

# 前言

大家好。今天讲一下运算放大器，简称运放。以前看一些电子期刊，总有这种让人似懂非懂的名词，可惜当时没百度，也没人告诉我，让我一直糊涂到现在。

总之，我给大家用人话讲一下运算放大器。顺便再讲一下类似的 LM393（双电压比较器）和 TL431（可控精密稳压源），因为它们 3 个日常应用最多。

这里我只做最简单的讲解，为啥不讲的深入一点？原因以前我也说过，一是我水平不够，二是讲多了你也不看，然并卵。

## LM358

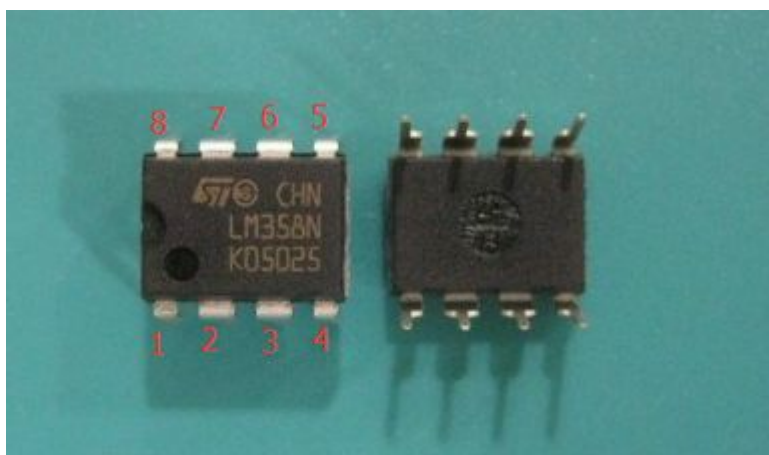
LM358 是一款常用的双运放放大器，双的意思就是他里面集成了两个运行放大器，就跟现在的双核 CPU 一样，一块能当两块用。

