

迈航科技

单片机那些事儿

初级篇——元器件

残弈悟恩

2014

官方淘宝店铺：[HTTP://SHOP109195762.TAOBAO.COM](http://shop109195762.taobao.com)

郑重声明

本资料以残弈悟恩开发的 **MGMC-V1.0** 实验板为硬件平台，以残弈悟恩编写的《深入浅出玩转 51 单片机》为辅助教程，以残弈悟恩录制的《31 天环游单片机》为基础视频。

本资料以个人学习和工作的经验为素材，以单片机初学者、单片机项目开发者为对象。教大家如何走进单片机的世界，如何开发工程项目。限于时间和水平关系，资料中难免有过失之处，望各位高手批评指教，多多拍砖，拍累了，你们休息，我继续上路。

现已连载的方式免费共享于各大电子网站，供单片机新手们参考学习，可以自由下载传阅，但未经残弈悟恩允许，不得用于任何商业目的，若经发现，残弈悟恩将以愚公移山的精神追究到底。

版本：20140401 (V1.0)

制造者：残弈悟恩

让爱充满大地——花 1 秒时间，拯救 1 个人，传递 1 份爱

声明：只是残弈悟恩爱心的喷发，我得不到一分钱，各位不要多想，谢谢！

你知道吗？在非洲北边的某个地区，每一秒都有许许多多的人正在挨饿，每一天至少有一位儿童死于营养不良。你的一次点击就能让某位穷人得到 1.1 杯食物。当然你可以不相信有这样的链接或者是骗点击什么的。事实上，网站确实是帮穷人得 1.1 杯食物的，只要你点进去单击一下中间的黄色按钮，就会出来一系列介绍各种商品的网页（绝对免费的并且不会下载任何软件，也不会有电脑病毒），同时也会有人因为您的一次点击而得到 1.1 杯食物，食物是由商家提供的，但爱心却是您献出的。如果你觉得残弈悟恩在忽悠大家，你不妨可以在网上查一下是真与假。

看到这本资料的朋友多数都是电子爱好者、单片机初学者，或者干电子这一行的，管你穷学生还是穷工人，只要能上网，只要愿花一秒种就可以了。人生在世，有两件事不能等：一、孝顺；二、行善。无论你是 LED 小灯、普通灯泡也好，还是荧光灯也吧，最重要就是要懂得用自身的光去照耀别人，光的强度并不重要。

点击链接：

http://www.thehungersite.com/clickToGive/home.faces?siteId=1&link=ctg_ths_home_from_ths_thankyou_sitenav

第二章 巧妇难为无米之炊

无论是电路设计中，还是单片机开发中，都离不开这些小“昆虫”。这些昆虫当然不是蚂蚁、也不是蚯蚓、更不是黄鼠狼，它们是：电阻，电容，二、三极管，蜂鸣器，继电器等，元器件种类繁多，再加之某一种又分好多种，所以不能一一列举，还望大家海涵。这里我们就说说下面几种，原因何在？大家自由答案。

不积跬步，无以至千里；不积小流，无以成江海。

2.1 电阻器

导体对电流的阻碍作用称为电阻，用符号 R 表示，单位为欧姆、千欧、兆欧，分别用 Ω 、 $K\Omega$ 、 $M\Omega$ 表示，电阻实物图如图 2-1 所示。

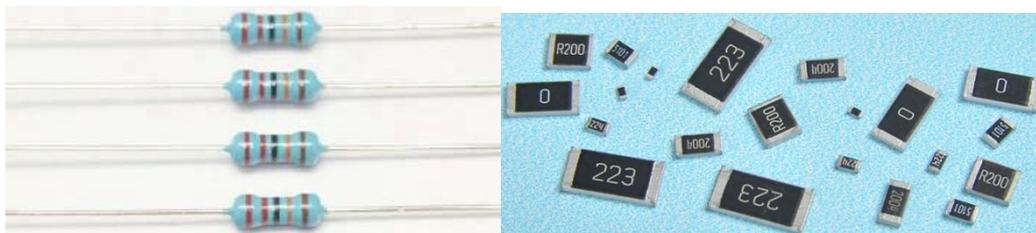


图 2-1 电阻实物图

2.1.1 初识电阻

电阻，电路中最基本的元器件，大伙可不敢说连电阻都不认识哈，那你真就 OUT 了。不过没事，这里以一个很“重要”的电路来引出电阻，电路如图 2-2 所示。

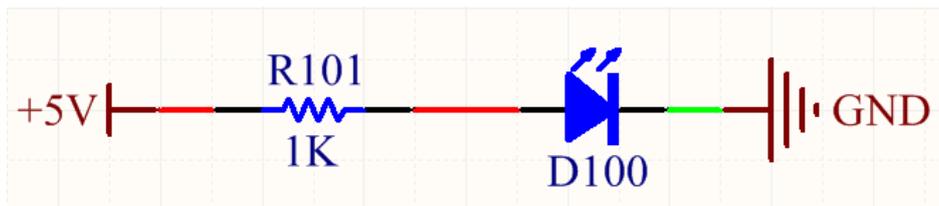


图 2-2 LED 小灯原理图

图到 3-1 中的 R101 就是一个 1K 的电阻了，电阻有时也用“”表示，别穿了个马甲就不认识了。

问题 1：这里的电阻有何作用？

答：起限流作用，就是限制电流别太大，否则会将 D100 烧死。

问题 2：为何 R101 的阻值为 1K 啊？

答：且读且找答案。

2.1.2 上拉电阻和下拉电阻

说上、下拉电阻之前，先解释一下两个与电流有关的概念，它们是：拉电流、灌电流。

一、拉电流、灌电流

拉电流和灌电流是衡量电路输出驱动能力的参数，这种说法一般用在数字电路中。特别注意：拉、灌都是对输出端而言的，所以是驱动能力。

这里首先要说明，芯片手册中的拉、灌电流是一个参数值，是芯片在实际电路中允许输出端拉、灌电流的上限值（所允许的最大值）。而下面要讲的这个概念是电路中的实际值。

由于数字电路的输出只有高、低（0、1）两种电平值，高电平输出时，一般是输出端对负载提供电流，其提供电流的数值叫“拉电流”；低电平输出时，一般是输出端要吸收负载的电流，其吸收电流的数值叫“灌（入）电流”。

对于输入电流的器件而言：灌入电流和吸收电流都是输入的，灌入电流是被动的，吸收电流是主动的。如果外部电流通过芯片引脚向芯片内‘流入’称为灌电流（被灌入）；反之如果内部电流通过芯片引脚从芯片内‘流出’称为拉电流（被拉出）。

二、为什么能够衡量输出驱动能力

当逻辑门输出端是低电平时，灌入逻辑门的电流称为灌电流，灌电流越大，输出端的低电平就越高。由三极管输出特性曲线也可以看出，灌电流越大，饱和压降越大，低电平越大。然而，逻辑门的低电平是有一定限制的，它有一个最大值 U_{OLMAX} 。在逻辑门工作时，不允许超过这个数值，TTL逻辑门的规范规定 $U_{OLMAX} \leq 0.4 \sim 0.5V$ （STC89C52的 U_{OLMAX} 为 $0.7V$ ）。所以，灌电流有一个上限。

当逻辑门输出端是高电平时，逻辑门输出端的电流是从逻辑门中流出，这个电流称为拉电流。拉电流越大，输出端的高电平就越低。这是因为输出级三极管是有内阻的，内阻上的电压降会使输出电压下降。拉电流越大，输出端的高电平越低。然而，逻辑门的高电平是有一定限制的，它有一个最小值 U_{OHMIN} 。在逻辑门工作时，不允许超过这个数值，TTL逻辑门的规范规定 $U_{OHMIN} \geq 2.4V$ （STC89C52的 U_{OLMAX} 为 $1.8V$ ）。所以，拉电流也有一个上限。

可见，输出端的拉电流和灌电流都有一个上限，否则高电平输出时，拉电流会使输出电平低于 U_{OHMIN} ；低电平输出时，灌电流会使输出电平高于 U_{OLMAX} 。所以，拉电流与灌电流反映了输出驱动能力（芯片的拉、灌电流参数值越大，意味着该芯片可以接更多的负载，因为灌电流是负载给的，负载越多，被灌入的电流越大）。

由于高电平输入电流很小，在微安级，一般可以不必考虑，低电平电流较大，在毫安级，所以，往往低电平的灌电流不超标就不会有问题。用扇出系数来说明逻辑门驱动同类门的能力，扇出系数 N_o 是低电平最大输出电流和低电平最大输入电流的比值。

在集成电路中，吸电流、拉电流输出和灌电流输出是一个很重要的概念。拉即泄，主动输出电流，是从输出口输出电流；灌即充，被动输入电流，是从输出口流入；吸则是主动吸入电流，是从输入端口流入。

