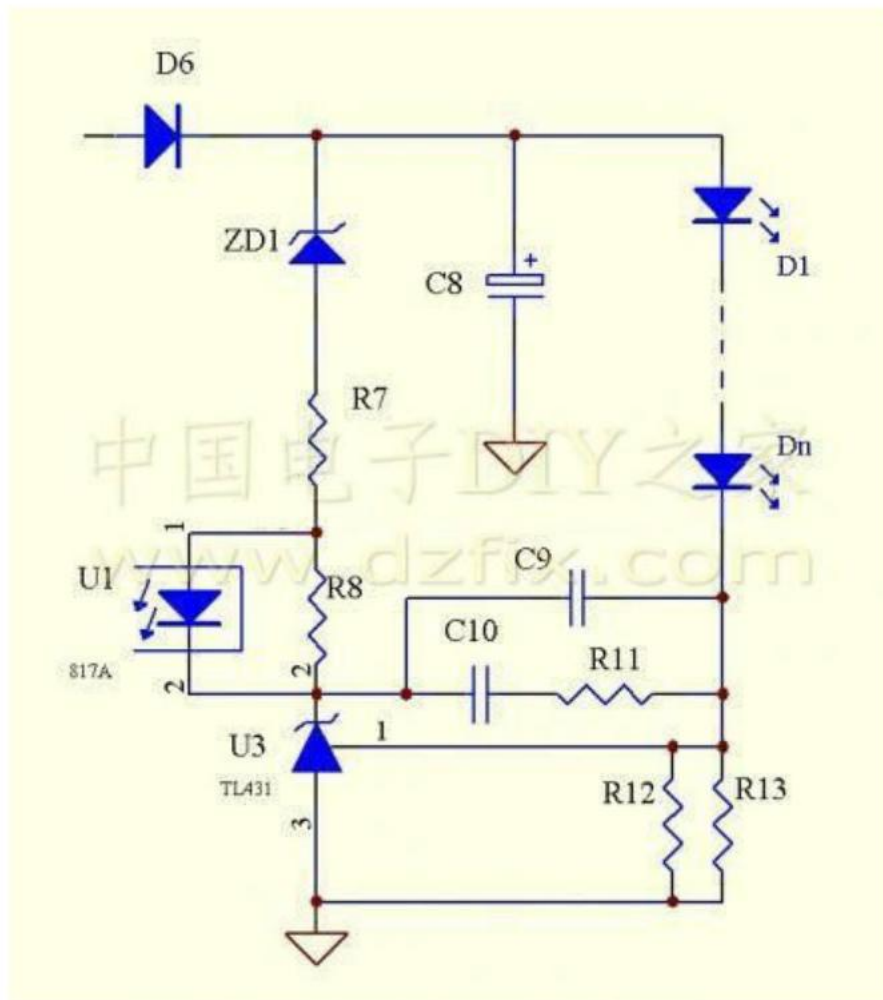


LED 电源次级利用 TL431 恒流方法总结

随着 LED 照明现在越来越热，作为 LED 的生命支柱—LED 驱动电源也越来越受到人们的关注。一直听到有很多人这么说：LED 电源是个特殊的电源，跟普通电源有很大的不同，所以做 LED 电源要找专业的 LED 电源工程师。这种说法给 LED 电源蒙上了一层神秘的面纱，但作为做电源的专业人士，我们都知道 LED 电源其实没什么特别，其特点就是需要恒流限压，况且长期工作在满载情况下，所以对效率的要求比较高；有些电源由于结构尺寸的限制，对高度有要求。下面我就试着就目前中小功率的 LED 照明电源，谈谈次级恒流的一些常见的方法来一个总结；不一定很全面，也不一定很深入，不过总算能对一些初入行的工程师有些帮助。

可以毫不夸张的说，LED 驱动电源将直接决定 LED 灯的可靠性与寿命；作为电源工程师，我们知道 LED 的特性需要恒流驱动，才能保证其亮度的均匀，长期可靠的发光。我们来谈谈比较流行的 TL431 的几种恒流方式。