当然，你可以用其中的一块，也可以两块一起用。

## 实物图

下面是他的实物图，我找了贴片和直插两种。

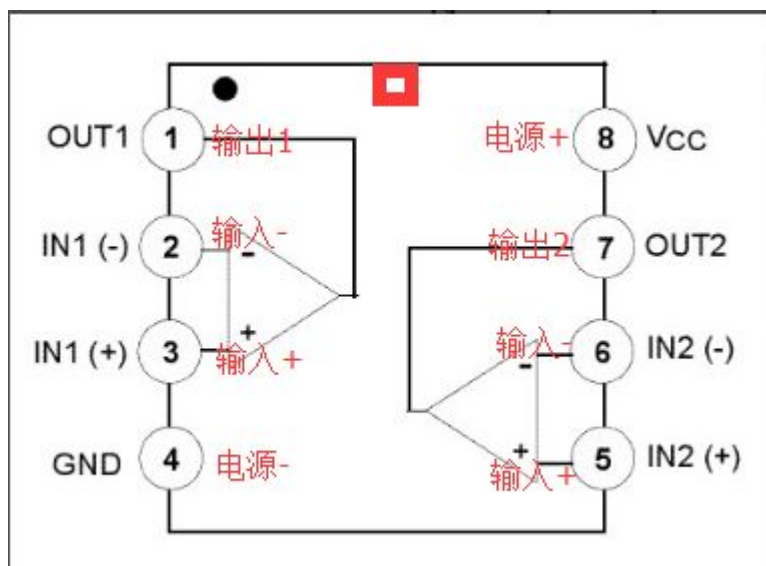




大家可以看到，他有 8 个脚，上图我顺便也标了引脚顺序。注意左边的缺口和圆点，这个是引脚的开始标志。

## 引脚解释

LM358 的引脚图如下：



先解释一下引脚：

8 脚：电源正极，3V 最低，30V 最高。英文缩写一般是 VCC。

4 脚：电源负极。以后说 地、GND，其实都是指电源负极。

下面是 2 个独立的、相互不干扰的放大器，图上用三角形表示放大器：

123 脚是放大器一。

765 脚是放大器二。

这里有人会有疑问，独立的放大器有两个输入的话，应该也有两个输出，对吧？为啥这里变成了只有一个输出呢？

比如放大器一，23 脚输入，为啥只有 1 脚输出？

其实，这里的 4 脚变成了一个公共的“输出-”，1 脚可以看成是“输出+”。

那么对于放大器一来说：

输入有两个脚：2 脚（输入-），3 脚（输入正）

输出有两个脚：4 脚（输出-），1 脚（输出正）

放大器二也一样：65 输入，47 输出。

## LM358 的作用

好了，芯片实物我们也看了，引脚也知道了。那么他的作用是什么？

听名字好像是放大用的？是的，他就是放大输入信号（电压）的。

我这里用放大器一举例：

当 2 脚和 3 脚输入一个小电压的时候，41 脚就会输出一个大电压。

也就是电压被放大了。

具体放大倍数是多少呢？是否我们能控制这个放大倍数呢？

例如：我想要这么一个功能，当 23 脚的输入电压是 0.3V 的时候，41 脚的输出电压变成了 3V，放大 10 倍。我该怎么实现呢？

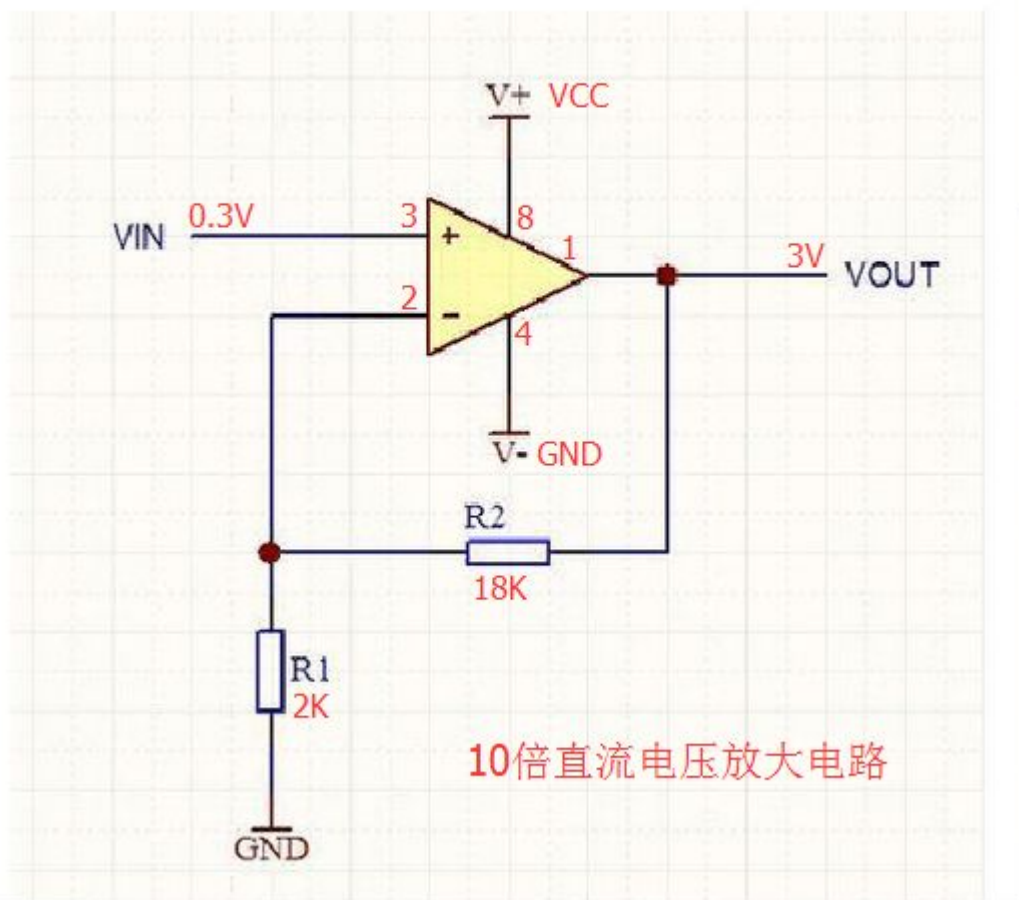
LM358 的放大倍数依靠两个电阻来实现，电路图非常简单，请看下面的电路图。

## 直流电压放大电路

LM358 的应用电路其实很多，但是我这里只讲最简单的一种，也是我们 DIY 最常用的一种，用来放大直流电压的。

看图吧：

放大倍数 $=1+R2/R1$ ，如果放大 10 倍，选择  $R1=2K$ ， $R2=18K$  即可。



上图用一个三角形表示放大器，我上面标注了 LM358 的引脚，这里我用的是放大器一，放大器二怎么办？不用管它，引脚悬空就好了，两个放大器是独立的，不会相互干扰。

2 脚通过 R1 接地，3 脚直接输入了一个 0.3V 的小电压。

8 脚电源正极，4 脚电源负极，给 LM358 供电。

1 脚通过 R2 接到了 2 脚。此时，1 脚的输出电压被放大了。

放大倍数 $=1+R2/R1=1+18/2=10$  倍。

通过改变电阻 R1 和 R2 的大小，我们可以轻松控制放大倍数。

比如  $R1=1K$ ， $R2=10K$  的时候，放大倍数 $=1+10/1=11$  倍。

上图是一个非常典型的 LM358 的直流电压放大电路，我们用在什么地方呢？

常用的就是测量电流和电压的电路，特别是测量电流的电路。当电流很小的时候，电压取样电阻两端的电压就会很小。当我们用单片机的 ADC 功能（也就是模数转换）来测量电压的时候，如果电压的数值很小，那么就很不不好测量。一个 0.01V 电压，基本就测不出来。

LM358 此时就派上用场了。将小电压放大 10~100 倍后，就变得容易测量了，剩下的就是单片机程序里面，将测量的电压除以放大的倍数，就可以得到较为准确的数值了。