吸电流和灌电流就是从芯片外电路通过引脚流入芯片内的电流，区别在于吸收电流是主动的，从芯片输入端流入的叫吸收电流。灌入电流是被动的，从输出端流入的叫灌入电流。拉电流是数字电路输出高电平给负载提供的输出电流，灌电流时输出低电平是外部给数字电路的输入电流，它们实际就是输入、输出电流的能力。

吸收电流是对输入端（输入端吸入）而言的；而拉电流（输出端流出）和灌电流（输出端被灌入）是相对输出端而言的。

三、上拉电阻和下拉电阻

上拉电阻就是把不确定的信号通过一个电阻嵌位在高电平，此电阻还起到限流的作用；同理，下拉电阻是把不确定的信号嵌位在低电平。上拉电阻是针对器件的输入电流（也即灌电流），而下拉电阻针对的是输出电流（也即拉电流）。

1. 上、下拉电阻的作用

（1）上拉就是将不确定的信号通过一个电阻嵌位在高电平，以此来给芯片引脚一个确

定的电平，以免使芯片引脚悬空发生逻辑错乱。

(2) 为加大输出引脚的驱动能力，下拉同理。

2. 上、下拉电阻的应用总结

(1) 当 TTL 电路驱动 CMOS 电路时，如果 TTL 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 门电路必须加上拉电阻，以提高输出的高电平值。

(3) 为加大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，以提高增强干扰能力。

(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，加上下拉电阻是为了电阻匹配，从而有效抑制反射波干扰。

3. 上、下拉电阻的选取原则

(1) 从节约功耗及芯片的灌电流能力考虑应当足够大；电阻大，电流小。

(2) 从确保足够的驱动电流考虑应当足够小；电阻小，电流大。

(3) 对于高速电路，过大的上拉电阻可能会使边沿变平缓。

综合考虑以上三点，通常在 1K~10K 之间选取，我一般选用 4.7K 或 10K，下拉电阻同理。

2.2 电容器

电容是电子设备中大量使用的电子元件之一，广泛应用于隔直、耦合、旁路、滤波、调谐回路、能量转换、控制电路等方面。用 C 表示电容，电容单位有法拉 (F)、微法拉 (uF)、皮法拉 (pF)， $1F = 10^6\mu F = 10^{12}pF$ 。

2.2.1 初识电容

电容种类繁多，这里随便贴几种，共大家欣赏，实物图如图 2-3 所示。



图 2-3 电容实物图

2.2.2 电容的用途

电容种类繁多，应用甚广。这里我们主要讲述电解电容和瓷片电容在电路中的储能和滤波功能。

一、引蛇出洞

1. 使用吸尘器时收音机会出现“啪啦、啪啦”的杂音，原因是吸尘器的马达产生的微弱（低强度高频）电压/电流变化通过电源线传递进入收音机，以杂音的形式出现，将这种干扰称之为“传导干扰”。

2. 当摩托车从附近道路通过时，电视机会出现雪花状干扰。这是因为摩托车点火装置的脉冲电流产生了电磁波，传到空间再传给附近的电视天线、电路上。将这种干扰称之为“辐射干扰”。

3. 冬天的时候，特别是在北方比较干燥的城市，晚上睡觉脱衣服时，经常会看到衣服有“火花”，实际上这是“静电放电”现象，称之为 ESD。如果此时你用手触摸一些电子元件，说不定会电击毁这些元器件，因为电压有 3~5KV 之高。电压随高，但电量很少，所以对人体危害不大。

4. 开空调时，室内的荧光灯会出现瞬时变暗的现象，这是因为大量电流流向空调，电压急速下降，利用统一电源的荧光灯受到影响，这种电压突然骤降的“浪涌”现象，称之为 Surge。

三、电容出没

为了研究、解决以上这些问题，后来发展起来了一门学科 EMC。若想更深入了解，读者可以去研读一下郑军奇的《EMC 电磁兼容设计与测试案例分析》，有些例子相当精辟。

(1) 去耦：当器件高速开关时，把射频能量从高频器件的电源端泄放到电源分配网络。去耦电容也为器件和元件提供一个局部的直流源，这对减小电流在板上传播浪涌尖峰很有作用。

(2) 旁路：把不必要的共模 RF 能量从元件或线缆中泄放掉。它的实质是产生一个交流支路来把不需要的能量从易受影响的区域泄放掉。另外，它还提供滤波功能（带宽限制），有时笼统地称为滤波。

(3) 储能：当所用的信号脚在最大容量负载下同时开关时，用来保持提供给器件恒定的直流电压和电流。它还能阻止由于元件 di/dt 电流浪涌而引起的电源跌落。如果说去耦是高频的范畴，那么储能可以理解为是低频范畴。

电容的选择。选择旁路电容和去耦电容时，并非取决于电容值和大小，而是电容的自谐振频率，并与所需旁路式去耦的频率相匹配。在自谐振频率以下电容表现为容性，在自谐振频率以上电容变为感性，这将会减小 RF 去耦功能。再看看常用的两种瓷片电容的自谐振频率，如表 2-1 所示。

表 2-1 瓷片电容的封装与自谐振频率的关系

电容值	插件电容	标贴电容
1.0 μ F	2.6MHz	5MHz
0.1 μ F	8.2MHz	16MHz
0.01 μ F	26MHz	50MHz
1000pF	82MHz	159MHz
500pF	116MHz	225MHz

单片机那些事儿-实验篇

100pF	260MHz	503MHz
10pF	821MHz	1.6GHz
电容的封装形式		

综上可得，使用去耦电容最重要的一点就是电容的引线电感。表贴电容比插件电容高频时有很好的效能，就是因为它的引线电感很低。

并联电容。若有些电路中滤波效果不好，可以采用并联电容的方式来增加滤波效果，但不是随意的增加并联的个数或随意放置几个电容，这样只会浪费材料。

一般原则是并联的电容必须有不同的数量级（例如 0.1 μ F 和 1nF），这个数量级最好是两个或 100 倍。

（4）滤波。滤波是将信号中特定波段频率滤除的操作，是抑制和防止干扰的一项重要措施。通俗点讲就是将想要的留下，不想要的统统干掉。

在说电容的常用用法之前，我们先来说两个概念和几个与电磁兼容有关的概念。

2.2.3 实例解说储能和滤波

这个例子就是 MGMC-V1.0 开发板上的 USB 转串口电路（CH340T），电路如图 2-4 所示。

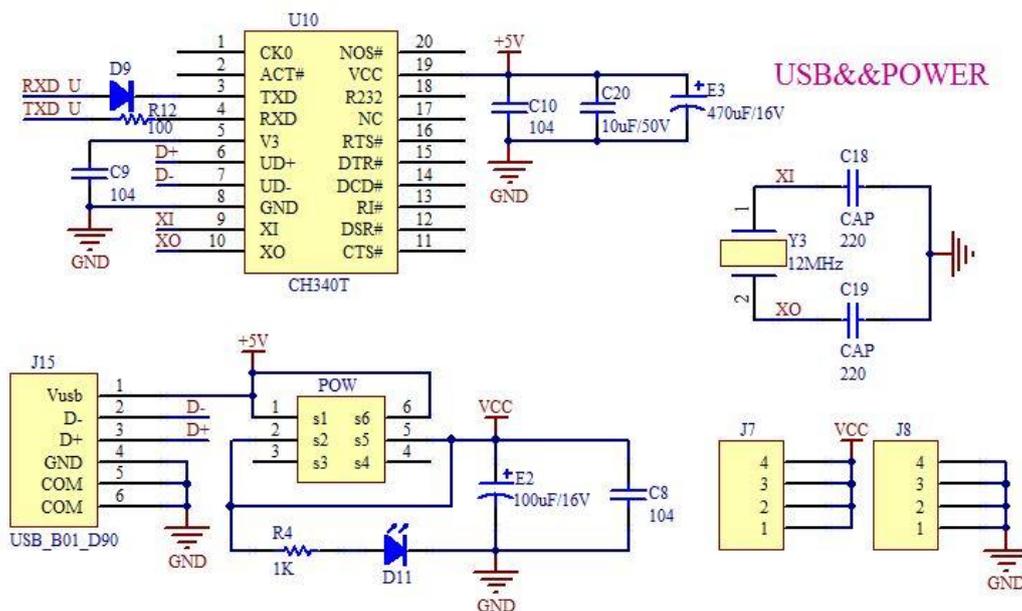


图 2-4 USB 下载和外扩电源接口电路图

残弈悟恩也毫不隐讳的告诉大家，在调试这个电路时真是花了不少时间，或许是水平太低、或许是想做得更好。接下来简述上述电路调试心得。

一、问题来自何方？

问题一：单片机 P3.0 一直为高，单片机根本拉不低，导致电路开关作用不大。

解决方法，实际测试发现该管脚一直为高，就是取了单片机芯片也为高，说明问题肯定在 U10 身上，最后一看数据手册，确实默认为高，所以反接了一个 D9（1N4148），不知读者还能否记得二极管的单向导电特性，最后问题顺利得到解决。

