

从而使接收机信号做出相应的改变，实现飞行器的控制。 t_s 信号与操纵杆的动作无关，有较长的时间宽度，当接收机由于杂音信号干扰引起信号排列紊乱时，它能自动整形。在脉冲信号之间是没有无线电信号的间隔期 t_0 ，它使接收机可靠的区别多个信号。

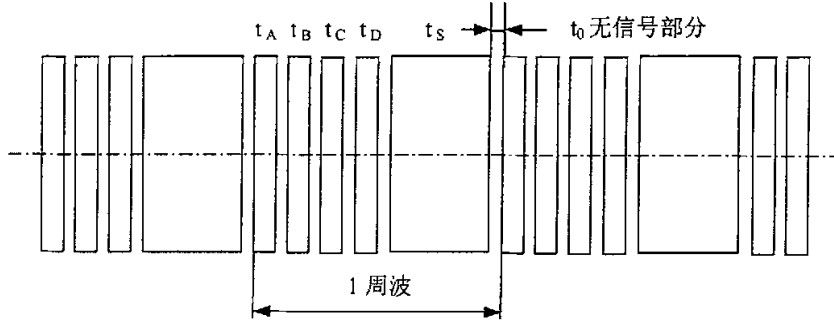


图 3-8 遥控信号波形

接收机组成如图 3-9 所示，组合要由接收电路、译码电路等部分组成。从接收电路出来的低频输出通过译码电路就能读出由发射机发出的操纵杆动作信号 t_A 、 t_B 、 t_C 、 t_D 。

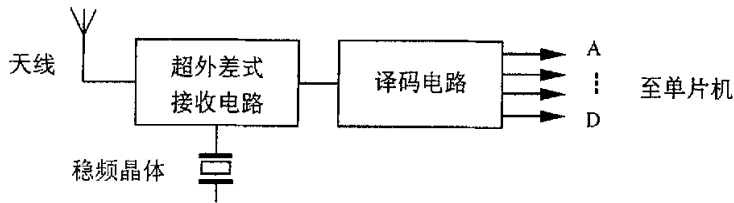


图 3-9 接收机组成示意图

3.2.4 角度传感器模块设计^{[34][35][36]}

角度传感器模块的功能主要是测量飞行器当前姿态，在控制系统中增加角度反馈环节，以提高飞行器在飞行过程中的自适应能力。由于四桨碟形飞行器是一个非常离散的系统，因此对角度传感模块的响应速度提出了更高的要求。

3.2.4.1 概述

角度的测量通常采用倾角传感器，倾角传感器包括“固体摆”式、“液体摆”式、“气体摆”式传感器。但传统的倾角传感器一般响应速度都比较慢，如膜电位倾角传感器、CJRS-1 型气体倾角传感器响应频率仅为 $0.5\text{HZ}^{[1]}$ ，Spectron 公司的 SP5000 系列响应频率为 $6\text{HZ}^{[2]}$ ，难以满足飞行器提出的要求。

由于静态加速度和倾角之间存在联系，因此可以考虑通过测量静态加速度的方法来测量飞行器倾角。ADXL202 是一种低成本、低功耗、响应速度快的加速

度传感器，因此本设计采用 ADXL202 作为倾角测量传感器。ADXL202 的特性如下：

- 既可测量动态加速度，又可测量静态加速度；
- 既有模拟量输出，又有数字量输出；
- 比电解质、水银、热能、斜度测量仪响应快，输出频率可以通过外接的电容 C_x 、 C_y 和电阻 R_{SET} 调整；
- 工作电压为 $+3V \sim +5.25V$ ；
- 可承受 $1000g$ 的剧烈冲击；

3.2.4.2 ADXL202 的工作原理

ADXL202 是基于单块集成电路的完善的双轴加速度测量系统，是一个以多晶硅为表面的微电机传感器和信号控制环路来执行操作的开环加速测量结构。

传感器采用在硅片上经表面微加工的多晶硅结构，用多晶硅的弹性元件支撑它并提供平衡加速度所需的阻力。倾角就是通过由独立的固定极板和附在移动物体上的中央极板组成的可变电容来测量的。加速度计受到加速度力后改变了可变电容的平衡，使输出方波的振幅与加速度成正比。而相位解调技术用来提取信息，判断加速方向。