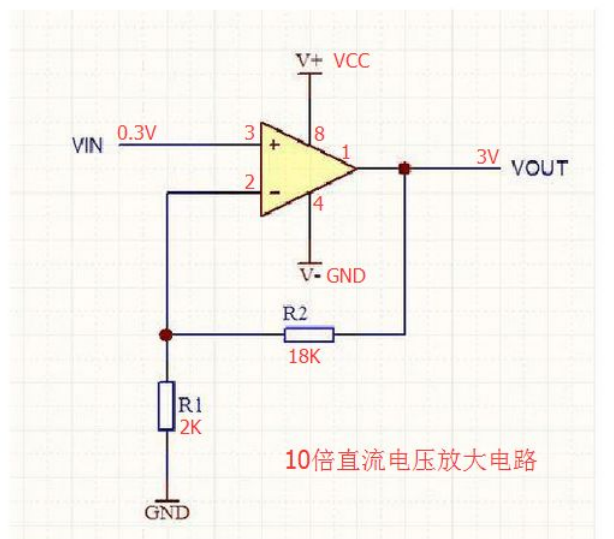
## 为啥电阻 R2 和 R1 能改变放大倍数

大家知道了放大电路的放大倍数可以用电阻 R2 和 R1 进行调节。问一句，为什么改变电阻 R2 和 R1 就能调整放大倍数？

大家能不能想一下为什么？

我们再看看电路图：

放大倍数=1+R2/R1，如果放大 10 倍，选择 R1=2K，R2=18K 即可。



发现了吗？

1 脚和 2 脚通过电阻 R2 相连，2 脚的电压=  $V_{out} * R1 / (R1 + R2)$

当 R2 阻值变小的时候，2 脚的电压就被 1 脚抬高了。2 脚电压越高，3 脚和 2 脚之间的电压差越小，等于输入电压减小了，如果 LM358 的内部放大倍数是一个恒定值的时候，输入电压变小，等于输出电压变小，也就是放大倍数变小了。

反之，当 R2 变大，2 脚电压就变小，3 脚和 2 脚的电压差就变大，输入电压变大，放大倍数变大。

当 R2=0 的时候，2 脚和 3 脚的电压相等，输入电压为 0，放大器就完全没有放大作用了。

当 R2=正无穷大的时候，2 脚电压为 0，此时 3 脚和 2 脚之间的电压差最大，等于输入电压最大，放大倍数也是最高。

不知道我讲的是否容易理解……不理解的就死记公式吧。

## LM358 的电压最高能放大到多少倍？

有人常常奇怪，为啥我放大电路设计是放大 50 倍的，可是量了一下电压，只放大了 3 倍？

这里问一个问题，如果 LM358 的电源电压是 5V，就是 8 脚和 4 脚的电压是 5V，那么 1 脚最高能输出多少伏的电压？

有人会说简单啊，比如我输入 1V 的电压，根据公式： $V_{out}=1+R_2/R_1$ ，我这里  $R_2=100K$ ， $R_1=1K$ ，那么  $V_{out}=1*(1+100)=101V$ 。

这个算法是错误的。虽然你的公式没记错。

真相在这里：

LM358 没有升压功能，只有电压放大功能，而且不是无上限的放大。

当电源电压是 5V 的时候，1 脚的最大输出电压，大概是 3.5V~3.8V。LM358 内部电路要占用一部分的电压。

这下大家明白了吧？放大和升压是不同的。

放大电压不能超过电源电压。不管你的电阻  $R_2$  和  $R_1$  怎么取值都没用。

只有在 LM358 的放大范围内，放大公式才有效，否则就是错误的。

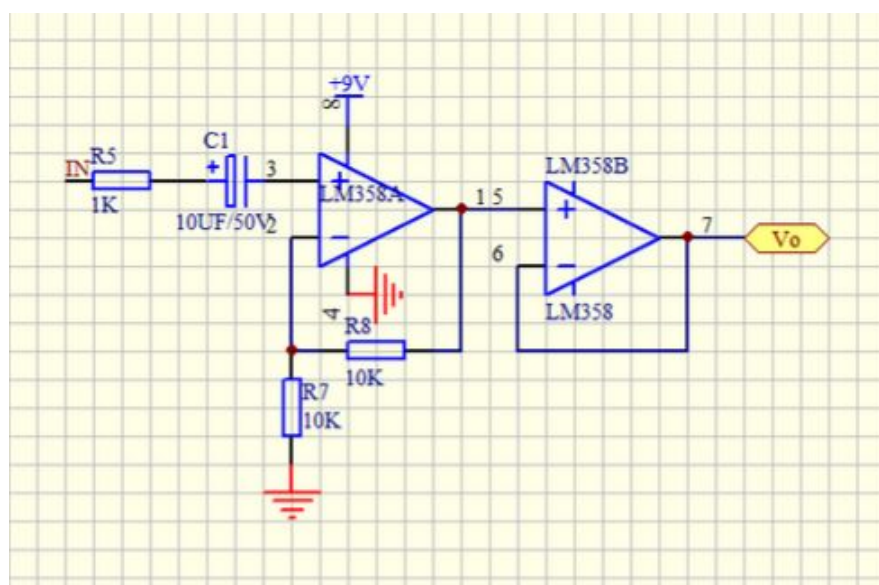
大家也明白了吧，你的 LM358 的电源电压是 5V，你的电路设计的放大倍数是 10 倍。

