

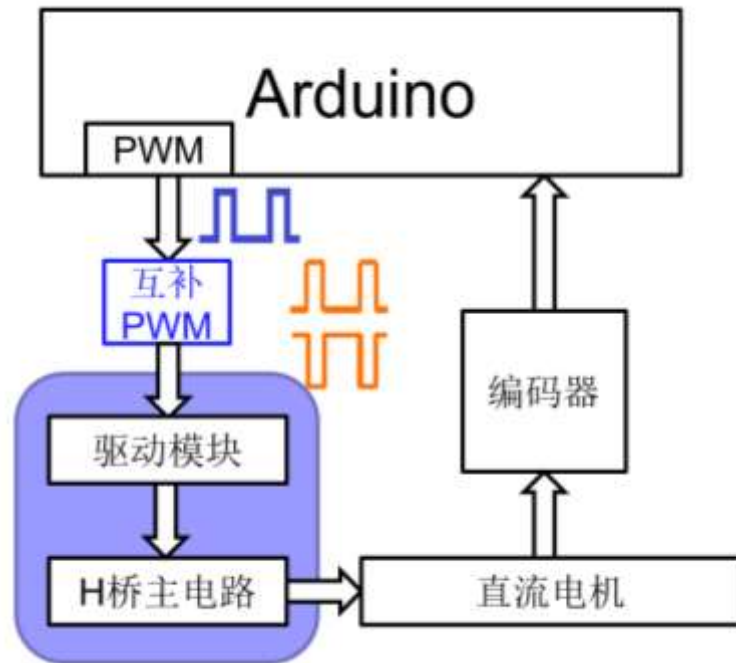
第三章 电机驱动电路

在直流电机驱动电路的设计中，主要考虑以下几点：

1. 功能：电机是单向还是双向转动？需不需要调速？对于单向的电机驱动，只要用一个大功率三极管或场效应管或继电器直接带动电机即可，当电机需要双向转动时，可以使用由4个功率元件组成的H桥电路或者使用一个双刀双掷的继电器。如果不需要调速，只要使用继电器即可；但如果需要调速，可以使用三极管，场效应管等开关元件实现PWM(脉冲宽度调制)调速。
2. 性能：对于PWM调速的电机驱动电路，主要有以下性能指标。
 - 1) 输出电流和电压范围，它决定着电路能驱动多大功率的电机。
 - 2) 效率，高的效率不仅意味着节省电源，也会减少驱动电路的发热。要提高电路的效率，可以从保证功率器件的开关工作状态和防止共态导通(H桥或推挽电路可能出现的一个问题，即两个功率器件同时导通使电源短路)入手。
 - 3) 对控制输入端的影响。功率电路对其输入端应有良好的信号隔离，防止有高电压大电流进入主控电路，这可以用高的输入阻抗或者光电耦合器实现隔离。
 - 4) 对电源的影响。共态导通可以引起电源电压的瞬间下降造成高频电源污染；大的电流可能导致地线电位浮动。
 - 5) 可靠性。电机驱动电路应该尽可能做到，无论加上何种控制信号，何种无源负载，电路都是安全的。

3.1 直流电机控制总体方案

通过Arduino控制器(或函数发生器)产生PWM波形，经过信号互补模块，将单路波形转换成一对互补的PWM波形。但该互补PWM信号无法直接驱动主回路中的MOSFET，需要通过半桥驱动芯片IRF2104，提高PWM波形的驱动能力，实现MOSFET的开通与关断。最后通过主回路H桥电路，实现对直流电机的正反转控制。



直流电机控制总体方案框图

直流电机控制所需的元器件与模块组成：

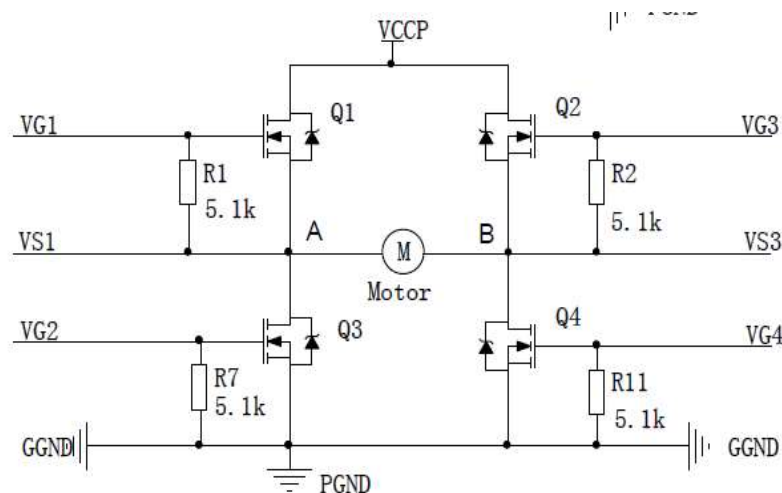
电子元器件等材料清单

实验器件	功能描述
Arduino 控制器(或函数发生器)	产生 PWM 对电机进行调速
12V 直流电机（2 个）	实验电路负载
7407 芯片（2 个）	正向驱动芯片
7406 芯片（2 个）	反向驱动芯片
12V 转 5V 芯片 7805（1 个）	给单片机、芯片等供电
电源模块 LM2596S	DC-DC 电源模块
IR2104 半桥驱动芯片（4 个）	对一桥臂 MOSFET 进行驱动
N 沟道 MOSFET 管 IRF750A（8 个）	MOSFET 开关
二极管 IN5208（4 个）	基本器件
12 个 1K 电阻，8 个 10 Ω 电阻	基本器件
8 个 0.1 μ F 电容，4 个 1 μ F 电容	基本器件
面包板（2 块）	用于固定及连接电子元器件
排针，排座，导线，杜邦线等	基本耗材
烙铁，锡，剥线钳等工具	焊接工具