解调器的输出通过 $32k\Omega$ 的固定电阻输出到脉宽占空比解调器。用户可以改变滤波电容的大小来设置输出信号的带宽。这样既提高了测量的精度，又能有效地防止频率混叠。

经低通滤波后，可以直接输出模拟信号，也可以通过 DCM(脉宽占空调制器)将模拟信号转换为数字信号。通过调节电容 C_x 、 C_y 可以设定模拟输出频率；通过调节电阻 R_{SET} 可以将数字输出周期 T_2 设定在 $0.5ms \sim 10ms$ 范围内。在 $0g$ 加速度时数字信号输出占空比为 50% 。

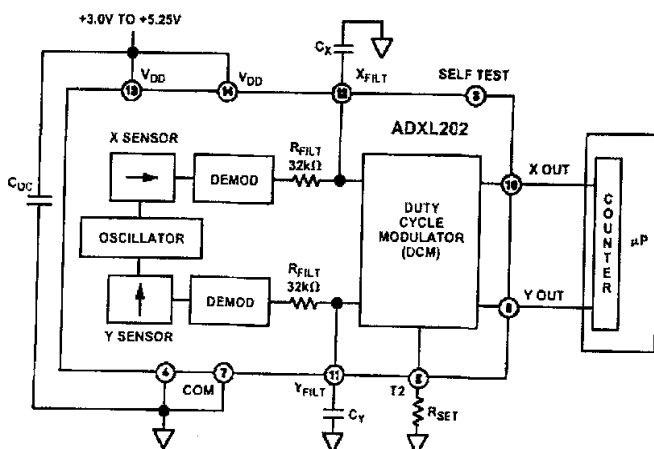


图 3-10 ADXL202 的功能原理框图

3.2.4.3 应用电路设计

3.2.4.3.1 引脚连接

ADXL202 共 14 个引脚，封装形式 QC-14。各个引脚排列及功能定义如图 3-11 所示。

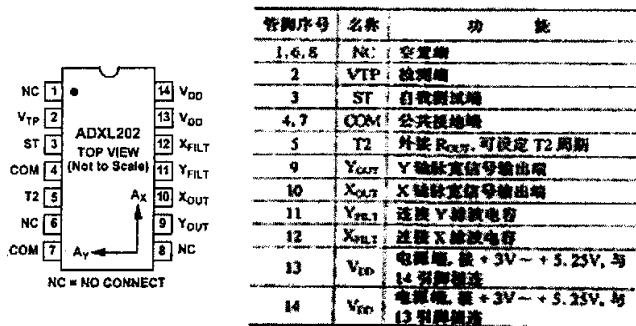


图 3-11 引脚排列及功能定义

根据引脚功能定义，其连接方式如下：

- V_{DD} : ADXL202 有两个电压输入引脚 13 和 14。这两个引脚直接与电源相连。
- COM: ADXL202 有两个接地引脚 4 和 7，将它们直接相连并接地。
- VTP: 该管脚保持开路，不与其它任何管脚相连。
- V_{DD} 与 COM 引脚: 其间连接退耦电容 C_6 ，本电路使用 $0.1\mu F$ ，形成电源退耦电路。
- ST: 自检输入端，平时该引脚可开路，亦可与 COM 引脚相连，因此采用开路。

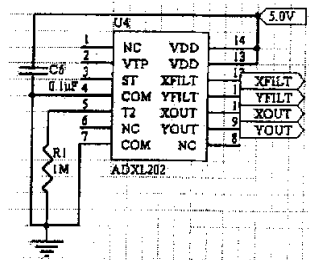


图 3-12 ADXL202 外围电路

具体连接形式如图 3-12 所示。

3.2.4.3.2 参数设置

为了充分利用资源，提高器件利用的灵活性，因此在利用模拟输出的同时，也设计好数字输出。

1) 数字输出设置

ADXL202 的数字输出是脉宽占空比调制信号，T1/T2 与被测加速度成正比。在 0 度时，ADXL202 的输出为 50% 占空比。设置数字输出参数实际上就是设置脉冲周期 T2。

