

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^{[22][39]}

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;

Φ -- 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,

开关管截止，电动机电枢两端电压为 0。 t_2 秒后，栅极输入重新变为高电平，开关管的动作重复前面的过程。这样，对应着输入的电平高低，直流电动机绕组两端的电压波形如图 3-20 (b) 所示。电动机绕组两端的电压平均值为：

$$U_o = \frac{t_1 U_s}{t_1 + t_2} = \frac{t_1}{T} U_s = \alpha U_s \quad (3-8)$$

式中： α ——占空比， $\alpha = \frac{t_1}{T}$ 。

通过改变 α 的值可以改变电枢绕组两端电压的平均值，从而达到调速的目的，这就是 PWM 调速的原理。

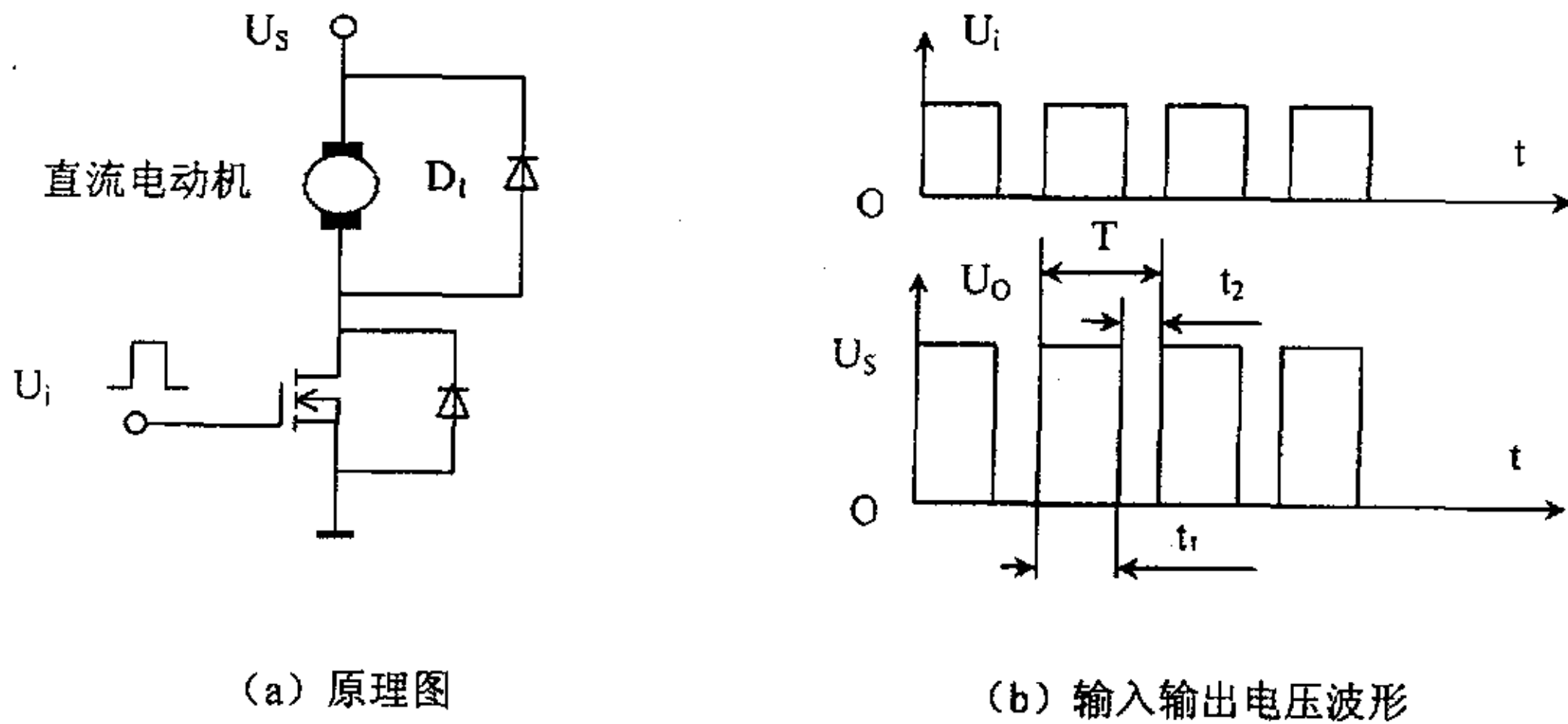


图 3-20 PWM 调速控制原理和电压波形图

PWM 控制信号的产生方法有 4 种：

- 1) 分立电子元件组成的 PWM 信号发生器，通过逻辑电子元件组成 PWM 信号电路，目前已被淘汰；
- 2) 软件模拟法，这种方法需要占用大量 CPU 时间，因此也逐渐被淘汰；
- 3) 专用 PWM 集成电路，这些芯片除了具有 PWM 发生功能外，还有调节和保护功能；
- 4) 单片机的 PWM 口，只有在改变占空比时才需要占用 CPU 时间；