问题二：在关闭电源的情况下，电源指示灯 D11 会微微发亮。

单片机那些事儿-实验篇

解决办法，结合数据手册和测试发现，U10 的 4 管脚有 2V 多的电压，所以才会发亮，因而在 4 管脚上串联了一个 100Ω 的电阻，以做限流、分压用。

问题三：COM 口要么直接发现不了，要么发现之后一开电源就不见了。

原因分析，残弈悟恩在一开始设计电路时，根本没有 C10、C20、E3 这三个电容，不加，当然不是为了节省成本，而是太想当然了，在这里慎重的向读者说声：对不起！残弈悟恩错了。最后拿示波器测试发现，板上电的这一瞬间，“+5V”这个端子的电压变化如图 2-5 所示，接着再看 CH340T 的数据手册，其中电源 VCC 的要求如图 2-6 所示。

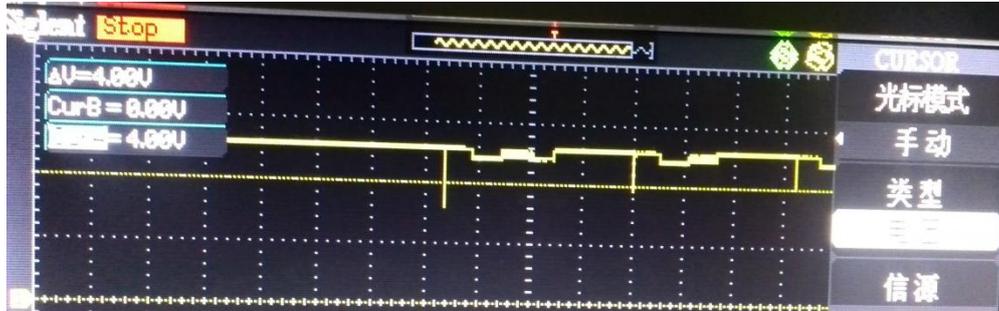


图 2-5 未接电容时 CH340T 电源端子电压的变化图

名称	参数说明		最小值	典型值	最大值	单位
VCC	电源电压	V3 引脚不连 VCC 引脚	4.5	5	5.3	V
		V3 引脚连接 VCC 引脚	3.3	3.3	3.8	

图 2-6 CH340 的 VCC 要求规格数

依图 2-5 可知，在实验板上电的瞬间，“+5V”端子的电压会掉到 4V 甚至 4V 以下，而要求是最小 4.5V，这样的设计没问题才怪呢！这与开空调时室内荧光灯变暗原理类似。为解决这个问题，前面提到的“储能”就很有用了。残弈悟恩凭着经验加了一个 C10(0.1uF)、一个 E3(220uF)的电解电容，为该电源网络滤波、储能。所谓的储能过程就是接通 USB 时，则会给 E3 电容充电，接着当打开电源开关时，由于后面的负载会拉低这个电源电压，此时若“+5V”端子的电压低于 E3 两端的电势，则 E3 就会放电，来弥补这个电压。这时测试发现，电压还是会有变化，最小值为：4.8V，4.8V (4.8V>4.5V) 肯定是满足了设计要求，这样问题就可得以解决。

二、真正意义上的滤波

接着说说电源中真正意思上的滤波，在说滤波之前，先说明一个概念——纹波。

纹波 (ripple) 是指在直流电压中叠加的交流成分。直流稳定电源一般是由交流电源经整流稳压等环节而形成的，这就不可避免地要在直流稳定量中多少带有一些交流成份，这种叠加在直流稳定量上的交流分量就称之为纹波。纹波的成分较为复杂，它的形态一般为频率高于工频（指工业上用的交流电源的频率）的类似正弦波的谐波，另一种则是宽度很窄的脉冲波。对于不同的场合，对纹波的要求各不一样。

或许这么说，读者听起来有些吃力，那就举个理解。大海，理论上是一个很平静的水面（直流），但由于大风的作用，总是波浪起伏（交流）。这里的波浪就是基于海平面上的“纹波”，它总是叠加于海平面（直流）之上，小则没事，大则覆舟。对于纹波，不同的电源、不同的电路设计、不同的方案，可能要求不同。例如对于电源电压来说，5V 的电源一般要求的纹波不能超过 100mV；DC-DC 电压（产生 5V 的电压），输入端纹波不能超过 120mV，输出端纹波不能超过 50mV。读者这里说的是对于机顶盒电源的要求，当然产品不同，或许对于要求会不同。但对于单片机设计来说，这样的要求肯定能满足系统要求。

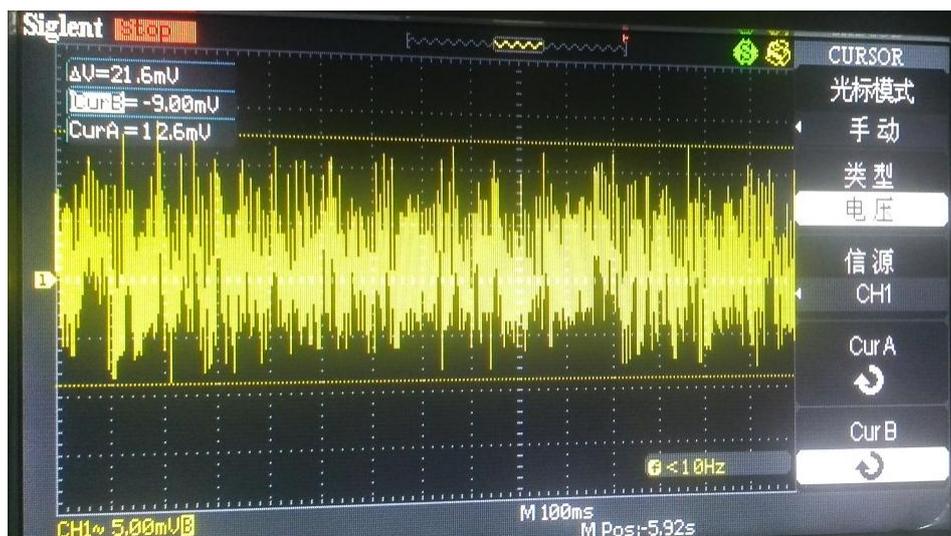
之后测试+5V的纹波，纹波如图 2-7 所示。由图可知 ΔV (纹波) 为 484mV，显然高于要求 (100mV)，并且由图可知纹波频率小于 10Hz，由表 2-1 可知，没有必要采用容值较小的瓷片电容来增加滤波效果，可以通过加大电解电容来增加滤波，最后将 220uF 的电容换成了 470uF，纹波测试如图 2-8 所示，此时纹波为 80.8mV，小于 100mV，满足要求。其实对于设计电路来说，设计到这里就可以结束了，但是为了满足残弈悟恩的“虚荣心”，又在 C10 上并接了一个 C20 (10uF 瓷片电容)，接着测试纹波，如图 2-9 所示，哈哈，此时纹波为 21.6mV，可能有人会说这是浪费，这个就依情况而定了。



图 2-7 接了 220uF 滤波电容之后的纹波图



图 2-8 接了 470uF 滤波电容之后的纹波图

图 2-9 并接了 10 μ F 电容之后的纹波图

这么说滤波，估摸着大伙不好理解，那就来个生活实例，一解千愁。下面的那个滤池对于水窖来说，犹如电容对于电路。

2.2.4 大地之爱 母亲水窖

从小生长在农村的残弈悟恩，对农家的琐事记忆犹新，一提到“滤波”，马上想起养育我的“母亲水窖”。在都市长大的读者可能没听过水窖，那就先贴两张图，向读者们“宣传”一下伟大的“母亲水窖”。



这是旱区发生的两个故事。一个乡下人去亲戚家做客，亲戚说：先洗个脸，这样会舒服点，他说：不用了，我两个月前刚洗过了；一位中科院的甘肃会宁籍博士小学到中学 8 年期间没洗过一次脚。来到京城后，下雨常不打伞，他说：能在雨里淋真是一种幸福。这样的故事，或许读者觉得不可思议，可这是偏远干旱山村发生的真实案例。残弈悟恩虽然生活条件相比略好，但也是从小赶早起床，经常干到沟里抢水或坐在泉边上等水的“大事”。残弈悟恩大四第二学期去珠海实习，看到同住的一位广东同事洗脸会用掉整整一桶水，残弈悟恩甚是心疼。

甘肃会宁县的年降雨量在 400MM 左右，而年均蒸发量却高达 1400MM 左右。会宁的降雨期通常是 7、8、9 三个月，春冬两季几乎没有降水。“地种山坡头，风吹尘土飞；雨水贵如油，十种九不收”，在会宁，干燥缺水是常态。干旱不仅带来贫困，还给当地居民的生活造成严重不便，他们不得不每日往返几里、几十里山路去挑生命之水。就是在这样的背景下，十多年前，中国妇女基金会发起“大地之爱 母亲水窖”的公益项目。上面右图就是