3.2 H 桥直流电机调速

(1) H 桥基本介绍

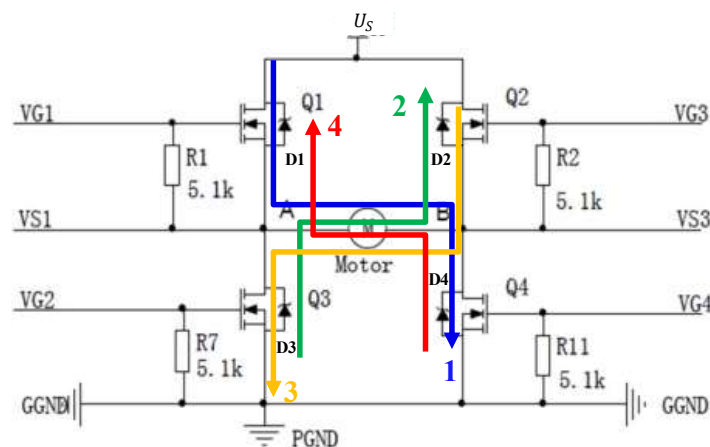
电动机 M 两端的极性随开关器件驱动电压变化而变化，其控制方式有双极性、单极性、受限制单极性等多种，本试验采用的是双极性控制。首先 Q1 和 Q4 导通，Q2 和 Q3 关闭， $U_{ab}=U_{vccp}$ ；然后 Q1 和 Q4 关闭，Q2 和 Q3 导通， $U_{ab}=-U_{vccp}$ ；因此在电机两端产生双极性 PWM，实现对电机的正反转控制。



H 桥 PWM 直流电机控制主回路

(2) H 桥工作原理

(a) 正向运行

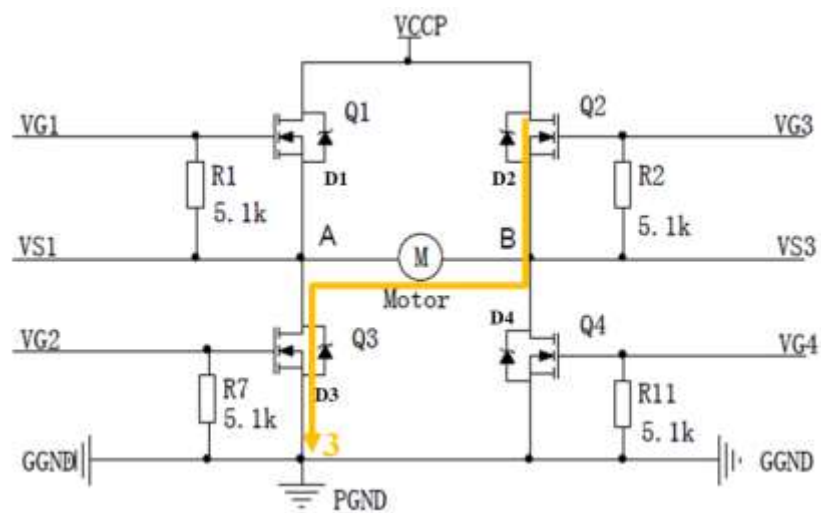
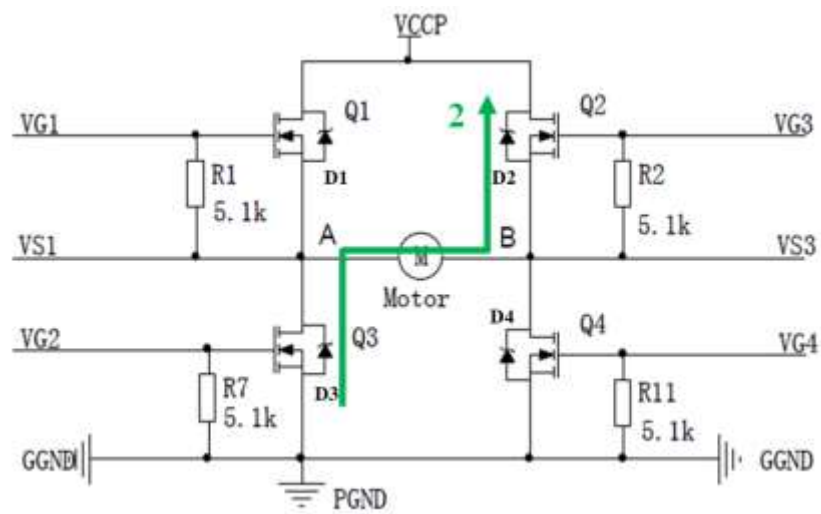
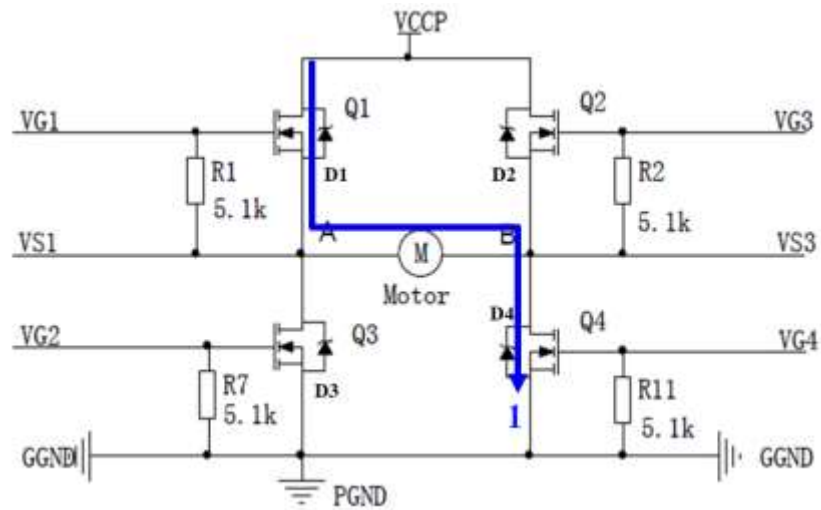