通过调节 R_{SET} 大小可以设定 DCM 的周期，数字输出脉冲周期 T2 的计算公

式可以用如下公式表示：

$$T_2 = R_{SET}(\Omega) / 125K\Omega \quad (\text{ms})$$

当 $R_{SET} = 125 \text{ K}\Omega$ 时周期 T_2 设定约为 1ms。通过表 3-1 可以快速查询 T_2 和 R_{SET} 的换算关系。

本电路 $R_{SET} = R_1 = 1\text{M}$ ，因此：

$$T_2 = R_{SET}(\Omega) / 125K\Omega \\ = 1\text{M} / 125 \text{ K}\Omega = 8\text{ms}$$

数字输出频率为 125HZ，完全能够满足飞行器的要求。图 3-13 表示了本电路数字输出占空比与重力方向的关系。

T_2	R_{SET}
1ms	125K Ω
2ms	250K Ω
5ms	625K Ω
10ms	1.25K Ω

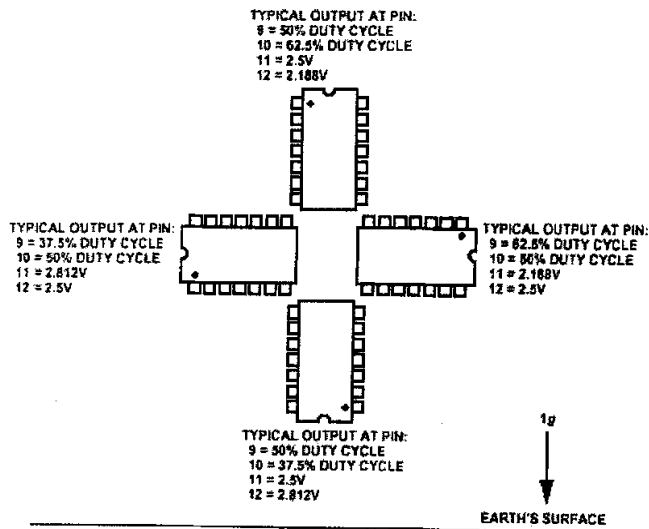


图 3-13 ADXL202 输出与地球重力的关系

2) 模拟输出设置

由于从传感器输出的模拟信号难以满足直接输入单片机的要求，因此模拟输出既要涉及输出频率设置，又要考虑将输出信号进行放大处理。

A. 输出频率

ADXL202 的模拟输出频带，可以通过在引脚 X_{FILT} 和 Y_{FILT} 外接电容 C_X 和 C_Y 来设定。电容必须安装在紧靠引脚处，用以去除混叠和抑制噪声。3dB 带宽计算公式如下：

$$F_{-3dB} = 1 / [2\pi(32k\Omega) \times C_{(X,Y)}]$$

或简化为：

$$F_{-3dB} = 5\mu\text{F} / C_{(X,Y)}$$

在任何情况下， $C_{(X,Y)}$ 的电容值不能小于 1000pF。表 3-2 给出滤波电容 C_X 和 C_Y 与信号带宽的关系。

本电路模拟输出采用 50HZ 输出频率，因此设定 $C_X=C_Y=0.10\mu\text{F}$ 。

B. 信号放大处理

ADXL202 的模拟输出具有如下关系：

0g 时输出为 $V_{DD}/2$ ；灵敏度为 $60\text{mV} \times V_{DD}/g$

本电路 V_{DD} 采用 5.0V 供电，因此在倾角为 0 度时输出 2.5V，倾角为 ± 90 度时输出变化为 $\pm 300\text{mV}$ ，模拟信号输出幅值为 $2.2\text{V} \sim 2.8\text{V}$ 。模拟输出与地球重力的关系如图 3-13 所示。

带宽	电容值
10HZ	$0.47\mu\text{F}$
50HZ	$0.10\mu\text{F}$
100HZ	$0.05\mu\text{F}$
200HZ	$0.027\mu\text{F}$
500HZ	$0.01\mu\text{F}$
5kHZ	$0.001\mu\text{F}$