残弈悟恩家的水窖。水窖一般深 5 米，口径为 1.5 米，里面形状类似于鸡蛋，人们会从院子里或者路面上修一条导流渠，用来将地面上的雨水导入窖中储存起来。这样一窖水，可供农村家庭用一年。

水窖中集结的雨水，一般需要经过一个月的沉淀后才能饮用，为了缩短这个时间，在雨水进水窖前的“滤波”就显得尤为重要。聪明的农民们，在水窖前面加了一个滤水池，如上面的左图，这样“湍急”、“浑浊”的雨水先经过这个水池，经过过滤，将泥土先沉淀在水池中，同时让“湍急”的水流变得平缓些，再流入“生命之窖”。

残弈悟恩曾经问过一个同事，你能在这样的地方生存多久？朋友再三思考后，才很迟疑的回答“不到一周”吧，他给出的理由是：在这样一个没有水的地方生存真的不可想象。生活在城市中的同胞们也许常抱怨生活中有诸多的不如意，但是他们又是否想过，城市中再不如意的生活，也远比这些西部偏远干旱地区的村民们要好很多。都市人常常是因为选择太多而无所适从，而这里的人却恰恰是因为无所选择而无所适从。世界其实并不公平，一个人出生的条件决定着他的生存环境。有些读者可能会说，奋斗啊，改变贫困。可事实上，在这里苦读寒窗数十载，考上重点大学，却因为没钱上而辍学的大有人在。前段时间残弈悟恩看到一幅漫画，两个人处在同一条起跑线上准备赛跑，可一人开着宝马，另一人拉着一辆手推车，上面还坐着年迈的老母亲。这样，随处在同一起跑线上，可比赛的结果呢？

残弈悟恩写这些，只是触景生情，有感而发，只是想告诉读者，无论处境多么恶劣都不要轻言放弃，若轻易放弃，结果只有失败。

2.3 二极管

几乎在所有的电子电路中，都要用到半导体二极管，它在许多的电路中起着重要的作用，它是诞生最早的半导体器件之一，其应用也非常广泛。这里残弈悟恩不从原理开始大刀阔斧地去讲二极管了，而就单片机电路设计中常用的几点做简要说明，图 2-10 为二极管实物图。

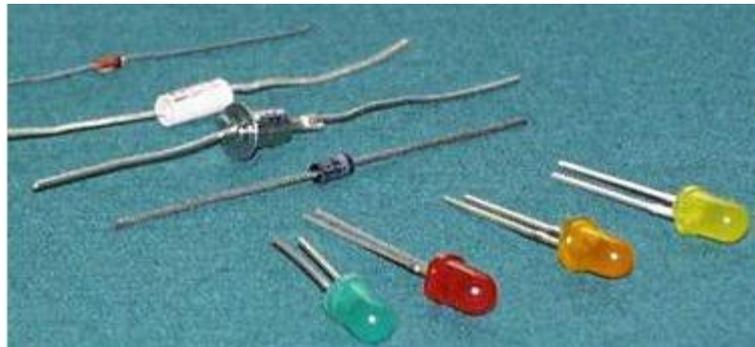


图 2-10 二极管实物图

2.3.1 二极管的特性

二极管最重要的特性就是**单向导电性**。在电路中，电流只能从二极管的正极流入，负极流出。

1. 正向特性。在电子电路中，将二极管的正极接在高电位端，负极接在低电位端，二极管就会导通，这种连接方式，称为正向偏置。必须说明，当加在二极管两端的正向电压很小时，二极管仍然不能导通，流过二极管的正向电流十分微弱。只有当正向电压达到某一数值（这一数值称为“门槛电压”，锗管约为 0.2V，硅管约为 0.6V）以后，二极管才能正向导通。导通后二极管两端的电压基本上保持不变，当然也有变化，这个变化就是由二极管“正

向压降”（锗管约为 0.3V，硅管约为 0.7V）所产生的。

2. 反向特性。在电子电路中，二极管的正极接在低电位端，负极接在高电位端，此时二极管中几乎没有电流流过，此时二极管处于截止状态，这种连接方式，称为反向偏置。二极管处于反向偏置时，仍然会有微弱的反向电流流过二极管，称为漏电流。当二极管两端的反向电压增大到某一数值，反向电流会急剧增大，二极管将失去单方向导电特性，这种状态称为二极管的击穿。

用来表示二极管的性能好坏和适用范围的技术指标，称为二极管的参数。不同类型的二极管有不同的特性参数。对初学者而言，必须了解以下几个主要参数：

（1）额定正向工作电流

是指二极管长期连续工作时允许通过的最大正向电流值。因为电流通过管子时会使管芯发热，温度上升，温度超过容许限度（硅管为 140 左右，锗管为 90 左右）时，就会使管芯过热而损坏。所以，二极管使用中不要超过二极管额定正向工作电流值。例如，常用的 IN4001—4007 型锗二极管的额定正向工作电流为 1A。

（2）最高反向工作电压

加在二极管两端的反向电压高到一定值时，会将管子击穿，失去单向导电能力。为了保证使用安全，规定了最高反向工作电压值。例如，IN4001 二极管反向耐压为 50V，IN4007 反向耐压为 1000V。

（3）反向电流

反向电流是指二极管在规定的温度和最高反向电压作用下，流过二极管的反向电流。反向电流越小，管子的单方向导电性能越好。值得注意的是反向电流与温度有着密切的关系，大约温度每升高 10，反向电流增大一倍。例如 2AP1 型锗二极管，在 25 时反向电流若为 250uA，温度升高到 35，反向电流将上升到 500uA，依此类推，在 75 时，它的反向电流已达 8mA，不仅失去了单方向导电特性，还会使管子过热而损坏。又如，2CP10 型硅二极管，25 时反向电流仅为 5uA，温度升高到 75 时，反向电流也不过 160uA。故硅二极管比锗二极管在高温下具有较好的稳定性。

作为初学者在业余使用二极管时，首先必须得测试一下管子的好坏，但网上、书上大多讲述的是用指针万用表测试的方法，可读者现在大多都用的是数字万用表，残弈悟恩总结一下如何用数字万用表测试二极管的好坏。

使用数字万用表二极管档，将红表笔插入 VΩ 孔，黑表笔插入 COM 孔，大伙都知道在数字万用表里红表笔接内部电池的正极，黑表笔接内部电池负极，而在指针万用表里电阻档是红表笔接内部电池负极，黑表笔接内部电池正极。将数字万用表红表笔接触二极管正极，黑表笔接触二极管负极，（测量正向电阻值）正常数值为 300~600Ω，然后将红表笔接触二极管负极，黑表笔接触二极管正极（测量反向电阻值），正常数值为“1”。如果两次测量都显示 001 或 000 并且蜂鸣器响，说明二极管已经击穿；如果两次测量正反向电阻值均为“1”说明二极管开路；如果两次测量数值相近，说明管子质量很差；反向电阻值必须为“1”或 1000 以上，正向电阻值必须为 300~600Ω，则为二极管是好的。

2.3.2 二极管的应用

二极管的应用当然是很广泛了，这里列举常用的几点。

（1）整流二极管。利用二极管单向导电性，可以把方向交替变化的交流电变换成单一方向的脉动直流电。这部分等到后面讲述电源时在做详细说明。

（2）开关元件。二极管在正向电压作用下电阻很小，处于导通状态，相当于一只接通的开关；在反向电压作用下，电阻很大，处于截止状态，如同一只断开的开关。利用二极管

的开关特性，可以组成各种逻辑电路。

举个简单的例子。这是残弈悟恩曾做项目时所用的一个电路，实质就是简简单单的三个按键检测电路。当初残弈悟恩的目的是用中断来响应按键，可三个按键如何用一个中断来响应，毫无疑问得用与门，提到与门，读者可能就会想到数字电路里面学了那么多的与门逻辑器件（74LS/HC 系列），找个与门芯片还难，但读者想过没，一个芯片要几毛钱，而且还体积比较大，可残弈悟恩用了三个二极管就代替了一个与门芯片，无论从价格、体积都优于用专门的芯片。原理简单就不说了，电路图如图 2-11 所示。