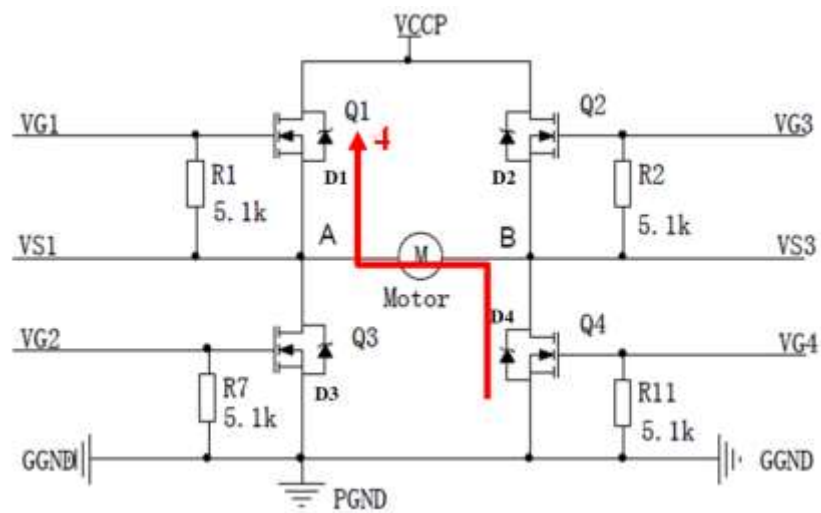
双极性 H 型可逆 PWM 变换电路

第一阶段， $0 \leq t \leq t_{on}$ 期间， V_{G1} 、 V_{G4} 为正， Q_1 、 Q_4 导通， V_{G2} 、 V_{G3} 为 0， Q_3 、 Q_2 截止，电流 i_d 沿回路 1 流通，电动机 M 两端电压 $U_{AB} = +U_S$ ，电动运行；

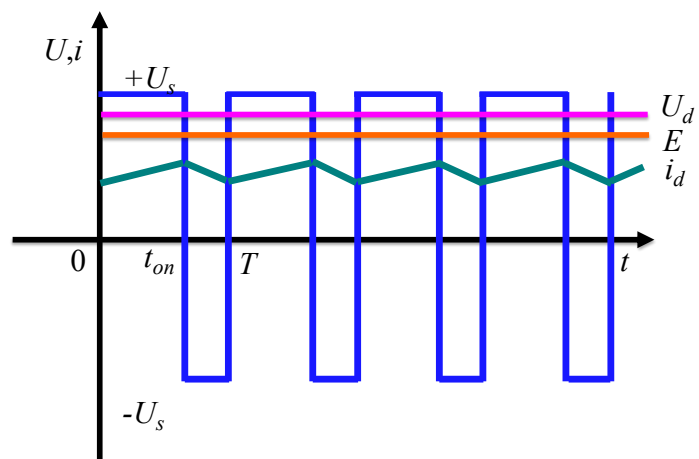
第二阶段， $t_{on} \leq t \leq T$ 期间， V_{G1} 、 V_{G4} 为 0， Q_1 、 Q_4 截止， D_3 、 D_2 续流，并钳位使 Q_3 、 Q_2 保持截止，电流 i_d 沿回路 2 流通(一段时间)，自感电势耗光后， Q_3 、 Q_2 导通，电流 i_d 沿回路 3 流通，电动机 M 两端电压 $U_{AB} = -U_S$ ，能耗制动，直到下一周期到来；

