩亮老师表示衷心的感谢！

## 附录 A 硬件电路原理图

## 1. 主控电路及声光报警电路

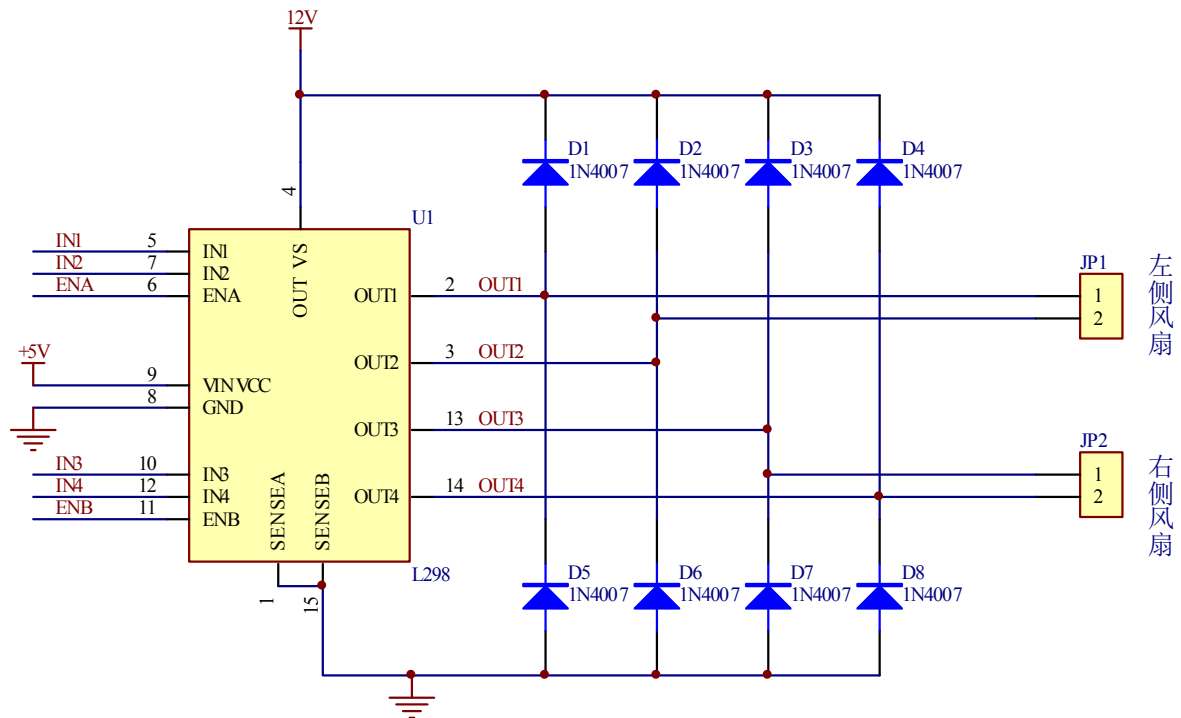


## 2. 电源电路





## 5. LM298 驱动电路



## 附录 B 主程序清单

## 1. 主程序清单

```

void main(void)
{
    // unsigned char display_count=10;
    WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD;
    ini_ucs();
    Ini_Lcd();
    Init_ADC();
    init_PWM();
    ini_buzzer();
    ini_timera();
    ini_limit_button();
    ini_display_picture();
    WRITE_PWMA(PWM_value_left);
    WRITE_PWMC(PWM_value_right);
    set_angle1=60;
    set_angle2=70;
    ad_sum=0;
    // Stop watchdog timer
    //系统时钟设置
    //初始化LCD
    //初始化AD转换
    //PMW初始化
    //蜂鸣器初始化
    //定时器A初始化
    //限位开关初始化
    //LCD显示屏内容初始化

```

```
    ad_count=0;
    _EINT();           //终端允许
    while(1)
    {
        key=ju_key_detect(); //检测按键输入
        ju_keytreat(key);    //矩阵键盘处理
        lcd_display();       //LCD显示
        if(flag_10ms==1)     //10ms事件处理
        {
            flag_10ms=0;
            ad_sum+=ADC12MEM0;
            ad_count++;       //AD转化求和
        }
        if(flag_100ms==1)    //100ms事件处理
        {
            flag_100ms=0;
            buzzer();
            ad_value=ad_sum/ad_count;
            ad_sum=0;
            ad_count=0;
            treat_ad();
            up_data_pwm_out(); //PID控制处理
            limit_button_detect();
        }
    }
}
```