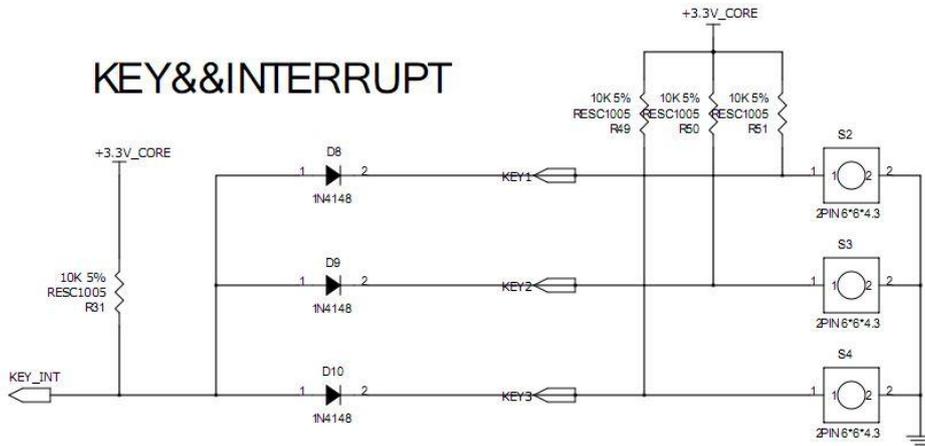


图 2-11 二极管组成的与门电路

(3) 限幅元件。二极管正向导通后，它的正向压降基本保持不变（硅管为 0.7V，锗管为 0.3V）。利用这一特性，在电路中作为限幅元件，可以把信号幅度限制在一定范围内。

(4) 检波二极管。在收音机中起检波作用。

(5) 变容二极管。使用于电视机的高频头中。

(6) 续流二极管。在开关电源的电感和继电器等感性负载中起续流作用。

续流二极管经常和储能元件一起使用，防止电压电流突变，提供通路。电感可以经过它给负载提供持续的电流，以免负载电流突变，起到平滑电流的作用。在开关电源中，就能见到一个由二极管和电阻串连起来构成的续流电路。这个电路与变压器原边并联。当开关管关断时，续流电路可以释放掉变压器线圈中储存的能量，防止感应电压过高，击穿开关管。一般选择快速恢复二极管或者肖特基二极管就可以了，用来把线圈产生的反向电势通过电流的形式消耗掉，可见“续流二极管”并不是一个实质的元件，它只不过在电路中起到的作用称做“续流”。图 2-12 是一个三极管驱动风扇的电路图，上面残弈悟恩并接了一个二极管，作用就是为了续流。

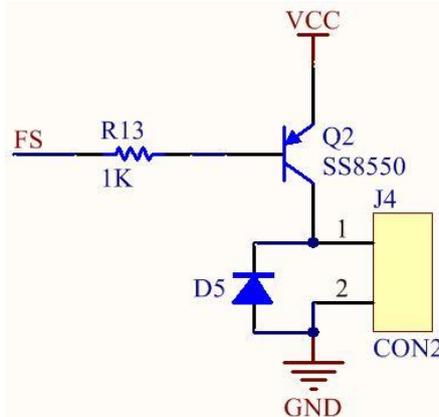


图 2-12 风扇驱动电路

在正常工作时，FS 端为低电平，三极管导通，J4.1 为高电平，J4.2 为低电平，二极管处于截止状态。可当 FS 端变为高电平以后，三极管截止，此时 J4.1 的电压突然会变小（不是突然变为零），但风扇是储能元件（有线圈），这时会产生反相电动势来阻止电势突变，也既不想让减小，从而 J4.2 端的电势就会高于 J4.1 端的电势，若没 D5 这个二极管，这种反相电压对电路是致命的，那若加了之后，D5、J4 就会形成一个回路，将产生的这部分电势给消耗掉，从而起到保护电路的作用。

续流二极管通常应用在开关电源、继电器电路、可控硅电路、IGBT 等电路中，其应用非常广泛。在使用时应注意以下几点：

1) 续流二极管是防止直流线圈断电时，产生自感电势形成的高电压对相关元器件造成损害的有效手段！

2) 续流二极管的极性不能接错，否则将造成短路事故；

3) 续流二极管对直流电压总是反接的，即二极管的负极接直流电的正极端；

4) 续流二极管是工作在正向导通状态，并非击穿状态或高速开关状态。

2.3.3 发光二极管

漆黑的夜空，因为它的存在，绚丽多彩；特大的广场，因为它的存在，美轮美奂。图 2-13 不美吗？



图 2-13 LED 发光图

发光二极管有两个参数很重要，分别是：压降和额定电流，其中红、黄、绿的压降参数如表 2-2 所示。

表 2-2 发光二极管的压降参数表

	直插式 LED	贴片 LED
红色发光二极管	2.0~2.2V	1.82~1.88V
黄色发光二极管	1.8~2.0V	1.75~1.82V
绿色发光二极管	3.0~3.2V	2.83~2.89V
额定工作电流	20mA	3~15mA

需要注意的是，设计电路时，一般让工作电流为 3mA 左右，这样问题 2 就很好回答了。欧姆定律： $R = (5 - 1.85) V / 3mA = 1.05K \Omega$ ，所以用了 1K 的限流电阻，OK？

2.4 三极管

三极管的应用。无论在数字电路、还是模拟电路中，三极管的应用很普遍。概括的说，在模拟电路中主要用于信号的放大，在数字电路中主要利用开关特性来控制、驱动别的器件。

这里主要讲述在数字电路中的应用，三极管实物图如图 2-13 所示。

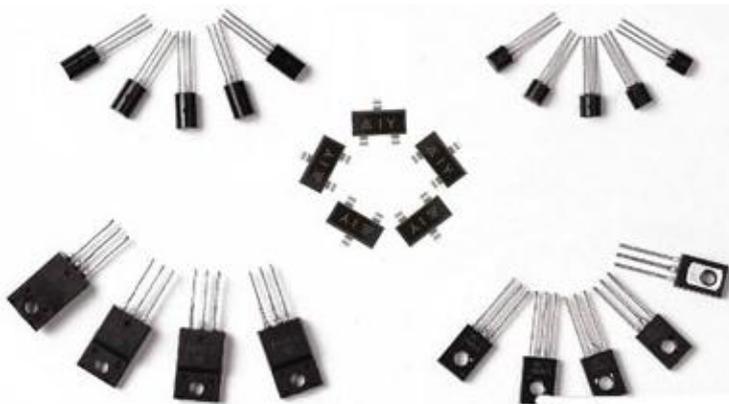


图 2-13 三极管实物图

2.4.1 三极管的基本开关电路

先来简述一下三极管，三极管符号如图2-14所示，三极管有三个级，分别是：基极(base)、集电极 (collector)、发射极 (emitter)，三极管又分为 NPN、PNP 两种型号。

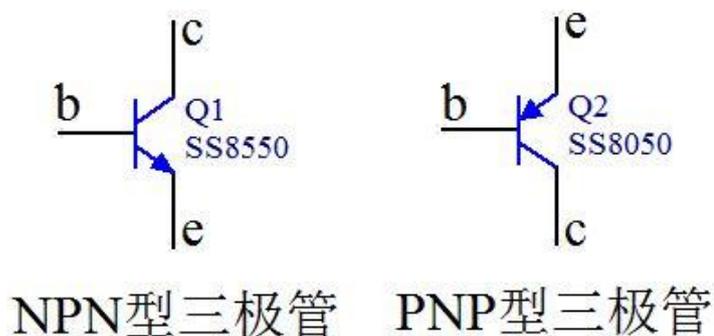


图 2-14 三极管示意图

三极管的应用主要借助三种状态：放大、截止、饱和。关于放大的计算是很有学问，也是很复杂的，这里就不做说明了。便于读者理解，可以分别将饱和、截止状态看作是“开”、“关”两种状态。那怎么是“开”，又怎么是“关”呢。这由 b 极和 e 极电压决定。对于 NPN 型的，只要 b 极电压比 e 极电压大 0.7V，则三极管就“开”，否则就“关”；对于 PNP 型的，只要 e 极电压比 b 极电压大 0.7V，则三极管就“开”，否则就“关”；最后总结一句话：看箭头，箭尾比箭头大 0.7V 则“开”，否则就“关”。低电平三极管导通（5V 比 0V 大 0.7V 吧），高电平三极管截止（5V 比 5V 没有大 0.7 是吧？）。相反，若用 NPN 的三极管，b 极为高电平，则三极管导通；b 极为低电平则三极管截止。三极管的开关特性就说这么多，下面开始笔者要讲解的重头戏，那就是与三极管捆绑在一起的这些电阻，看看这些电阻是随便拉一个出来，还是要靠计算的。

首先说明一点，图 2-15 是残弈悟恩为了讲解专门画了这样一个图，没有什么实际意义，因为不可能驱动一个 LED 就需要这么复杂的电路。

进入主题。图 2-15 中为什么要用上（下）拉电阻？

答：回答之前，强势 X 入广告。上拉电阻、下拉电阻前面有所讲述吧。也可以形象的理解为上拉电阻是将坐着的你拉起来站着，是不是拉高（接高电平）了；下拉电阻是将你拉着趴下，是不是拉低（接低电平）了。

单片机那些事儿-实验篇

广告之后，回答继续。上、下拉电阻的作用本身就是为电路提供一个稳定、可行的运行环境。如图 2-15，如“电平”端悬空，此时三极管的导通、截止状态也就不确定了，如果加了上、下拉电阻，则该端的电平就是一个已知逻辑值，这是缘由一。