第三阶段， $T \leq t \leq T+t_{on}$ 期间，电流 i_d 沿回路 4 流通，再生制动(一段时间)。



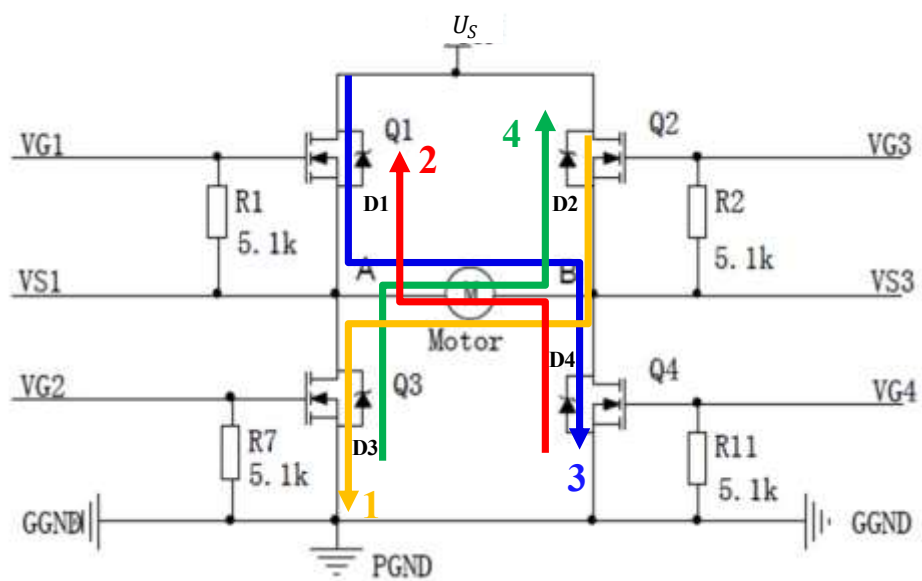


各个阶段电流流向



正向电动运行时电压 u , i 波形

(b) 反向运行

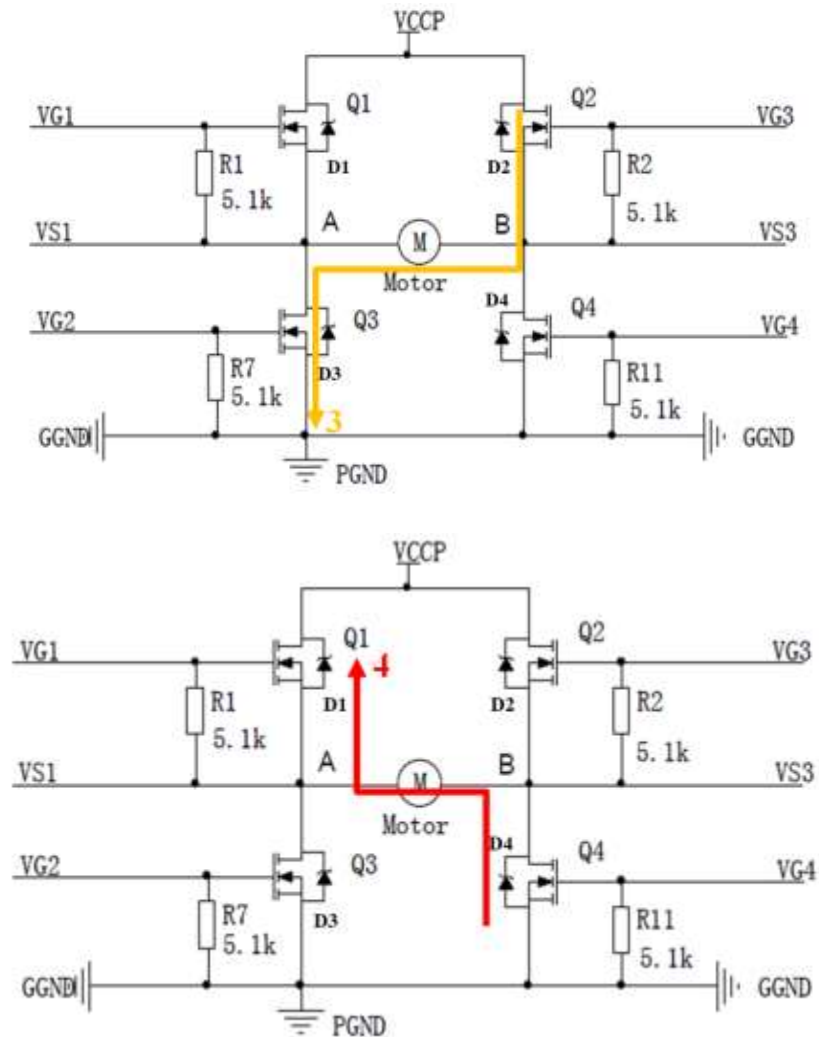


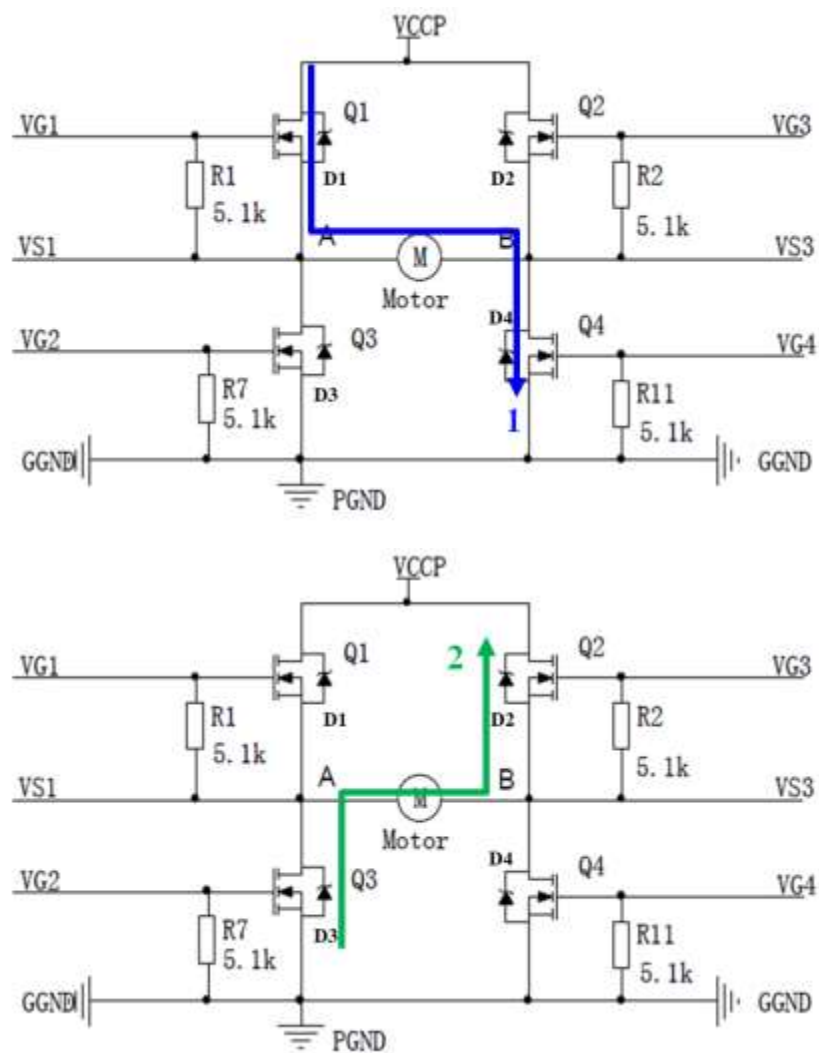
双极式 H 型可逆 PWM 变换电路

第一阶段, $0 \leq t \leq t_{off}$ 期间, V_{G2} 、 V_{G3} 为正, Q_3 、 Q_2 导通, V_{G1} 、 V_{G4} 为 0, 使 Q_1 、 Q_4 保持截止, 电流 $-i_d$ 沿回路 3 流通, 电动机 M 两端电压 $U_{AB} = -U_s$, 电动反向运行