1、单个 TL431 恒流电路



如上图，即是利用单个 TL431 恒流的示意图

原理：此电路非常简单，利用了 431 的 2.495V 的基准来做恒流，同样限制了 LED 上面的压降，但优点与缺点同样明显。

优点：电路简单，元器件少，成本低，因为 TL431 的基准电压精度高，R12, T13 只要采用高精度电阻，恒流精度比较高

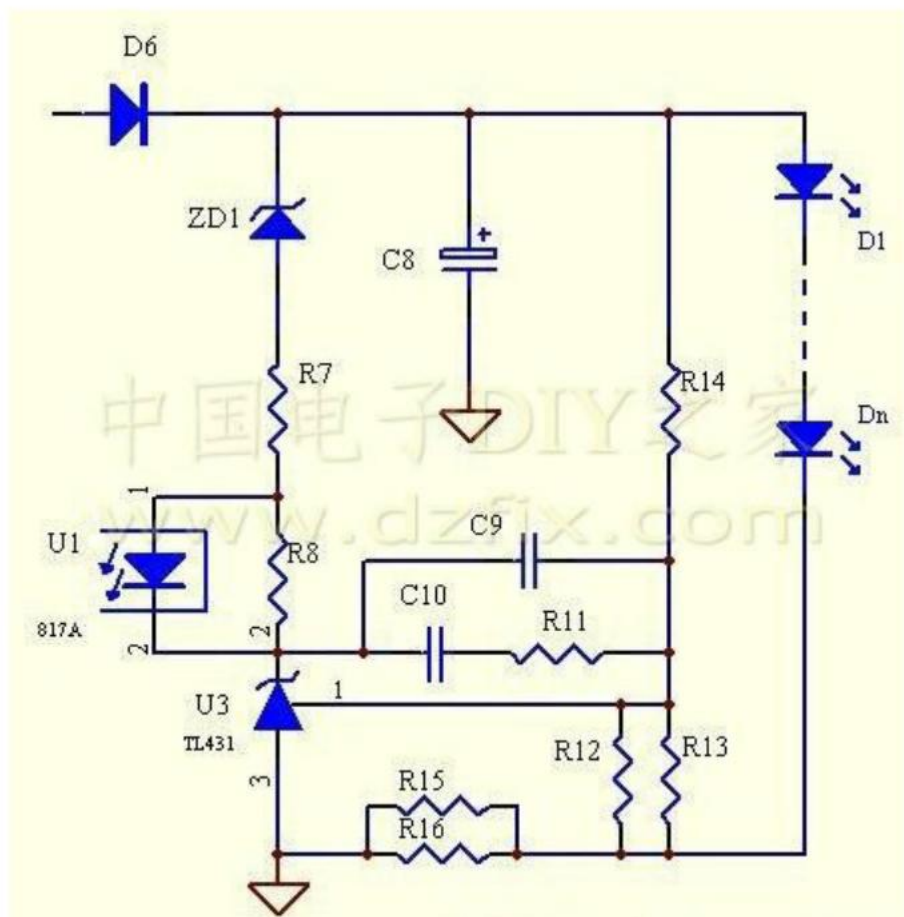
缺点：由于 TL431 是 2.5V 基准，故恒流取样电路的损耗极大，不适合做输出电流过大的电源

此电路的致命缺陷是不能空载，故不适合做外置式的 LED 电源。

这个电路的恒流点计算相信大家都知道： $I_D = 2.495 / (R_{12} // R_{13})$

取样电阻 R12, R13 的功率为 $P_R = 2.495 * 2.495 / R_{13}$ ，对于小功率电源来说，这个功率的损耗相当可观，所以不建议采用此电路做电流大于 200mA 的产品

2、单个 TL431 恒流改进型电路



如上图，即是利用单个 TL431 恒流的改进型示意图

原理：此电路同样是利用了 TL431 的 2.495V 的基准来做恒流，跟上面的电路不同点在于减少了电流取样电路的电压，只要合计设计 R12, R13, R14 的值，可以限制 LED 上面的压降