由于模拟输出信号不能满足直接输入单片机的要求，因此对信号进行放大处理，电路连接如图 3-14 所示。为降低信号的输出阻抗，因此在输出端接入电压跟随器。

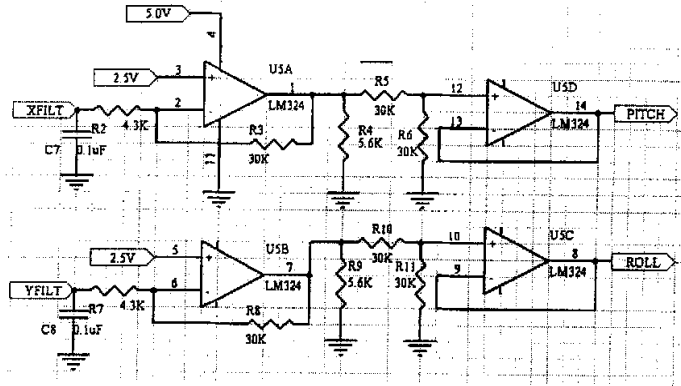


图 3-14 ADXL202 模拟信号处理与放大

以模拟输出 XFILT（引脚 12）为例，分析本信号处理电路：

设 ADXL202 输出的电压信号为 $(2.5 + V_{XFILT})$ ，LM324 引脚 1 输出电压信号为 V_{O1} ，输入单片机电压信号为 V_{PITCH} 。根据运算放大器计算公式

$$V_+ = V_-$$

$$i_1 \approx i_f$$

可得出如下计算关系：

$$V_- = V_+ = 2.5 \tag{3-1}$$

$$\frac{(2.5 + V_{XFILT}) - V_-}{R_7} \approx \frac{V_- - V_{O1}}{R_8} \tag{3-2}$$

$$V_{PITCH} = \frac{1}{2}V_{O1} \quad (3-3)$$

联解方程 (3-1)、(3-2)，得

$$V_{O1} \approx V_- - \frac{R_8}{R_7}V_{XFILT} \approx 2.5 - 7 \times V_{XFILT} \quad \text{代入方程 (3-3)}$$

$$\text{得出 } V_{PITCH} = \frac{1}{2}(2.5 - 7 \times V_{XFILT}) \quad (3-4)$$

将 V_{XFILT} 取值范围 $[-0.3, 0.3]V$ 代入方程 (3-4)，得出 V_{PITCH} 取值范围为 $[0.2, 2.3]V$ ，满足单片机模拟输入通道要求。

3.2.5 角速率陀螺传感器模块设计^{[37][38]}

3.2.5.1 概述

四桨碟形飞行器属于多旋翼旋翼式飞行器，各桨翼之间在旋转过程中存在相互干扰，导致飞行器飞行过程中稳定性极差，是一个比单旋翼旋翼机更为发散的系。除此之外，四桨碟形飞行器在电机特性、桨叶及飞行器机身等方面也提出了更高的要求，它要求各旋翼电机特性均一、各副桨叶的桨距和安装角相同、机身对称等。由于这些条件在实际中很难满足，而且往往相差较大。因此飞行器稳定性差，飞行难以控制，在设计控制系统时需要设法提高其飞行稳定性。

角速率陀螺可以对飞行器动作产生阻尼，保持当前姿态，因此考虑在增稳系统中引入角速率陀螺。

3.2.5.2 角速率陀螺工作原理

当压电陀螺感应到有角速率时，将产生 Coriolis 力，角速率陀螺就是通过利用所产生的 Coriolis 力而工作的。

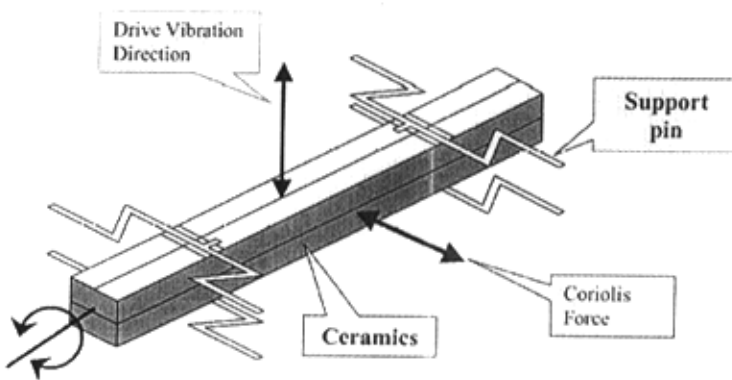


图 3-15 角速率陀螺工作原理

如图 3-15 所示，压电陶瓷在垂直方向以共振频率振动，当系统有角速率时，