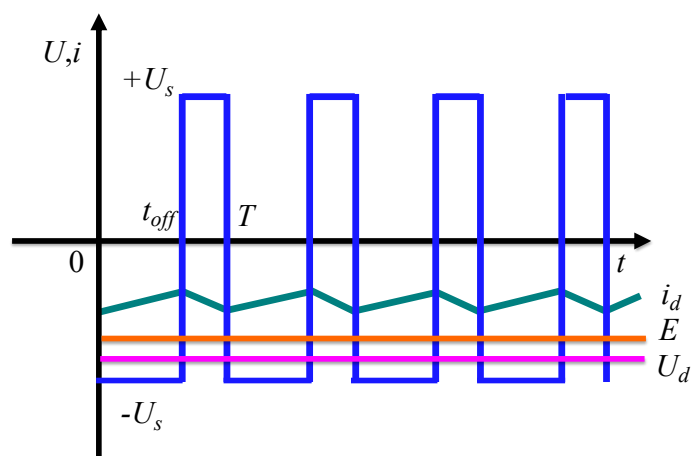
第二阶段, $t_{off} \leq t \leq T$ 期间, V_{G2} 、 V_{G3} 为 0, Q_3 、 Q_2 截止, VD_1 、 VD_4 续流, 并钳位使 Q_1 、 Q_4 保持截止, 电流 $-i_d$ 沿回路 4 流通, 自感电势耗光后, Q_1 、 Q_4 导通, 电流 i_d 沿回路 1 流通, 电动机 M 两端电压 $U_{AB} = +U_s$ 能耗制动, 直到下一周期到来

第三阶段, $T \leq t \leq T+t_{off}$ 期间, 电流 i_d 沿回路 2 流通, 再生制动(一段时间)