当你放大 0.35V 以下的电压，可以放大到 10 倍。

但是当你放大 1V 的电压，永远不可能是 10V，超过电源电压的放大倍数，都是无效的。

## 信号放大电路

下面是一个简单信号放大电路，比如用于音频信号的放大。



仔细看这个电路，LM358 的两个放大器全部用上了。

输入信号通过 R5 和 C1，输入到 3 脚进行放大。

这里的输入不能是直流信号，必须是交流信号。因为电容 C1 隔直流，通交流。

放大器一我们都能理解，上面刚讲过：

根据公式，放大器一的放大倍数： $1+R8/R7=1+10/10=2$  倍。

放大器二，他的 7 脚（输出+）和 6 脚（输入-）之间没有接电阻，无法套用公式。

其实如果放大器这种接法，就是不放大，没有放大作用。原理我上面讲过了。

有人奇怪了，不放大还接什么放大器？？

对于音频信号来说，它的电流是很微弱的，这里通过放大器二后，虽然信号电压没有被放大，但是通过放大器二后，信号的电流增加了。

所以这样，输入信号通过两路运算放大器后，信号电压增加了一倍，电流也变大了。

## 实战电路

好吧，LM358 讲完了。你会不会用这个设计一个电流的测量电路呢？？

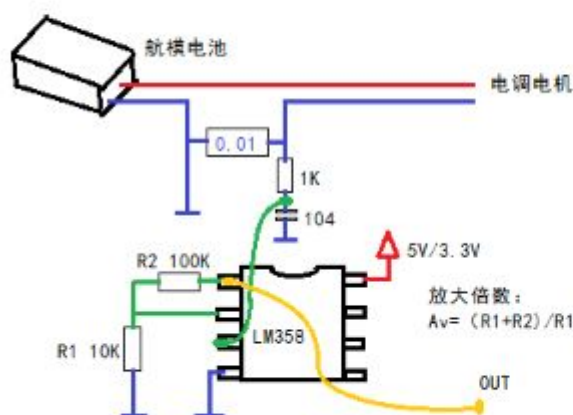
可以看看萝莉的万用仪表中的电流测量电路。呵呵。

我这里不讲。

我给出盗图。大家自己分析一下。呵呵。

### 电流计电路：

方案为 0.01 欧电阻采样电流，经运算放大器 LM358 放大后，送给单片机 AD 输入口。  
配合不同的电阻，LM358 放大倍数不同，可以形成不同量程的电流计。





# LM393

LM393 是一个双电压比较器。它内置了 2 个独立的电压比较器。  
和 LM353 不同，它不放大输入电压，而是比较两个输入端的电压大小，根据电压差的正负，输出一个高电平或者低电平。