为了减轻控制板重量，提高系统的集成度，采用第四种方案来产生占空比可调的 PWM 信号。

3.2.6.3 电路设计

本电路主要采用工作在开关状态的三极管及场效应管，以及电阻构成。采用场效应管实现电动机电源的开关作用，三极管的主要作用是提高场效应管的控制电压，同时避免从单片机输出的电流过大，减少单片机输出功率，提高单片机安全性和可靠性。

3.2.6.3.1 三极管工作原理

本电路采用片式封装 S9013 三极管，其特性如下：

Pc(mW)	Ic(Sat)(mA)	HFE		Ft(MHz)
		MIN	MAX	
450	500	60	300	150

S9013 为 NPN 型三极管，可以工作在三个区：截止区、放大区和饱和区。

- 1) 截止区：三极管发射结反偏，集电结也反偏， $I_B=0$ ， $I_C=I_{CE0}$ ；
- 2) 放大区：三极管发射结正偏，集电结反偏， $I_C=\beta I_B$ ；
- 3) 饱和区：三极管集电结处于正向偏置， I_B 的变化对 I_C 的影响很小； I_C 达到饱和状态。

本设计就是利用三极管工作在截止区和饱和区的原理实现其开关作用的。

3.2.6.3.2 场效应管工作原理

本控制系统采用的场效应管元件为 TO-220 封装的 IRF3205 MOSFET。其主要性能参数如下：

$V_{DSS(max)}$	$I_D(max)$	$R_{DS(on)}$	$V_{GS(max)}$	$V_{GS(th)}$	$t_{d(on)}$	t_r	$t_{d(off)}$	t_f
55V	110A	8.0mΩ	±20V	2~4V	14ns	101ns	50ns	65ns

当栅极 (G) 和源极 (S) 之间所加正向电压超过 V_{GS} 时，场效应管导通，电路工作；当栅极 (G) 和源极 (S) 之间加正向电压低于 V_{GS} 时，场效应管截止，电机两端无电压。场效应管就是通过控制栅极 (G) 和源极 (S) 之间正向电压来实现其开关作用的。