各个阶段电流流向

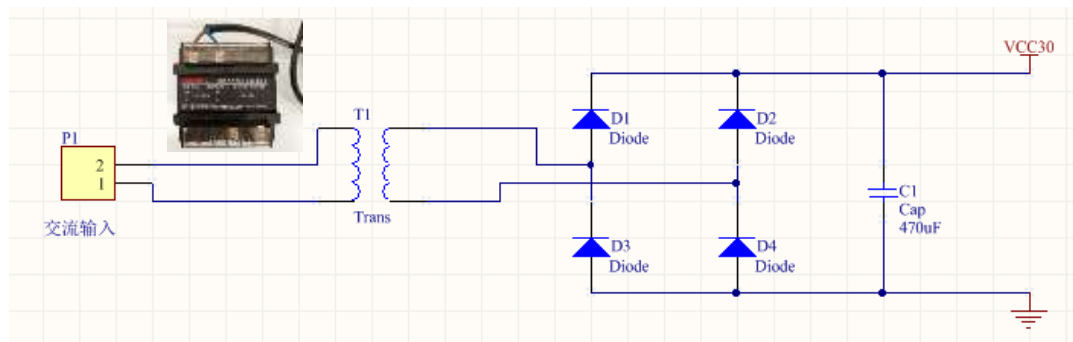


反向电动运行波形

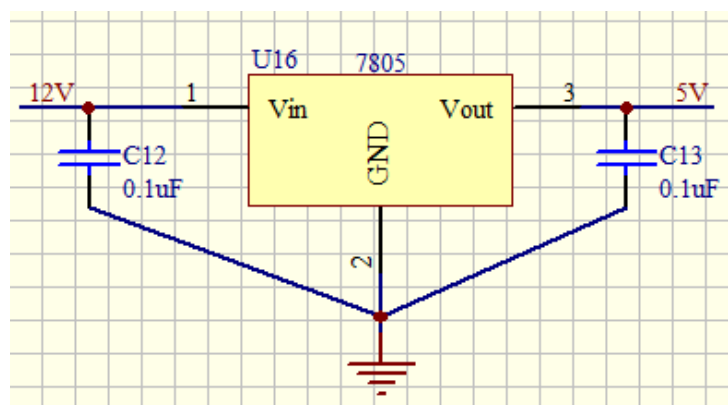
3.3 驱动电路搭建步骤

1) 系统电源的获得方法之一：使用变压器和整流桥等

首先得到整个电路所用到的各种电源模块，电机电源 12V，单片机隔离 5V
 注意：整流滤波电解电容 C1 是有正负极性，不能接反，否则通电时会爆炸！

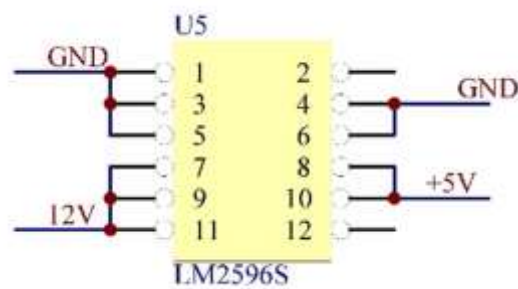


220 转 30V 交流电整流电路

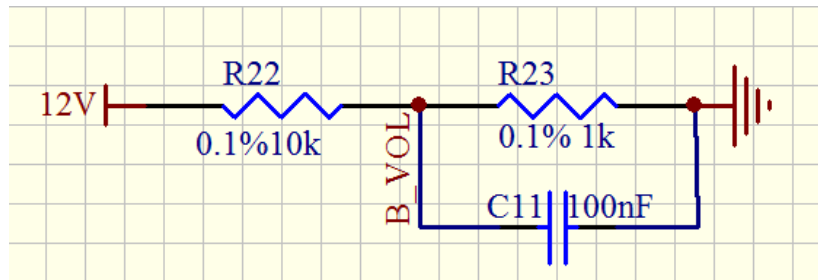


12V 转 5V 电路（使用 7805）

2) 系统电源的获得方法之二：使用锂电池及 LM2596S 模块



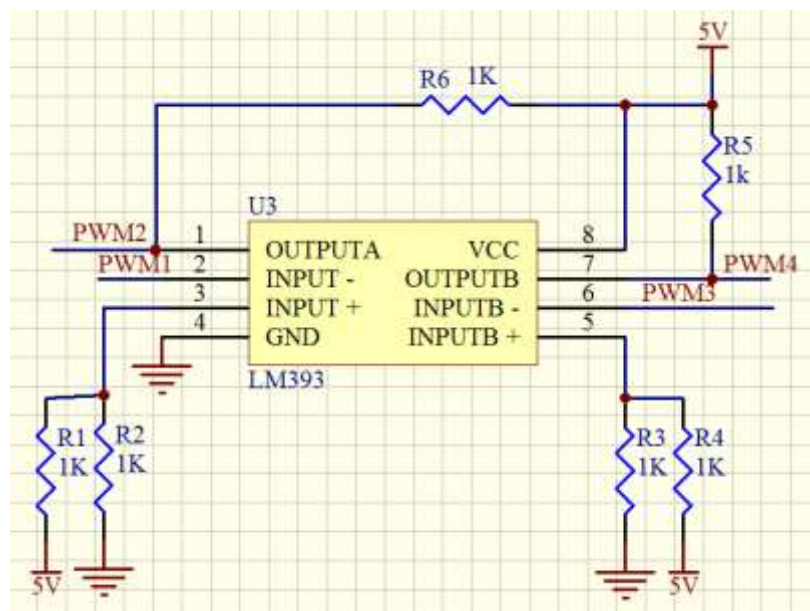
12V 转 5V 电路（使用 LM2596S）



锂电池电压检测电路（低于 9.6V 需要及时充电）

3) 因为 H 桥是双桥臂，因此还需要一路与原来互补的 PWM 控制另一路桥臂，有两种方法可以实现。

方法一：通过电压比较器 LM393 实现。



PWM 互补波形获得电路一

效果：PWM1 与 PWM3 为我们控制的输入端波形，分别获得两对互补波形：PWM1 与 PWM2 为互补波形，PWM3 和 PWM4 为互补波形。

LM393 电路调试方法：

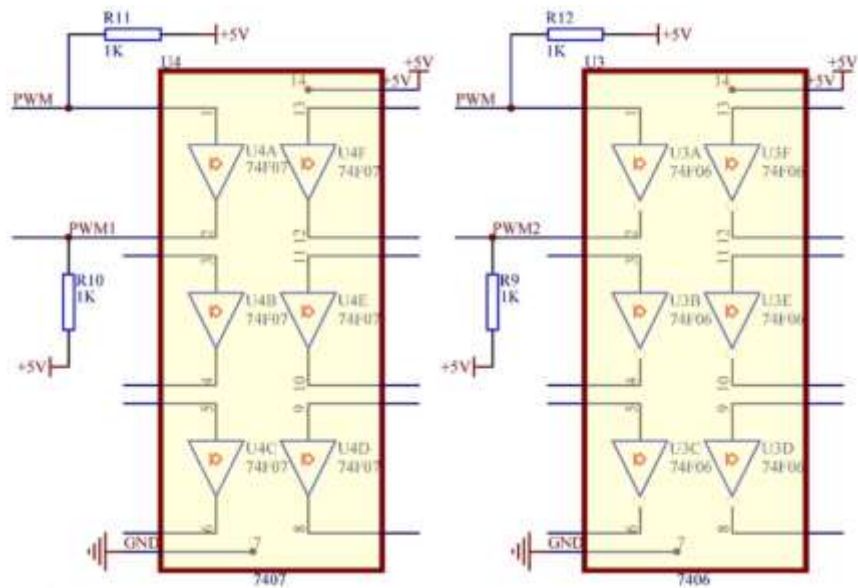
这里使用 LM393 的反向作为输入，即引脚 2 和引脚 6；

3 和 5 引脚为参考电压，输入的信号与此参考电压相比较，输出反向的电平；

例如：2 引脚输入 5V，即高电平，输出端 1 引脚应当输出为 0V，即为低电平；反之 2 引脚为低电平时，1 引脚输出高电平。

方法二：通过 7407 和 7406 缓冲器/驱动器实现

效果：PWM 为我们控制的输入端波形，分别获得两对互补波形：PWM1 与 PWM2 为互补波形。其中 PWM1 与输入 PWM 一致。



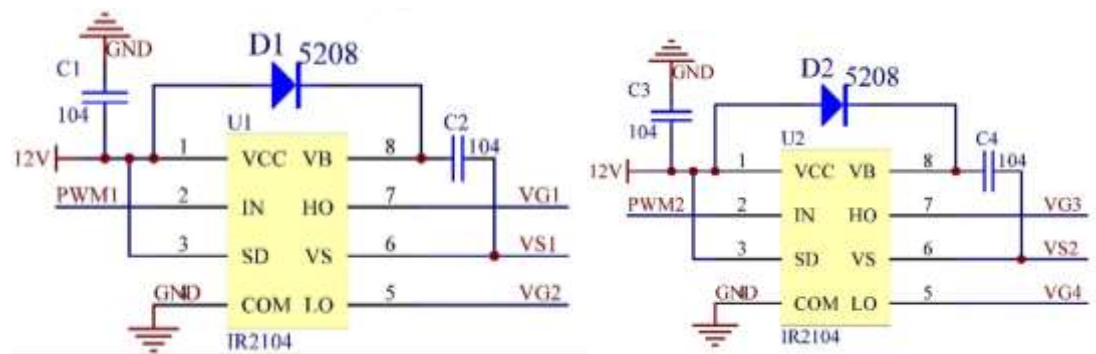
PWM 互补波形获得电路一

电路调试方法：

两个芯片都具有六路，使用其中一路便可。如引脚 1 作为输入，引脚 2 作为输出。7407 输出同向的电平，而 7406 输出反向的电平。另外为了得到稳定的信号，输入输出都接一个 1kΩ 上拉电阻。

4) 得到两路互补波形后，通过两个 IR2104 半桥驱动芯片实现对 H 桥的驱动控制。

注意：2104 自带互补死区，自举二极管需要有较高耐压值。



H 桥双桥臂驱动电路-以驱动一个桥臂的电路图为例（半桥驱动 IR2104）

效果：一个波形控制一个桥臂，一对互补波形控制一个 H 桥电路，从而控制一个电机。因此 PWM1、PWM2、PWM3、PWM4 分别控制这样一个驱动电路，一共控制两个电机。