## 实物图



管脚我不标了。大家自己标一下，和 LM353 一个样子。

## 引脚解释





LM393 的引脚分布和 LM358 非常像，基本上是一样的。下面的文字我大部分都是复制 393 的，唯一不同的是放大器变成了比较器。

8 脚：电源正极，2V 最低，36V 最高。英文缩写一般是 VCC。

4 脚：电源负极。以后说 地、GND，其实都是指电源负极。

下面是 2 个独立的、相互不干扰的比较器，图上也用三角形表示比较器：

123 脚是比较器一。

765 脚是比较器二。

现在拿比较器一为例，比较器一有两个输入（2 脚和 3 脚），一个输出（1 脚）。

有人也把 3 脚称为输入电压，2 脚称为参考电压。

或者 3 脚称为同向输入，2 脚称为反向输入。

反正不管怎么叫，道理是一样的。

当 3 脚的电压大于 2 脚电压的时候，1 脚输出高电平。

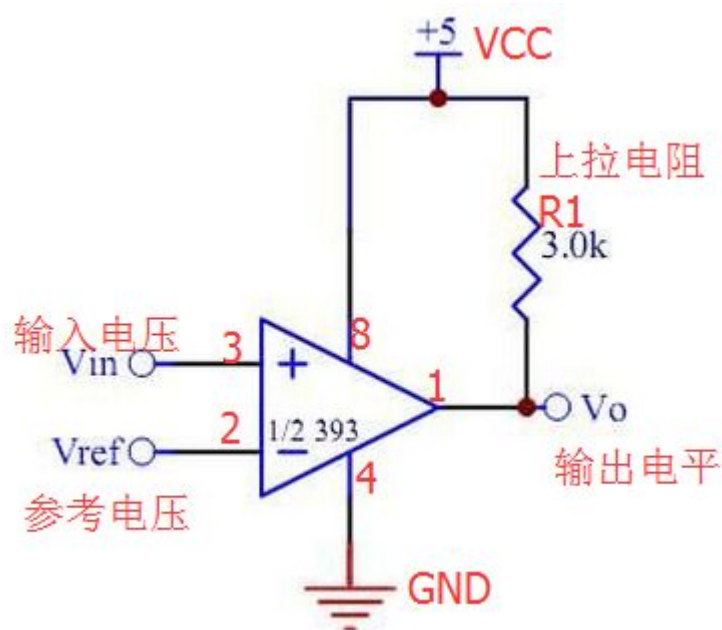
当 3 脚的电压小于 2 脚电压的时候，1 脚输出低电平。

有人要问，输入电压和参考电压相等的情况，1 脚输出电平是高还是低？

回答：电压相等，输出低电平。

实际上，在 2 脚和 3 脚的电压，相差 2~9mV 的时候，就默认为电压相等，输出低电平。

## 基本比较电路



上图是一个基本的比较电路，这里只用了一个比较器：比较器一。电路非常简单，下面是讲解：

先看电源，4 脚接地，8 脚接电源正极，给 LM393 供电。

3 脚和 2 脚分别接了两个不同的电压，一个叫输入电压，一个叫参考电压。当 3 脚电压比 2 脚高，1 脚输出高电平，反正输出低电平。

电阻 R1 是上拉电阻，也就是 LM393 上电工作前的瞬间，Vo 一开始就输出高电平。以后的电平高低则根据输入电压和参考电压的大小决定。

如果 R1 不接 VCC，接 GND 话，那么 R1 就是下拉电阻，保证 Vo 一开始就输出低电平。

这个图，R1 有没有都可以，我是盗的图，人家画上去了而已。

## LM393 的电压比较范围

记住一句话，输入电压和参考电压，不能超过电源电压。否则比较结果就始终是低电平。

那种电源电压是 5V，你去比较 5V 以上的电压，结果肯定不对。道理大家明白，我也不多说了。

## LM393 的实战电路

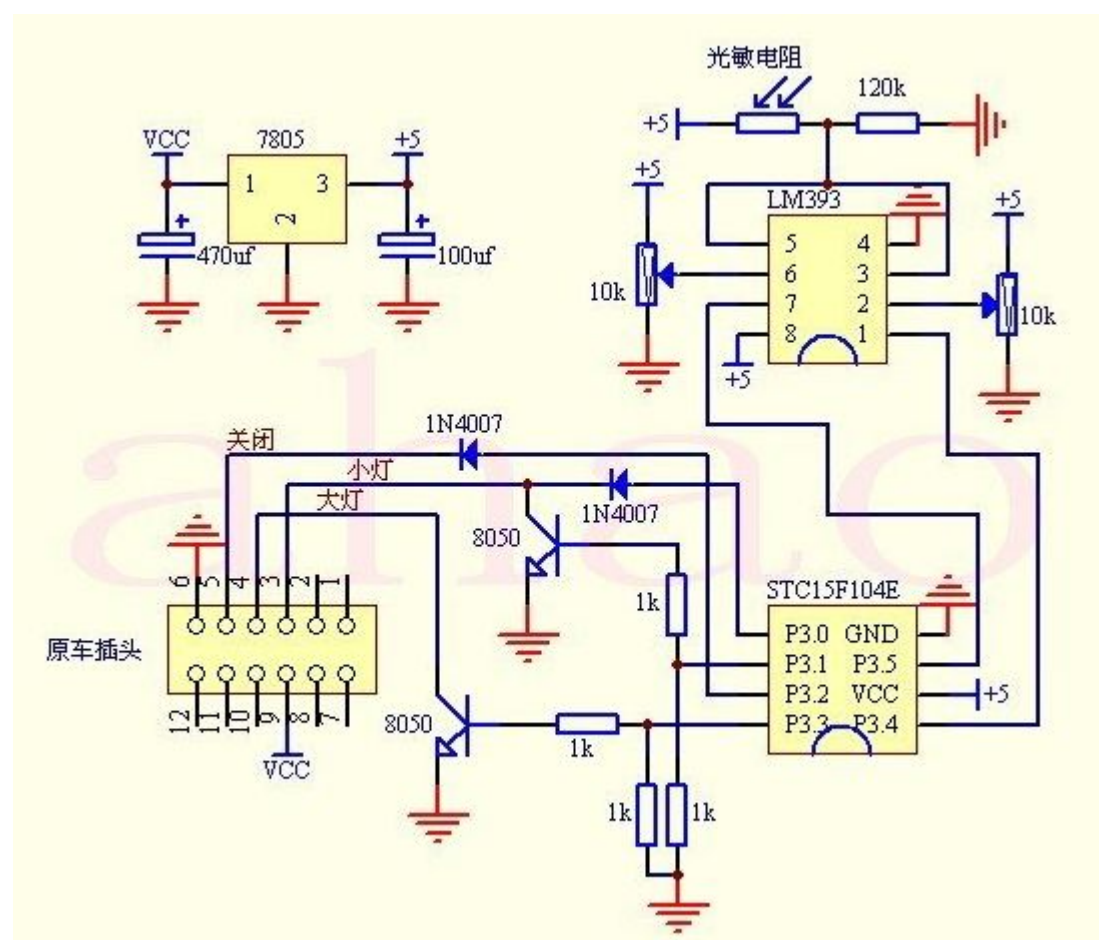
LM393 的作用大家知道了，那么这个东西能用在什么地方？

光敏电阻、热敏电阻、电压检测、过零检测等等电路。

举个例子，当光敏电阻随着光照强度变化的时候，电阻上的电压也跟着阻值改变。

当光敏电阻的阻值到达临界值的时候，我们怎么把这个阻值变化，变成单片机能识别的高低电平呢？LM393 就可以上场了。

下面是我随便找的一个 LM393 的应用电路，如下：



上图是我盗的一个汽车自动大灯的控制电路。

它利用一个光敏电阻，作为光照的取样器。

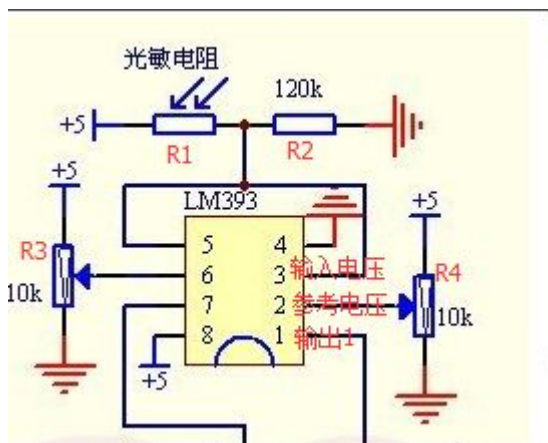
当天变暗的时候，它自动开小灯。

当天变黑的时候，它自动开大灯。

反之，则帮你自动关灯。

里面的开灯关灯和程序啥的我们都不看了，我们只看 LM393 的比较电路。

它这里两个比较器全部用了，分别作为大灯和小灯的控制开关，我们只看其中一个比较器。



这里只讲比较器一，比较器二是一样的，大家自己分析。

比较器的 3 脚（输入电压）接在电阻桥中间，两边分别是光敏电阻和 120K 电阻。

3 脚的电压  $V_{in} = 5 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$ 。

(上面是初中学的欧姆定律的一点延伸，这个看不懂的，可以去百度一下电阻分压)