本飞行器采用的是低电压、大电流直流电机，单个电机功率为 30W，因此需要采用大电流的场效应管。

3.2.6.3.3 电路设计

以右侧电机驱动为例说明本电机驱动模块的设计。

驱动电路连线如图 3-21 所示。

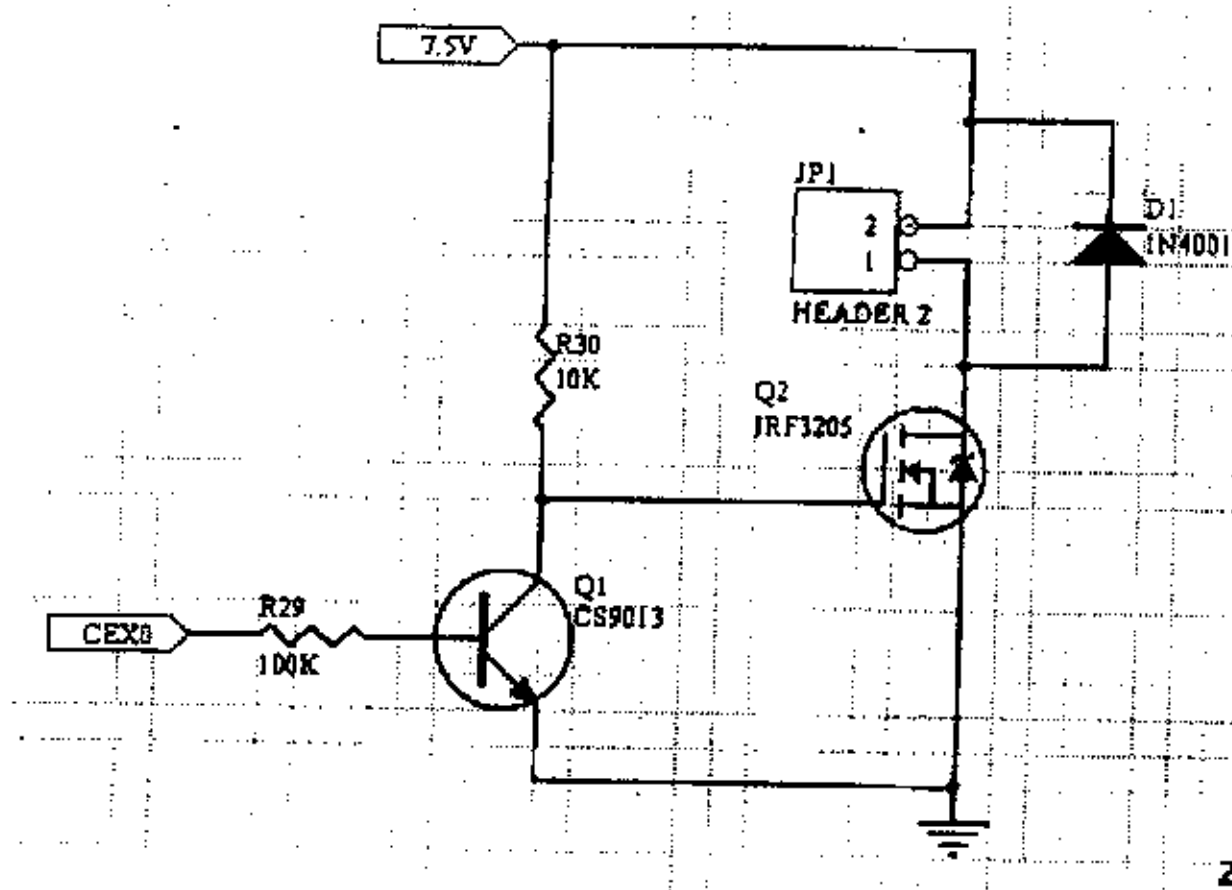


图 3-21 电机驱动电路

从单片机输出的控制信号 CEX0 通过电阻 R_{29} 控制三极管基极，三极管发射极直接接地，集电极与场效应管的栅极相连，同时通过 R_{30} 与 7.5V 电源 U_{CC} 相连接；场效应管源极接地，漏极通过电机接口与电源相连。由于电机是感性元件，电流不能突变，因此在电机两端并联续流二极管，以防止 MOSFET 截止时电路受到破坏。

根据经验，设定 $R_{30}=10K\Omega$ 。由于

$$U_{CE}=U_{CC}-I_C R_{30}$$

$$I_C=\beta I_B$$

三极管饱和时 $U_{CE}=0$ ，此时 $I_C=U_{CC}/R_{30}=7.5/10K=0.75mA$ 。

根据资料， $\beta=60\sim 300$ ，取 $\beta=60$ ，所以当 $I_B=I_C/\beta=0.0125mA$ 时三极管饱和。

本单片机输出高电平为 3.3V，根据

$$I_B=(V_{CEX0}-0.6)/R_{29}$$

$$\text{可以得出 } R_{29}=(V_{CEX0}-0.6)/I_B=216 K\Omega。$$

为了确保单片机输出高电平时三极管饱和，必须保证 $I_B>0.0125mA$ ，所以 $R_{29}<216 K\Omega$ ，取 $R_{29}=100 K\Omega$ 。

当单片机输出低电平时， $I_B=0$ ，三极管截止， $U_{CE}=7.5V$ ，所以 $V_{GS}=U_{CE}=7.5V$ ，场效应管导通，电动机电枢两端有电压。

当单片机输出高电平时， $I_B=(V_{CEX0}-0.6)/R_{29}=0.027mA$ ，三极管导通并迅速饱和， $U_{CE}=0V$ ，所以 $V_{GS}=U_{CE}=0V$ ，场效应管截止，电动机电枢两端无电压。

通过这种开关作用，实现对电动机的 PWM 控制。

3.2.7 微控制器设计^{[20][28][30][32]}

本控制系统是一个多输入多输出的系统，主要输入信号有两路角度信号、三路角速度信号、及四路遥控信号，需要采用高精度 A/D 转换和多个定时/计数器；输出信号为四路 PWM 电机控制信号，而且存在大量计算，因此对微控制器提出了更高的要求：

- 具有较高精度的 A/D 转换器，以提高系统集成度；
- 具有 PWM 口，用于自动产生 PWM 波；
- 有足够的内部 ROM 和 RAM；
- 具有足够快的处理速度；
- 有看门狗和电源管理功能；
- 具有多个定时/计数器；

3.2.7.1 C8051F021 单片机

C8051F021 系列 MCU 是高度集成的片上系统。在一个芯片上集成了两个多通道 ADC 子系统（每个子系统包括一个可编程增益放大器和一个模拟多路选择