IR2104 电路调试方法：

A、输入 PWM 波，占空比为 90%，此时 MOS 管 2、3 导通，

测量第一个 2104，HO 与 VS 间电压为 1V 左右，LO 与 GND 电压为 10V 左右；

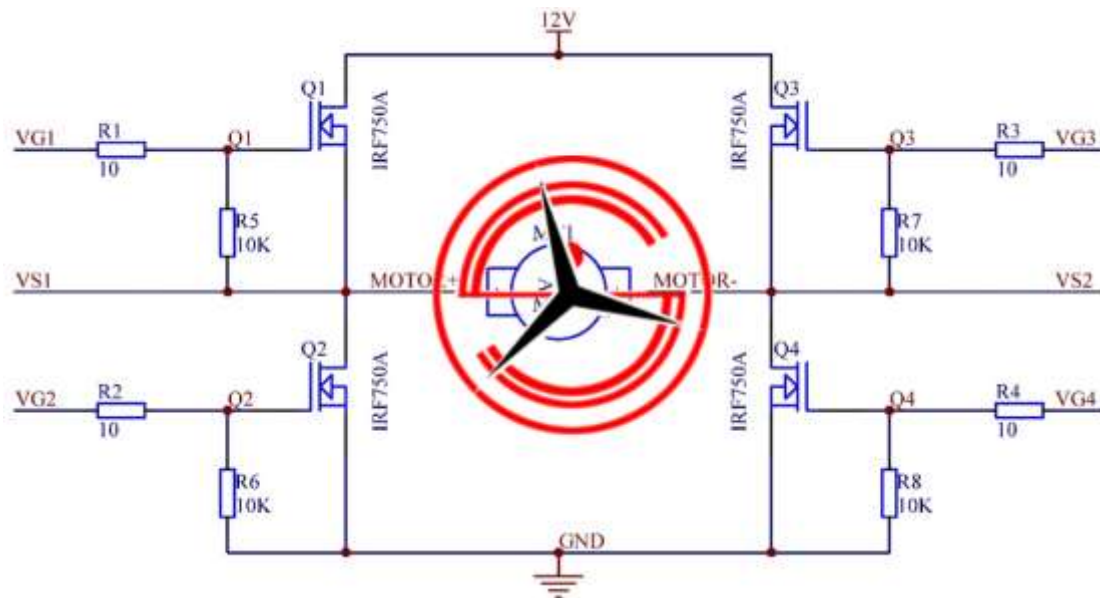
测量第二个 2104，HO 与 VS 间电压为 6.8V 左右，LO 与 GND 电压为 1V 左右；

B、输入 PWM 波，占空比为 10%，此时 MOS 管 1、4 导通，

测量第一个 2104，HO 与 VS 间电压为 9V 左右，LO 与 GND 电压为 1.1V 左右；

测量第二个 2104，HO 与 VS 间电压为 0.8V 左右，LO 与 GND 电压为 10V 左右；

5) H 桥主电路连接调试



H 桥主回路电路控制电机 M1 (NMOS 管为 IRF750A)

效果：控制一个电机旋转方向与转速。

IRF750A 电路调试方法：

使用波形发生器，给出 PWM 占空比可调的波形，高电平为 5V，低电平为 0V；

之前所有部分的电路图按照线上的字符标记连接在一起，然后连接至 H 桥主电路，将 PWM 接入到一路电机控制电路中：

占空比小于 50%，电机顺时针转动；

占空比大于 50%，电机逆时针转动；

占空比等于 50%，电机停止转动。

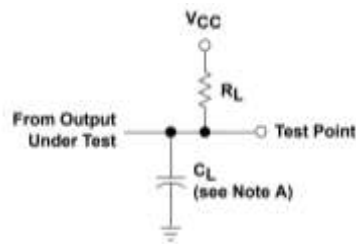
（注：电机正反转会因电机正负端接线不同而不同）

6) 上(下)拉电阻

上拉就是将不确定的信号通过一个电阻钳位在高电平，电阻同时起限流作用。下拉同理，也是将不确定的信号通过一个电阻钳位在低电平。

在上拉电阻所连接的导线上，如果外部组件未启用，上拉电阻则“微弱地”将输入电压信号“拉高”。当外部组件未连接时，对输入端来说，外部“看上去”就是高阻抗的。这时，通过上拉电阻可以将输入端口处的电压拉高到高电平。如果外部组件启用，它将取消上拉电阻所设置的高电平。通过这样，上拉电阻可以使引脚即使在未连接外部组件的时候也能保持确

定的逻辑电平。

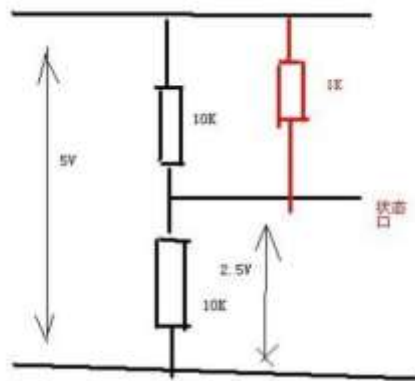


上拉电阻连接方式

作用：

1、提高驱动能力(驱动电流电=原来的+现加上拉的，电压)

例如，用单片机输出高电平，但由于后续电路的影响，输出的高电平不高，就是达不到 VCC，影响电路工作。所以要接上拉电阻。



上拉电阻提高驱动能力

2、钳位

上拉就是将不确定的信号通过一个电阻钳位在高电平，电阻同时起限流作用。例如上面接下拉电阻的情况下，在单片机刚上电的时候，电平是不定的，还有就是如果你连接的单片机在上电以后，单片机引脚是输入引脚而不是输出引脚，那这时候的单机电平也是不定的。