比较器的 2 脚（参考电压），接在可调电阻的中间，电压 0~5V 可调。

电阻桥的两端是 5V 电压，当光敏电阻光照变强的时候，电阻变小，3 脚（输入电压）上升；当光照变弱的时候，电阻变大，3 脚电压下降。

如果调节可调电阻 10K，使 2 脚（参考电压）的电压在一个合适的数值，满足有光的时候，3 脚电压大于 2 脚电压，无光的时候，3 脚电压小于 2 脚电压。

那么 1 脚（输出电压）就可以根据光照强度，给单片机高电平或者低电平。

也就是将光照强度，变成了单片机能识别的高低电平。

其实我啰嗦一句，很多单片机都内置了比较器，取代了外置比较器的功能。那种引脚比较多的 STC 单片机，看看技术手册，往往都会发现上面的比较器。

另外说一句，LM393 也常用于电池的电压检测。

一个 3S 的航模锂电池，满电电压是  $4.2 \cdot 3 = 12.6V$

如果你希望当电压低于  $3.8 \cdot 3 = 11.4V$  的时候报警，电路该怎么设计？？

大小都是相对的，电压大小比较，肯定需要一个精确的基准电压，没有基准电压，怎么进行比较？

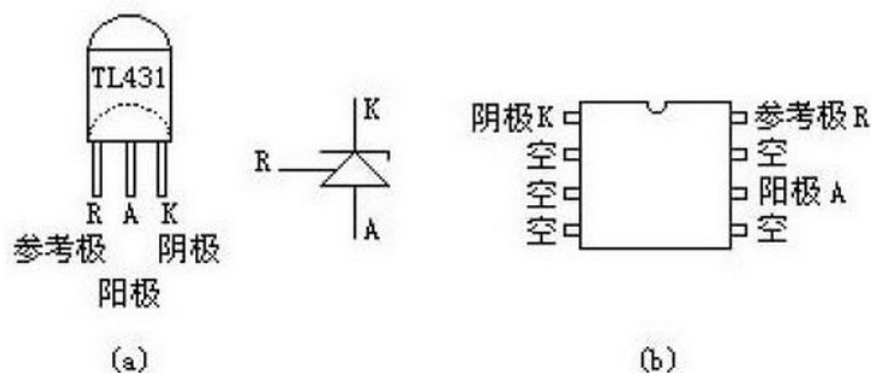
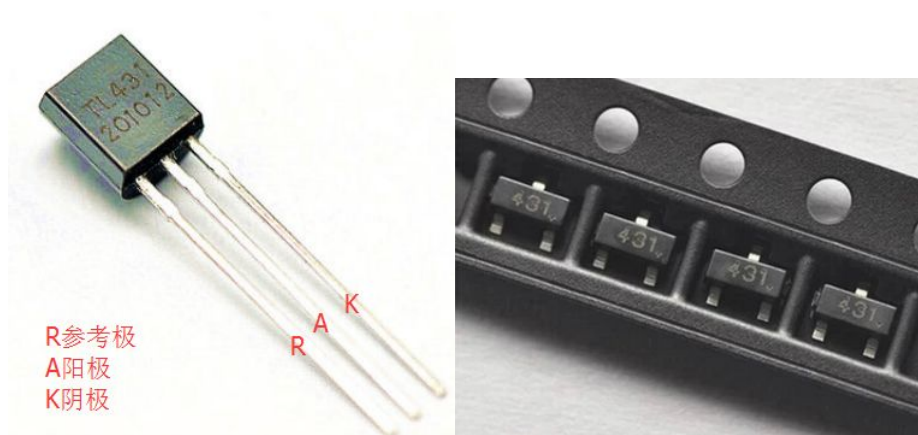
下面我就讲一下用的非常多的一款芯片，TL431（可控精密稳压源）。

# TL431

这个芯片是可控精密稳压电源。类似于 LM7805 之类的稳压电源芯片，但是它比 7805 精准的多。7805 的稳压输出电压，有个 0.1V 误差很正常。如果用来做电压基准源，则远远不够。TL431 则精准的多，很多电路，特别是开关电源，都用它来做基准电源。它能够提供非常精准的 2.5~36V 的基准电压。

