

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

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<sup>[37][38]</sup>

#### 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。

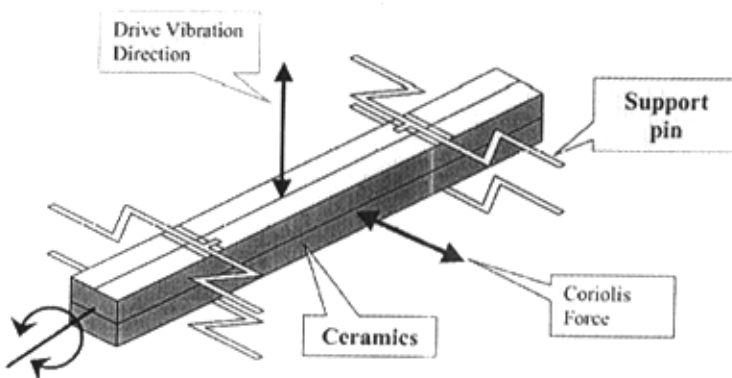


图 3-15 角速率陀螺工作原理

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，

因为角速率而产生的 Coriolis 力将会导致陶瓷在水平方向振动,从而使陶瓷材料发生从左到右的材料弹性变形。这一变形使压电材料改变输入电压的相位角,使相位角从左边变到右边。在产生的 Coriolis 力最大的时候,其影响将使信号延迟 90 度。产生的这些力仅仅和角速率有关。位于双压电晶片材料上的传感器就这样把角速率信号以模拟输出电压反映出来。

由于每个角速率陀螺只能测量一个方向的角速率信号,因此需要安装三个相互垂直的角速率陀螺来测量三维方向的角速率信号。

### 3.2.5.3 应用电路设计<sup>[39][41]</sup>

由于从角速率陀螺输出的信号变化幅度较小,而且含有高频杂音等,因此需要对传感器过来的信号经滤波和放大之后,才能进行 A/D 转换。整个应用电路的设计原理可以简要的用图 3-16 表示。

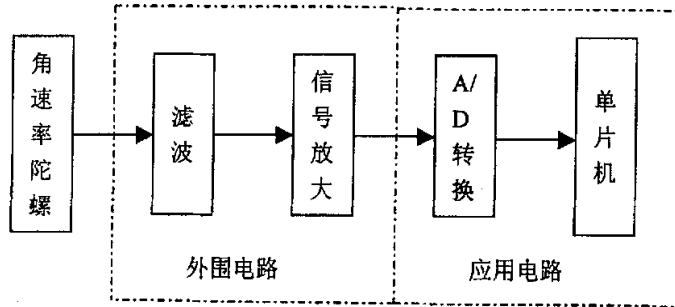


图 3-16 应用电路设计原理

#### 3.2.5.3.1 电路连接

本飞行器控制系统采用日本 murata (春田) 公司 ENC 系列产品。图 3-17 给出了 X 方向上角速率陀螺 (GYRO-X) 所采用的外围电路, Y、Z 方向上角速率陀螺外围电路基本与此相同。

该系列角速率陀螺的特性参数和引脚定义如图 3-18、3-19 所示。

该外围电路主要有三个作用:

- 1、高通滤波, 滤除频率低于 0.33HZ 的信号, 同时去除直流分量。
- 2、低通滤波, 允许频率低于 1000HZ 的信号通过, 将高频杂音滤除, 提高抗干扰能力。
- 3、具有放大作用, 将信号变化幅度放大为原来的 10 倍, 提高 A/D 转换的精度。

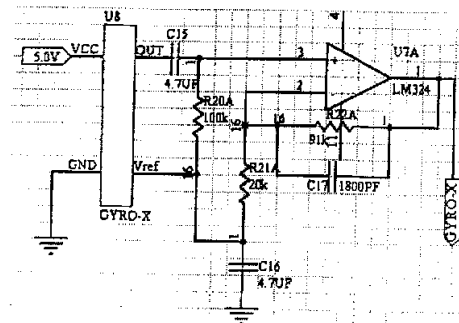
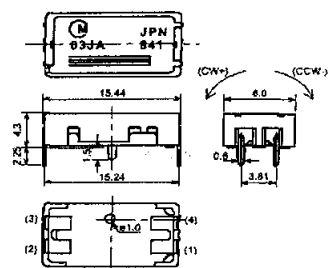


图 3-17 GYRO-X 外围电路

| Part Number                           | ENC-03J      |
|---------------------------------------|--------------|
| Supply voltage (Vdc)                  | +2.7 to +5.5 |
| Current consumption (mA max.)         | 5            |
| Max. angular velocity (°/s)           | ±300         |
| Output (at angular velocity=0) (Vdc)  | +1.35        |
| Scale factor (mV/°/s)                 | 0.67         |
| Temp. coefficient of scale factor (%) | ±20          |
| Linearity (%FS)                       | ±5           |
| Response (Hz max.)                    | 50           |
| Operating temperature range (°C)      | -5 to +75    |
| Storage temperature range (°C)        | -30 to +85   |
| Size (mm)                             | 15.5×8.0×4.3 |
| Weight (g max.)                       | 1.0          |