3、提高输出的高电平值

例如：当 TTL 电路驱动 CMOS 电路时，如果电路输出的高电平低于 CMOS 电路的最低高电平（一般为 3.5V），这时就需要在 TTL 的输出端接上拉电阻，以提高输出高电平的值。

使用技巧：

1、当 TTL 电路驱动 CMOS 电路时，如果电路输出的高电平低于 CMOS 电路的最低高电平（一般为 3.5V），这时就需要在 TTL 的输出端接上拉电阻，以提高输出高电平的值。

2、OC 门(集电极开路，TTL)电路必须使用上拉电阻，以提高输出的高电平值。

3、为增强输出引脚的驱动能力，有的单片机管脚上也常使用上拉电阻。

4、在 CMOS 芯片上，为了防止静电造成损坏，不用的管脚不能悬空，一般接上拉电阻以降低输入阻抗，提供泄荷通路。

5、芯片的管脚加上拉电阻来提高输出电平，从而提高芯片输入信号的噪声容限，增强抗干扰能力。

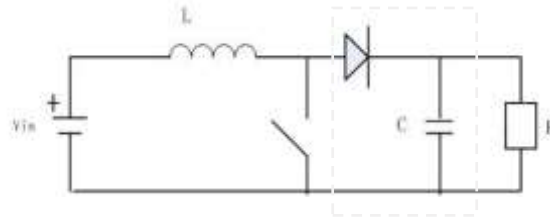
6、提高总线的抗电磁干扰能力，管脚悬空就比较容易接受外界的电磁干扰。

7、长线传输中电阻不匹配容易引起反射波干扰，加上、下拉电阻是电阻匹配，有效的抑制反射波干扰

7) 自举电路

自举电路也叫升压电路，是利用自举升压二极管，自举升压电容等电子元件，使电容放电电压和电源电压叠加，从而使电压升高，有的电路升高的电压能达到数倍电源电压。

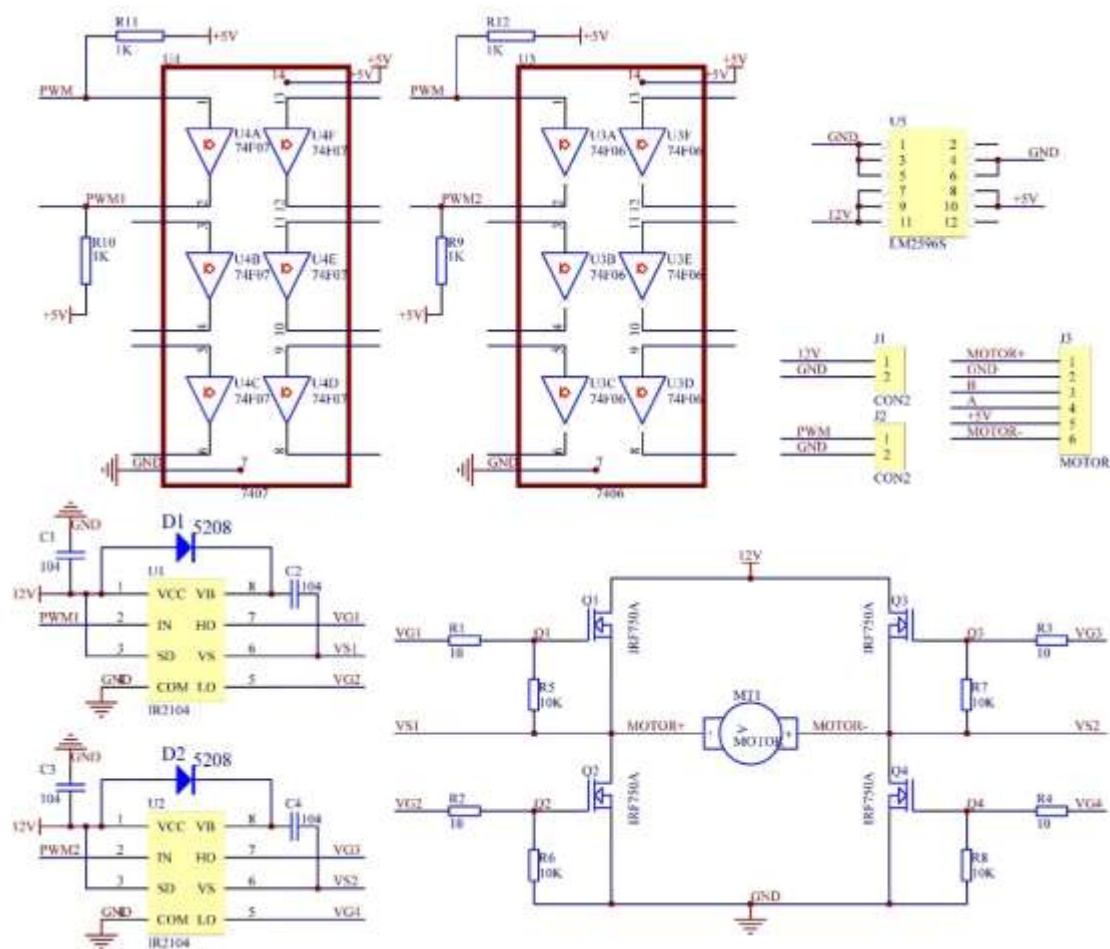
通常用一个电容和一个二极管，电容存储电荷，二极管防止电流倒灌，频率较高的时候，自举电路的电压就是电路输入的电压加上电容上的电压，起到升压的作用。



自举电路图

第二次实验

要求使用实验室提供的电子元件，按照如下图所示的原理图搭接电路，能够实现电机速度及正反转控制，其中 PWM 波形需要信号发生器产生。



电机控制原理图

要求：理解电路原理，并分析波形，根据结果写实验报告。

思考问题：

- 1) MOSFET 管的工作原理及其保护措施。
- 2) IR2104 输入与输出的波形比较，输出时有负载与无负载的波形比较。
- 2) H 桥电路在一个周期的工作原理。