## 实物图

这个芯片和普通的三极管一样，也有贴片 8 脚封装的，但是不常见。



### 基准参考电压源TL431B管脚图



常用的 TL431A 的精度是 1%，还有精度更高的 TL431B，精度 0.5%。日常 DIY，TL431A 也足够了。

TL431 的基本输出电压是 2.495V，一般简单起见，我们都认为它是 2.5V。

引脚我一起说了吧，上面写的很详细，TL431 就 3 个脚，参考极，阳极，阴极。

上面的引脚顺序也比较混乱，具体应用的时候以厂家的技术手册为准。

TL431 最大输入电压是 37V，他能够输出 2.5~36V 的精准电压。

## TL431 稳压电路

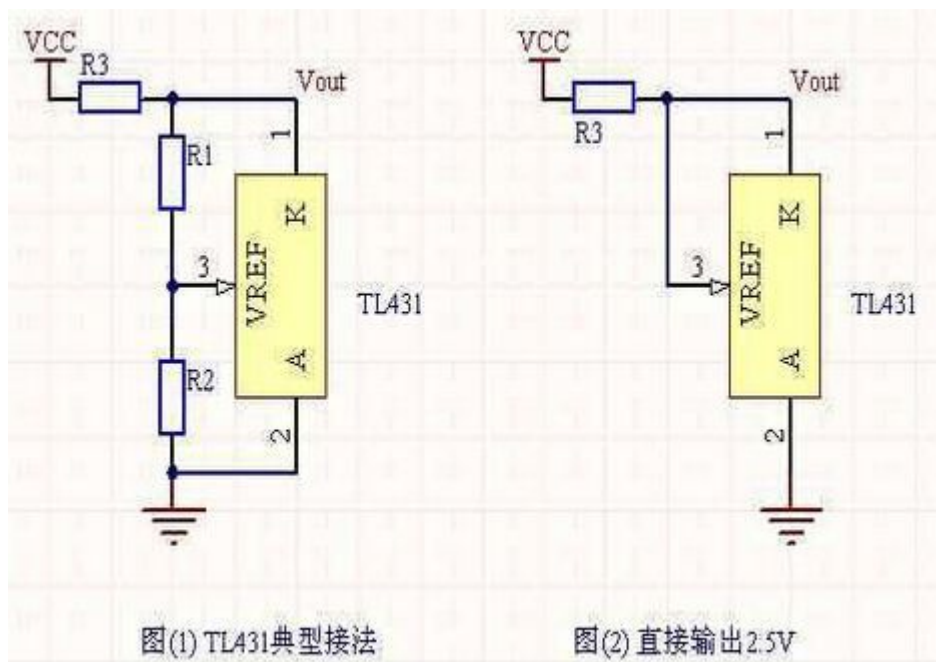


图 1 是 TL431 的典型接法，输出一个固定电压值，计算公式是：  $V_{out} = (R1+R2)*2.5/R2$ ，



同时  $R3$  的数值应该满足  $1\text{mA} < (V_{cc}-V_{out})/R3 < 500\text{mA}$ 。

TL431 它也能够直接输出 2.5V 电压，如图 2 所示。

有没有觉得很奇怪，TL431 的阳极接地，阴极接 VCC，输出正电压？

其实你可以把他当一个稳压二极管。稳压二极管的正负极就是反接稳压的。

TL431 在电路图中，也是一个稳压二极管的样子，不过多了一个参考极。

### 基准参考电压源 TL431B 的符号



电路分析一下，也没什么好说的，就 3 个电阻，1 个 TL431。

电阻  $R1$  和  $R2$  是参考电压调整电阻，改变  $R1$  和  $R2$ ，就能改变输出电压。

TL431 能够直接输出 2.5V 精准电压， $R3$  是限流电阻，阻值不能太大，也不能太小。具体要根据 TL431 的输出电流来决定。

如果 TL431 只是做个基准电压源，那么经过  $R3$  的电流可以小点，比如 10mA 左右。

如果 TL431 还带负载， $R3$  的阻值就要小一点，电流要大一点。

但是都要满足条件： $1\text{mA} < (V_{cc}-V_{out})/R3 < 500\text{mA}$ 。

## 输出电压不能超过 VCC

还是老问题，虽然有电压公式，但是 TL431 也不具备升压能力，它不能使输出电压高于 VCC。VCC 不能超过 37V，但是也不能太低，比如 VCC 低于 2.5V 的时候，输出电压肯定也会低于 2.5V，无法保持稳压状态。

## 开关电源电压微调

图 1 的电路在开关电源中很常见，TL431 作为开关电源电压的基准源。比如一个 12V 的开关电源，它使用图 1 的电路作为电压基准源。如果我想把开关电源的 12V 输出电压改一下，比如改成 11V 或者 13.5V，我改怎么办呢？

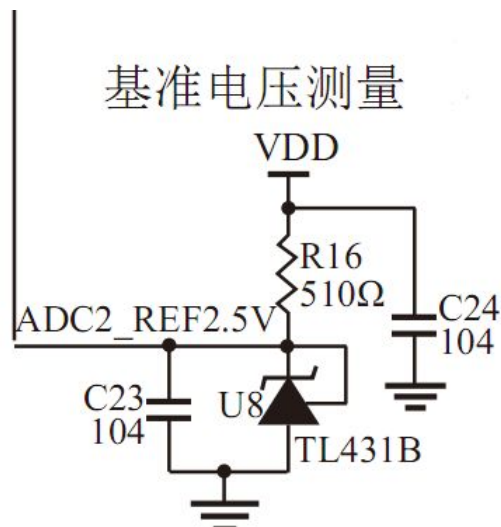
方法很简单，找到电路上的 TL431 芯片，把 431 边上的电阻  $R1$  换成一个可变电阻，改变  $R1$  的值，然后万用表量一下输出电压，满足条件后，量一下可变电阻的电阻值，换成相同阻值的固定电阻，或者就干脆不换了，直接用可变电阻。