再看缘由二，假如没有电阻 R02，且“电平”端用的不是 5V 单片机，而是用 3.3V 的单片机来控制这个三极管，那么当“电平”端为高电平（3.3V）时，LED 小灯是亮还是灭呢？设计者的目的是“灭”，那么达到预期目的了吗？分析可知，此时管子还是导通的，因为 e 极（5V）比 b 极（3.3V）大 0.7V 啊，所以 LED 小灯毫无疑问还是亮。那如果此时别的什么条件都不变，而在电路中加入电阻 R02，这样，当“电平”端为高电平（3.3V）时，被上拉电阻一拉，则 b 极的电压就被拉到 5V 了，从而三极管就截止，LED 小灯也就灭了。若三极管换成是 NPN 的，那 R01 这个下拉电路就同理了。若出于这个原因，当用 5V 的单片机，那就没必要加上、下拉电阻了。

如图 2-15 所示的电阻 R03 用多大阻值的？

情况一，没有上、下电阻，所用单片机为 5V。三极管截止的状态（电平端口处为高电平）这里就不看了，这里以导通（电平端口处为低电平）的情况为例来计算 R03 的阻值。“电平”端为 0V，而 e 极为 5V，则满足导通的压降，三极管导通，且 eb 间压降大概为 0.7V，那还有 $(5-0.7)V$ 的电压就会在电阻 R03 上。这个时候，e、c 之间也会导通，同时 LED 本身压降又是 2V 左右，三极管 e、c 之间大概有 0.2V 的压降，这个可以忽略不计，这样在 R00 上就会有大概 3V 的压降，可以计算出来，这条支路的电流大概是 3mA，足足可以点亮 LED 小灯。

不是说算电阻 R03 吗，怎么算到电流上来了，这时有根据的。前面讲过，三极管有截止、放大、饱和三个状态，截止不用说了，只要 e、b 之间不导通即可。要让三极管处于饱和状态，就是所谓的开关特性，必须满足一个条件。大伙都知道，三极管有一个放大倍数 β ，要想处于饱和状态，b 极电流就必须大于 e、c 之间电流值除以 β 。这个 β ，常用三极管的大概是 100 左右，那么 R03 的电压、电流已知了，欧姆定律读者还不会啊。

上面算得 I_{ec} 为 3mA，那么 b 极电流最小值就是 $3mA/100$ ，即为 30uA，那么 $R03_{MAX} = 4.3V \div 30uA = 143K$ 。只要 R03 比 143K 小就可以，那 1Ω 行吗？假如是 1Ω，则 b 极电流就为 4.3A。可 STC89C52 单片机的 I/O 口承受电流的最大值是 25mA 啊，其实残弈悟恩推荐最好不要超过 10mA，因此 1Ω 果断不行，所以残弈悟恩一般用 1K。

第二种情况，“电平”端口处高电平为 3.3V，且加了上拉电阻 R02，读者能不能算出 R03 阻值的最大值呢？那就留给读者算吧。

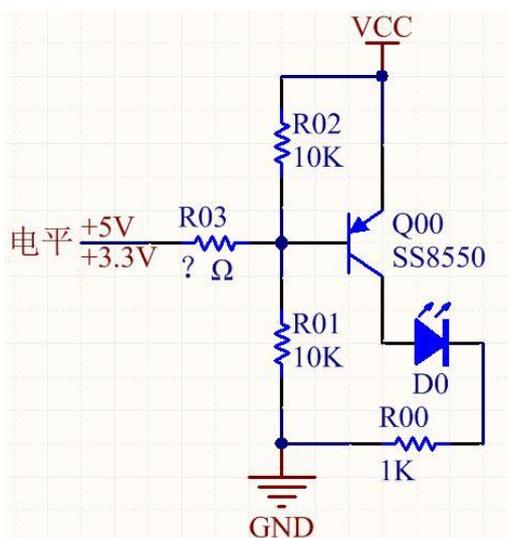


图 2-15 三极管的驱动应用原理图

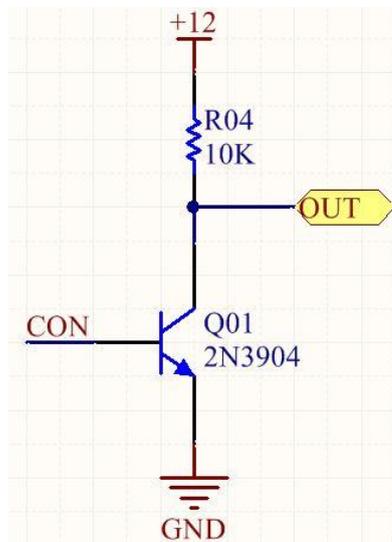


图 3-16 三极管的控制应用原理图

最后一个问题，三极管的控制应用，那什么是控制呢？就是不同电压之间的转换，上面已经提到过 3.3V 到 5V 的转换，现在再来看看 5V 如何控制 12V 呢。其原理图如图 2-16 所示，由三极管的开关特性可知，若 CON 端为低电平（0V），则三极管截止，OUT 端子就为 12V；CON 若为高电平则三极管导通，OUT 端子就为 0V。当然可以在此基础之上变换出更多的控制电路来。

2.4.2 开关三极管的使用误区

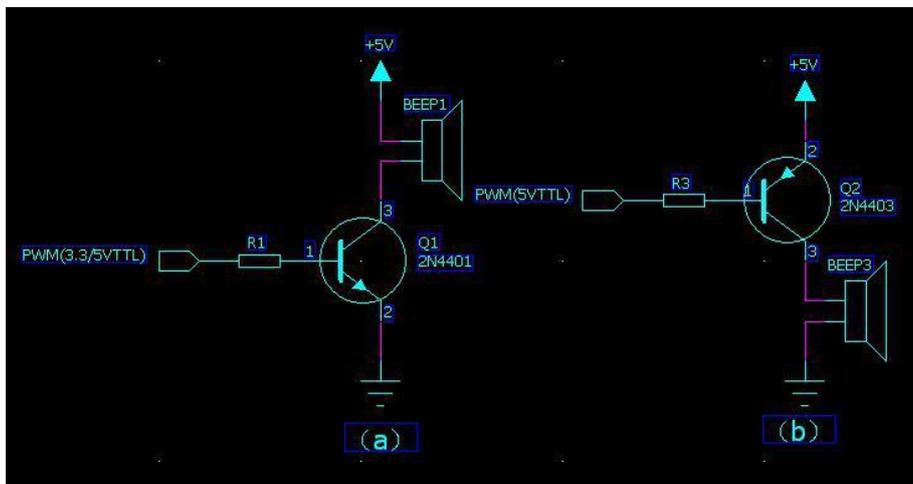
```

/* ***** */
/* 版权声明
/* 作者：蓝海之鸟（网名）
/* 链接：http://bbs.ednchina.com/BLOG\_ARTICLE\_3017177.HTM
/* ***** */

```

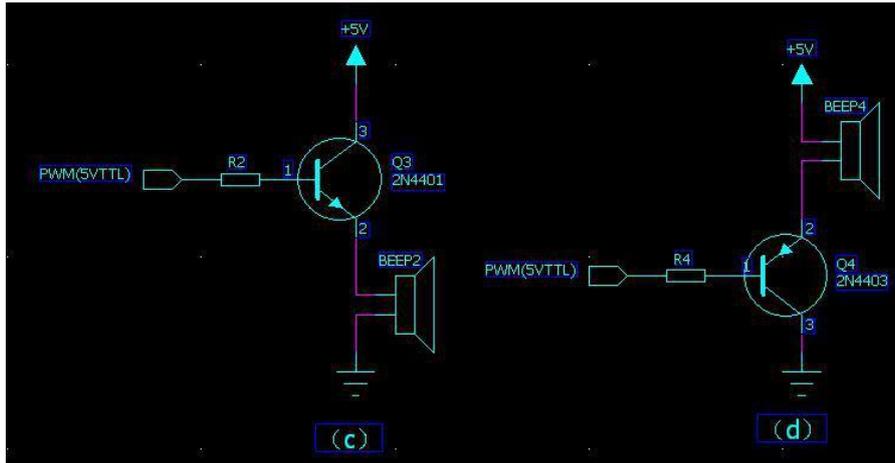
在数字电路设计的中，往往需要把数字信号经过开关扩流器件来驱动一些蜂鸣器、LED、继电器等需要较大电流的器件，用得最多的开关扩流器件要数三极管。然而在使用的过程中，如果电路设计不当，三极管无法工作在正常的开关状态，就达不到预期的目的，有时就是因为这些小小的错误而导致重新打板，导致浪费。本人在这个方面就吃过亏，所以把自己使用三极管的一些经验以及一些常见的误区给大家分享一下，在电路设计的过程中可以减少一些不必要的麻烦。