图 3-18 特性参数



尺寸及引脚排列

| Terminal | Descriptions        |
|----------|---------------------|
| (1)      | Supply voltage      |
| (2)      | Comparative voltage |
| (3)      | Ground (GND)        |
| (4)      | Sensor output       |

图 3-19 引脚定义

### 3.2.5.3.2 电路分析

由于传感器比例因数为  $0.67 \text{ mV}/^\circ/\text{s}$ ，没有角速率时输出  $1.35\text{V}$ ，用  $\omega$  代表角速率，令  $V_x = 0.67 \times \omega \times 10^{-3}$ ，因此输出可表示为  $V_{OUT} = 1.35 + V_x$ 。

该角速率陀螺最大可测量角速率  $\omega$  为  $300$  度/秒，因此  $V_x$  取值范围为  $[-0.2, 0.2]$ ， $V_{OUT}$  取值范围为  $[1.15, 1.55]$ ，不能满足直接输入单片机的要求，因此必须对信号进行放大处理。

以图 3-17 所示的角速率陀螺 GYRO-X 外围电路为例，分析其放大电路。

设 LM324 引脚 1 输出为  $V_{GYRO-X}$ ，根据运算放大器计算公式

$$V_+ = V_-$$

$$i_1 \approx i_f$$

可以得出如下运算关系：

$$V_- = V_+ = V_{OUT} = 1.35 + V_x \quad (3-5)$$

$$\frac{V_{ref} - V_-}{R_{21}} \approx \frac{V_- - V_{GYRO-X}}{R_{22}} \quad (3-6)$$

联解方程 (3-5)、(3-6)，得

$$V_{GYRO-X} = V_- - \frac{R_{22}}{R_{21}}(V_{ref} - V_-) = 1.35 + \left(1 + \frac{R_{22}}{R_{21}}\right)V_x$$

$$R_{21} = 20\text{K}\Omega, R_{22} = 91\text{K}\Omega, \text{ 所以 } V_{GYRO-X} = 1.35 + 5.5V_x$$

$V_{GYRO-X}$  取值区间为 [0.25, 2.45]V, 因此经过放大处理的信号满足单片机模拟通道输入要求。

由于从传感器出来的信号存在杂音, 因此必须经过高、低通滤波。

电容  $C_{15}$  和电阻  $R_{20}$  组成高通滤波电路, 可以将频率低于 0.33Hz 的信号 (包括直流分量) 滤除; 电容  $C_{19}$  和电阻  $R_{22}$  构成一低通滤波电路, 将频率高于 1000Hz 的信号滤除。

### 3.2.6 电机驱动模块设计<sup>[22][39]</sup>

#### 3.2.6.1 概述

由于直流电机具有良好的线性调速特性、简单的控制性能、高的效率、优异的动态特性, 虽然近年来不断受到其他电动机 (如交流变频电动机、步进电动机等) 的挑战, 但到目前为止仍然是大多调速控制的最优选择, 因此本设计采用直流电机。

直流电动机转速

$$n = \frac{U - IR}{K\Phi} \quad (3-7)$$

式中:  $U$  -- 电枢端电压;  $I$  -- 电枢电流;  $R$  -- 电枢电路总电阻;

$\Phi$  -- 每极磁通量;  $K$  -- 电动机结构参数;

通过分析公式 (3-7), 得知可以通过两种方式来控制直流电动机转速: 对励磁通进行控制的励磁控制法; 对电枢电压进行控制的电枢控制法。但励磁控制法在低速时受到磁极饱和的限制, 在高速时受换向火花和换向器结构强度的限制, 并且励磁线圈电感较大, 动态响应较差, 所以这种方式用的比较少, 大多场合采用电枢控制法。

电枢控制通常离不开半导体功率器件, 控制方式可以分为两类: 线性放大驱动方式和开关驱动方式 (即 PWM)。

线性放大驱动方式是使半导体功率元件工作在线性区, 具有控制原理简单、输出波动小、线性好、对邻近电路干扰小的优点, 但发热量大、效率低、散热问题严重, 只适合微小功率直流电动机驱动。

考虑到本设计采用较大功率直流电动机, 因此采取 PWM 调速。

#### 3.2.6.2 直流电机 PWM 调速原理

图 3-20 是利用开关管对直流电动机进行 PWM 调速控制的原理图和输入输出电压波形。在图 3-20 (a) 中, 当开关管 MOSFET 的栅极输入高电平时, 开关管导通, 直流电动机电枢绕组两端有电压  $U_s$ 。  $t_1$  秒后, 栅极输入变为低电平,