当然，这种改法不能把 12V 开关电源的电压变成 24V 或者 5V 的，只能小范围的改变电压，但是非常简单。（据说电压改的太大，开关电源会严重发热）



## 精密基准电压

下面看一个非常精准的基准电压源的电路图，我从 STC 单片机的技术手册上盗图的。用来测量锂电池的电压非常精准。



### 基准参考电压源TL431B的符号



我简单分析一下，VDD 的范围 1S~6S 的锂电池没问题。

R16 是限流电阻，满足条件： $1\text{mA} < (V_{cc}-V_{out})/R16 < 500\text{mA}$ 。

电路直接输出 2.495V 电压，其中 C24 和 C23，分别是 0.1uF 的瓷片电容，用来消除电压波纹。DIY 的时候，能加上就加上，不加也能用。

## 这个电路干什么用？

有了基准电压，就可以精确测量航模电池的电压，做电压回传用。

# 利用 TL431 和 LM393 做一个 3S 锂电池电压检测报警

一个 3S 的航模锂电池，满电电压是  $4.2 \times 3 = 12.6V$

如果你希望当电压低于  $3.8 \times 3 = 11.4V$  的时候报警，电路该怎么设计？

思路理一下，首先利用 TL431 得到一个基准电压 V3，最简单的也就是 TL431 的参考极接阴极，那么直接输出 2.5V 电压。然后加 2 个 104 的瓷片电容过滤波纹。

2.5V 的基准电压 V3 输入 LM393 的 3 脚（输入电压）。

然后再利用电阻分压，得到一个锂电池 11.4V 的时候，分压出来的 2.5V 电压 V2。

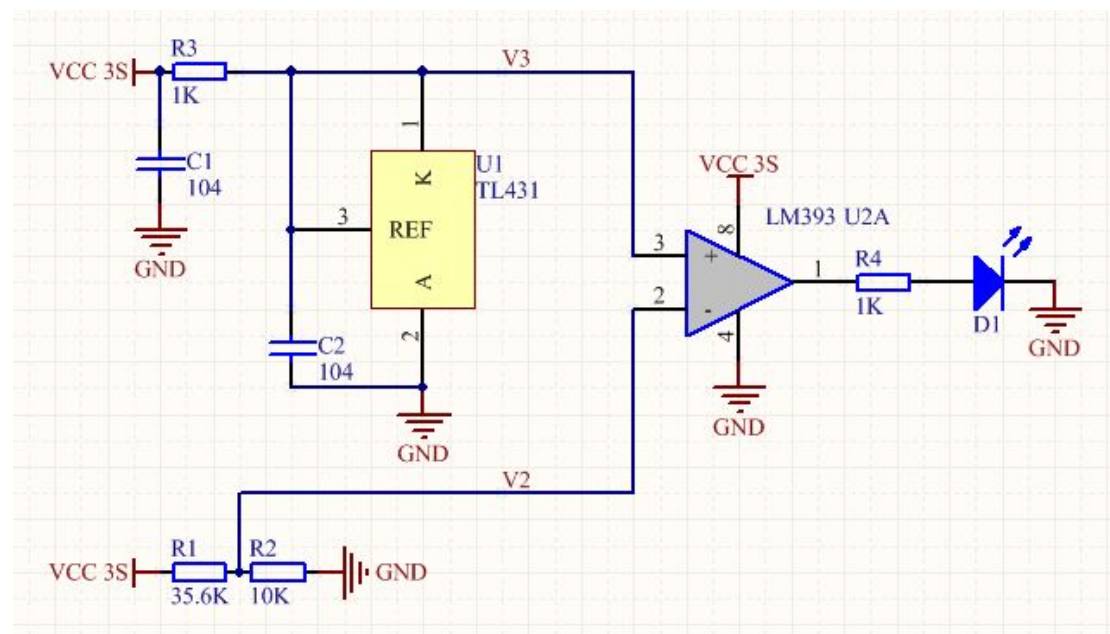
如果锂电池的电压比 11.4V 低，那么 V2 低于 2.5V。

这个电压 V2 接到 LM393 的 2 脚（参考电压）。

当锂电池电压高于 11.4V 的时候，V3 小于 V2，1 脚输出低电平，D1 不会被点亮。

当锂电池电压低于 11.4V 的时候，V3 大于 V2，1 脚输出高电平，D1 被点亮报警。

R4 是 1K 的限流电阻，免得高电压烧掉 D1。



电路图如上，R3 用 1K，满足条件。

分压电阻为 R1 和 R2，根据公式： $V2=VCC \cdot R2 / (R1+R2)$

当  $VCC=11.4V$  的时候， $V2=2.5V$ 。R2 电阻用 10K，那么 R1 的电阻就可以计算。

$$2.5=11.4 \cdot 10 / (R1+10)$$

$R1=35.6K$ ，这里 R1 可以用一个可调电阻。

电路图是我自己画的，我也不知道对不对，哈哈，大家凑合看吧。有错就告诉我。

如果 LED 换成蜂鸣器，其实就是 3S 电池的山寨版 BB 响。

电路再改装一下，可以单独为每一块锂电池进行电压报警，就更加的实用。

浅雪

2015 年 11 月 18 日 00:25:33