下面来看几个三极管做开关的常用电路画法。几个例子都是蜂鸣器作为被驱动器件。



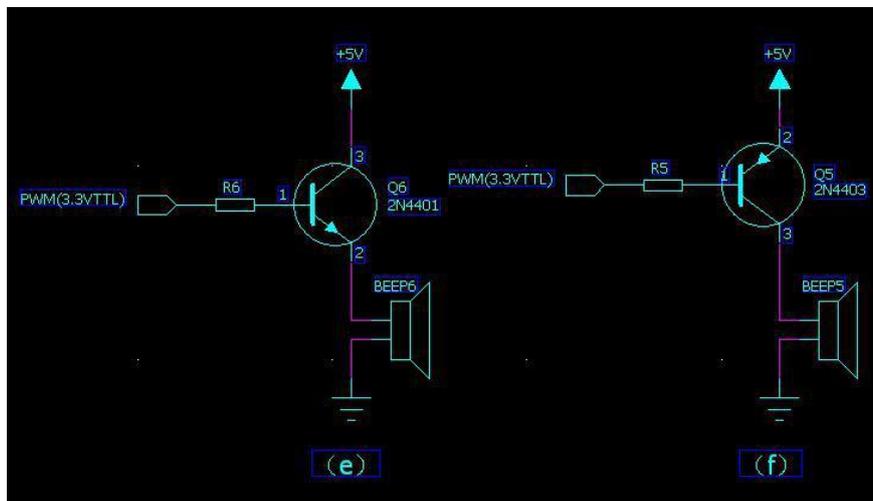
图一

图一的 a 电路用的是 NPN 管，注意蜂鸣器接在三极管的集电极，驱动信号可以是常见的 3.3V 或者 5VTTL，高电平开通，电阻按照经验法可以取 4.7K。例如 a 电路，开通时假设为高电平 5V，基极电流 $I_b = (5V - 0.7V) / 4.7K = 0.9mA$ ，可以使三极管完全饱和。b 电路用的是 PNP 管，同样把蜂鸣器接在三极管的集电极，不同的是驱动信号是 5V 的 TTL 电平。以上这两个都可以正常工作，只要 PWM 驱动信号工作在合适的频率，蜂鸣器（有源）都会发出最大的声音。



图二

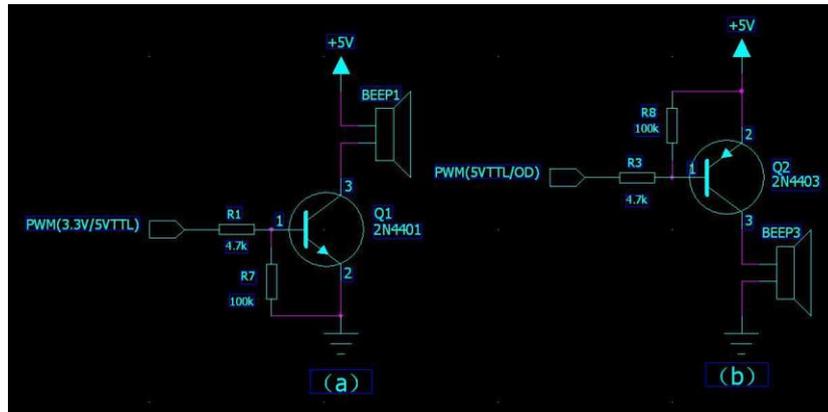
图二的这两个电路相比图一来说，最大的区别在于被驱动器件接在三极管的发射极。同样看 c 电路，开通时假设为高电平 5V，基极电流 $I_b = (5V - 0.7V - U_L) / 4.7K$ ，其中 U_L 为被驱动器件上的压降。可以看到，同样取基极电阻为 4.7K，流过的基极电流会比图一 a 电路的要小，小多少要看 U_L 是多少。如果 U_L 比较大，那么相应的 I_b 就小，很有可能导致三极管无法工作在饱和状态，使得被驱动器件无法动作。有人会说把基极电阻减小就可以了呀，可是被驱动器件的压降是很难获知的，有些被驱动器件的压降是变动的，这样一来基极电阻就较难选择合适的值，阻值选择太大就会驱动失败，选择太小，损耗又变大。所以，在非不得已的情况下，不建议选用图二的这两种电路。



图三

我们再来看图三这两个电路。驱动信号为 3.3V TTL 电平，而被驱动器件开通电压需要 5V。在 3.3V 的 MCU 电路中，不小心的话很容易就设计出这两种电路，而这两种电路都是错误的。先分析 e 电路，这是典型的“发射极正偏，集电极反偏”的放大电路，或者叫射极输出器。当 PWM 信号为 3.3V 时，三极管发射极电压为 $3.3V - 0.7V = 2.6V$ ，无法达到期望的 5V。图三 f 电路也是一个很失败的电路，首先这个电路开通是没有问题的，当驱动信号为低电平时，被驱动器件可以正常动作。然而这个电路是无法关断的，当驱动信号 PWM 为 3.3V 高电平的时候， $U_{be} = 5V - 3.3V = 1.7V$ 仍然可以使三极管开通，于是无法关断。在这里，有人会说用过这个电路，没有问题啊，而且 MCU 的电压也是 3.3V。我说你用的肯定是 OD（开漏）驱动方式，而且是真正的 OD 或者是 5V 容忍的 OD，比如 STM32 的很多 IO 口都可以设置

为 5V 容忍的 OD 驱动方式（但是有些是不行的）。当驱动信号为 OD 门驱动方式时，输出高电平，信号就变成了高阻态，流过基极的电流为零，三极管可以有效关断，这个时候 f 电路依然有效。



图四

综合以上几种电路的情况分析，得到图四这两种个人认为是最优的驱动电路，与图一不同的是，图四在基极与发射极之间多加了一个 100K 的电阻，这个电阻也是有一定作用的，可以让三极管有一个已知的默认状态。当输入信号去除的时候，三极管还处于关断状态。在安全和稳定的方面考虑，多加的这个电阻还是很有必要的，或者说可以让三极管工作在更好的开关状态。

三极管作为开关器件，虽然驱动电路很简单，要使电路工作更加稳定可靠，还是不能掉以轻心。为了不容易出错，个人建议是优先采用图四的电路，尽量不采用图二的电路，避免使用图三的工作状况。

2.5 MOS 管

或许很少有单片机的书籍去讲述 MOS 管，那残弈悟恩为何讲解，看标题就知道了，这是知识扩展，以便能为读者扩展一点以后实际项目中常用知识点。这里要讲述的是 MOS 管，因为在以后电源控制部分运用很广泛，MOS 管实物如图 2-17 所示。



图 2-17 MOS 管实物图

2.5.1 MOS 管基础

其实读者可以类比三极管去学 MOS 管，MOS 管又叫场效应管。顺便将二极管、三极管、MOS 管拉到一起来对比一下。二极管只能通过正向电流，反向截止，不能用于控制；三极管通俗讲就是小电流放大成受控的大电流；MOS 管是小电压控制电流的。接着来认识一下 MOS 管。MOS 管的分类方式比较多，这里只简述两种：N 沟道增强型、P 沟道增强型，其原理图分别如图 2-18、2-19 所示。

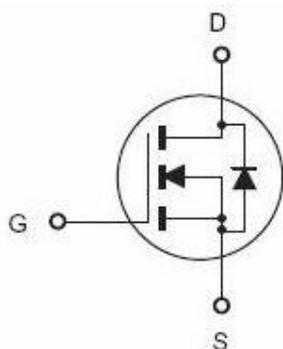


图 2-18 N 沟道增强型 MOS 管

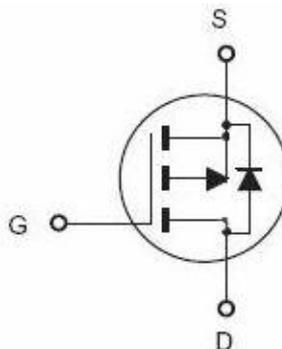


图 2-19 P 沟道增强型 MOS 管

第一个是 N 沟道增强型场效应管，第二个是 P 沟道增强型场效应管，它们的作用刚好相反。前面说过，场效应管是用电压控制开关的。MOS 管具有放大作用，但是这里残弈悟恩还是不讲解放大，只讲开关特性。从图 2-18 和 2-19 可知，它也像三极管，有三个脚，这三个脚分别叫做栅极 (G)、源极 (S) 和漏极 (D)。

栅极是控制极，在 G (栅极) 加上电压和不加上电压来控制 S (源极) 和 D (漏极) 是相通还是不相通。对于 N 沟道来说，在栅极加上电压则源极和漏极就相通，去掉电压就关断；P 沟道的刚好相反，在栅极加上电压 (高电平) 就关断，去掉电压 (低电平) 就相通。

2.5.2 MOS 管的应用

由于残弈悟恩做过一段时间的机顶盒，在电源处理部分经常用到 MOS 管去控制电源的开关，因此这里以一个非常经典的开关电路来讲述其控制过程。电路如图 2-20 所示。图中的 SI2305 就是 P 沟道 MOS 管，残弈悟恩就拿这个 MOS 管开刀来讲解其在电路中的应用吧。

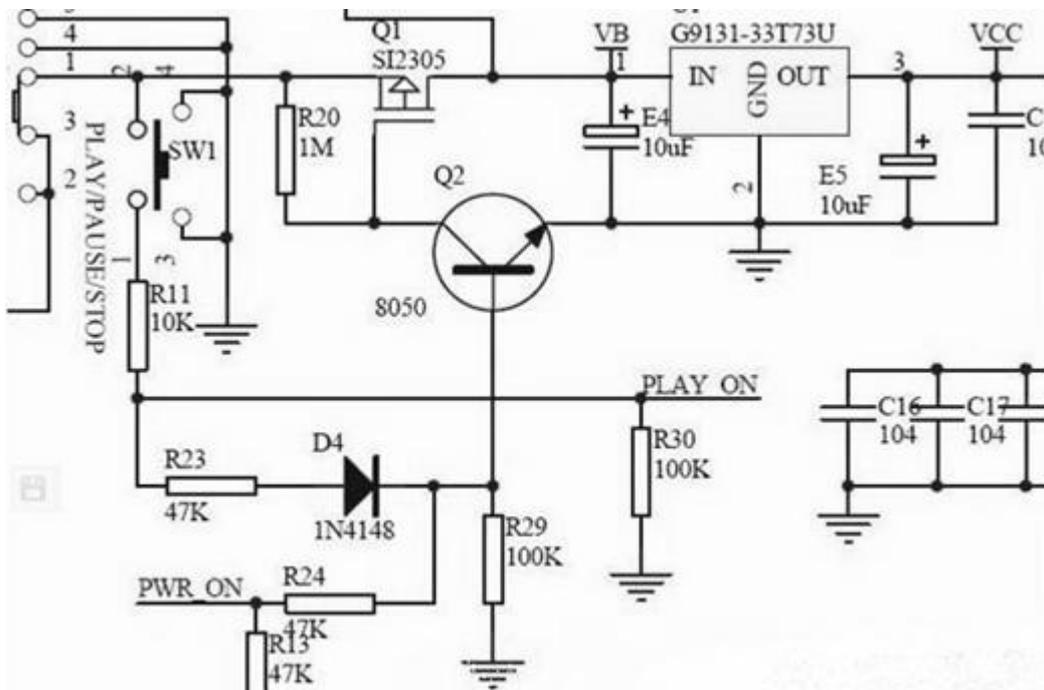


图 2-20 由 P 沟道 MOS 组成的电源开关电路

图中电池的正电通过开关 S1 接到场效应管 Q1 的源极，它的栅极通过电阻 R20 提供一个高电平，由于 Q1 是一个 P 沟道管，所以此时管子截止，电压不能通过 3.3V 稳压 IC (G9131) 输入管脚没有电压，所以系统就不能工作。这时，如果用户按下 SW1 开机按键，则由 SW1、R11、R23、D4、三极管 Q2 构成一个回路，这时三极管发射极接地、基极又为高电平，因此

三极管 Q2 就会导通（前面已经讲过了吧），那么就相当于 Q1 的栅极直接接地，这时 Q1 的栅极就从高电位变为低电位，Q1 就会导通，从而电流经 Q1 到达稳压 IC 的输入脚，这样 3.3V 稳压 IC 就会系统提供一个 3.3V 的工作电压。这样 CPU 就开始工作了，并会输出一个控制电压到 PWR_ON，再通过 R24、R13 分压送到 Q2 的基极，保持 Q2 一直处于导通状态，即使用户松开开机键，可主控送来的控制电压还保持着，那么 Q2 还是会一直保持导通状态，Q1 就能源源不断地给 3.3V 稳压 IC 提供工作电压。SW1 还同时通过 R11、R30 两个电阻的分压，给主控 PLAY ON 脚送去时间长短、次数不同的控制信号，主控通过固件程序判断是播放、暂停、开机、关机等，从而输出不同的控制结果，以达到不同的工作状态。

2.6 运算放大器

运算放大器，简称“运放”，英文描述为 Operation Amplifier (OP)，是一种运用很广泛的线性集成电路，其种类繁多，在运用方面不但可对微弱信号进行放大，还可作为反相器、电压比较器、电压跟随器、积分器、微分器等，并可对信号做加、减运算，所以被称之为运算放大器。其符合表示如图 2-21 所示（左：国家标准规定的符合；右：国内外常用符合）。

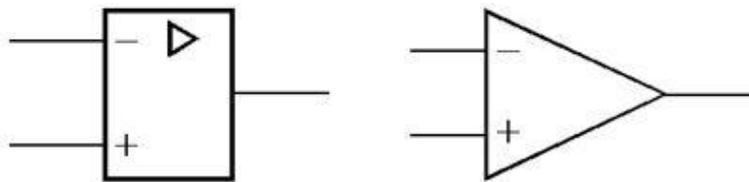


图 2-21 运算放大器的代表符合

2.6.1 负反馈

说到运放，其实有好多特性和参数，限于篇幅，就不一一列举了。这里有一很重要的概念—负反馈。

关于负反馈，残弈悟恩也给不出什么严格的定义。这里结合电路图来说明什么是负反馈，引入负反馈有何意义？

电路如图 2-22 所示，输入信号电压 $V_i (= V_p)$ 加到运放的同相输入端“+”和地之间，输出电压 V_o 通过 R_1 和 R_2 的分压作用，得 $V_n = V_f = R_1 V_o / (R_1 + R_2)$ ，作用于反相输入端“-”，所以 V_f 在此称为反馈电压。

当输入信号电压 V_i 的瞬时电位变化极性如图中的 (+) 号所示，由于输入信号电压 $V_i (V_p)$ 加到同相端，输出电压 V_o 的极性与 V_i 相同。反相输入端的电压 V_n 为反馈电压，其极性亦为 (+)，而净输入电压 $V_{id} = V_i - V_f = V_p - V_n$ 比无反馈时减小了，即 V_n 抵消了 V_i 的一部分，使放大电路的输出电压 V_o 减小了，因而这时引入的反馈是负反馈。

综上，负反馈作用是利用输出电压 V_o 通过反馈元件 (R_1 、 R_2) 对放大电路起自动调节作用，从而牵制了 V_o 的变化，最后达到输出稳定平衡。

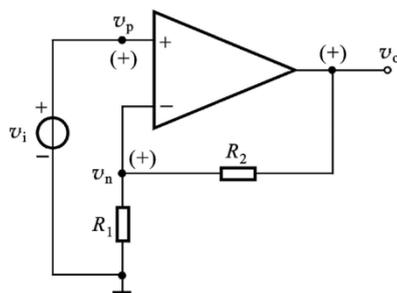


图 2-22 同相放大电路

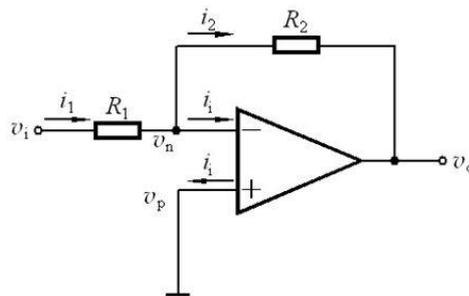


图 2-23 反相放大电路

2.6.2 同相放大电路

提供正电压增益的运算放大电路称之为同相放大，如图 2-22 所示。

在图 2-22 中，输出通过负反馈的作用，使 V_n 自动地跟踪 V_p ，使 $V_p \approx V_n$ ，或 $V_{id} = V_p - V_n \approx 0$ 。这种现象称为虚假短路，简称**虚短**。

由于运放的输入电阻的阻值又是很高，所以，运放两输入端的 $I_p = -I_n = (V_p - V_n) / R_i \approx 0$ ，这种现象称为虚断。注意：**虚短**是本质的，而**虚断**则是派生的。

2.6.3 反相放大电路

提供负电压增益的运算放大电路称之为反相放大，如图 2-23 所示。

图 2-23 中，输入电压 V_i 通过 R_1 作用于运放的反相端， R_2 跨接在运放的输出端和反相端之间，同相端接地。由虚短的概念可知， $V_n \approx V_p = 0$ ，因此反相输入端的电位接近于地电位，故称**虚地**。虚地的存在是反相放大电路在闭环工作状态下的重要特征。

这部分的知识太多，内容太复杂，我知道有很多人想着放弃，真的累了吗？真的想想放弃吗？



看到这样一张张图片，残弈悟恩不由得想起了自己的童年。每到暑假，我也时常卷起裤腿，光着脚丫，赶着一对毛驴耕地。有时也很累，也时常想着逃避，但为了生存，没有选择，没有退路，生活还得继续。没有春天的耕耘，哪有秋天的收获。