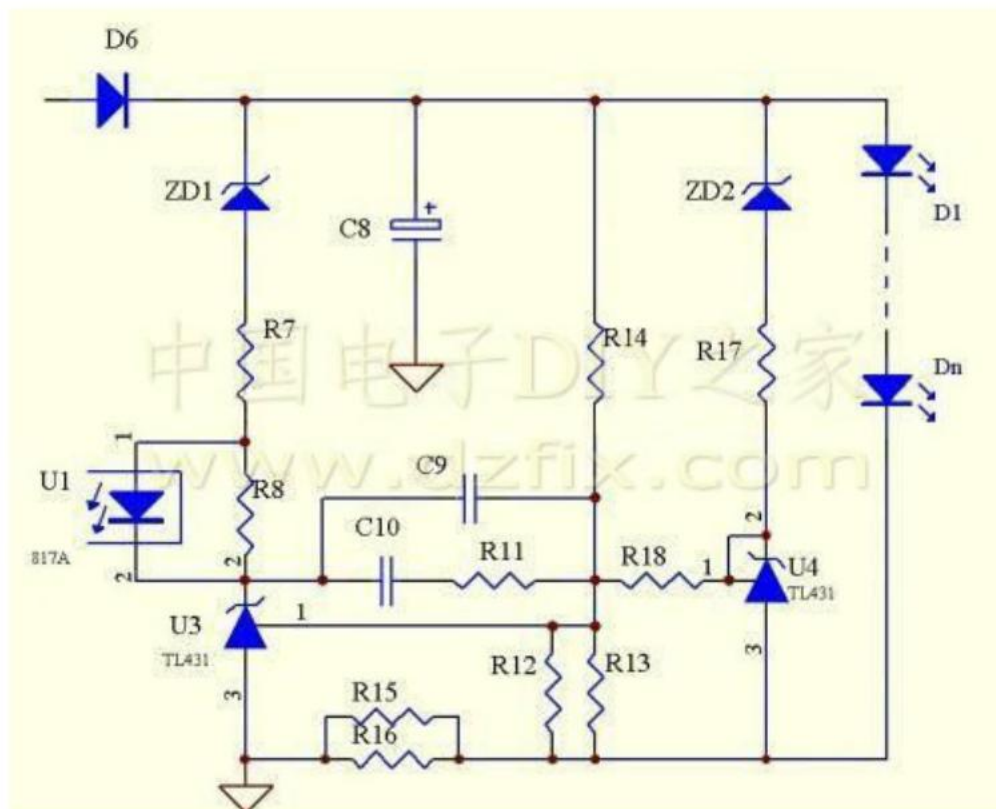
优点：电路简单，元器件少，成本低，跟上面电路相比，显著降低了取样电阻的功耗，恒流精度很高，克服了上面的电路不能空载的致命缺陷，当有个别 LED 击穿时，可以自动调整输出电压

缺点：当输出空载时，输出电压会有上升，上升幅度由电流取样电路电阻与 R12, R13 的比值决定。

其实这个电路的真正缺点是：当单个 LED 的压降一致性不高时，恒流点也会相应发生变化。

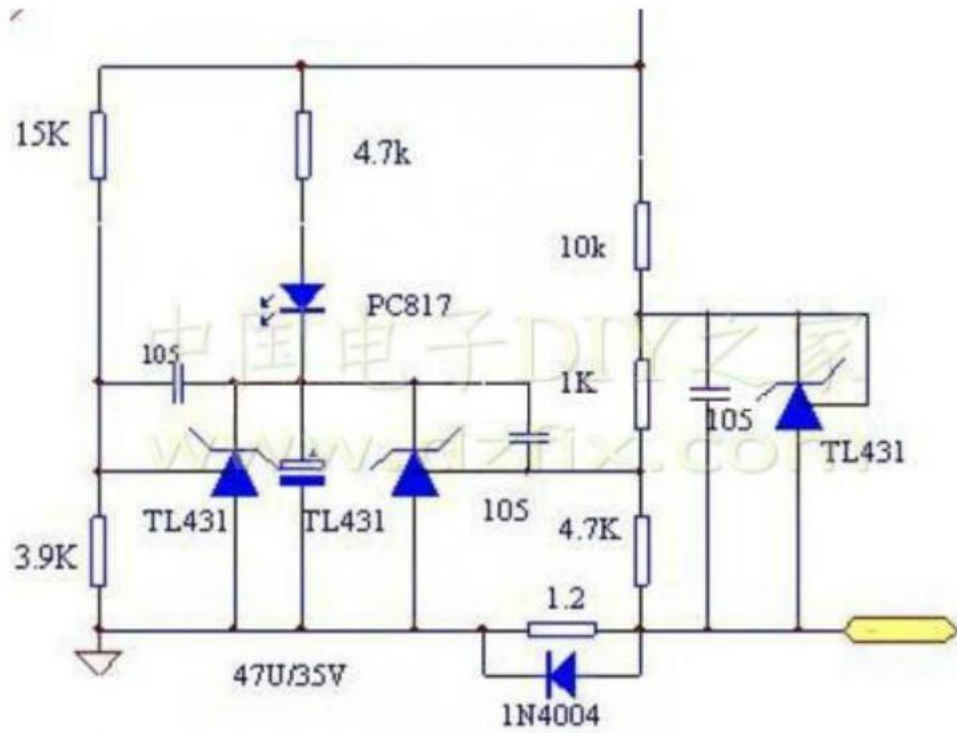
比如最常见的 12 串的 LED 灯，最低压降为 35.5V 左右，最高回到 37.4V 左右（个人的经验，当然不同厂家的情况会不一样），那么恒流精度就会相差到 5%-8%

3、两个 TL431 恒流电路



这个电路还有个最大特点是：在某个范围内可以精确的恒压恒流。

4、3 个 TL431 恒流电路

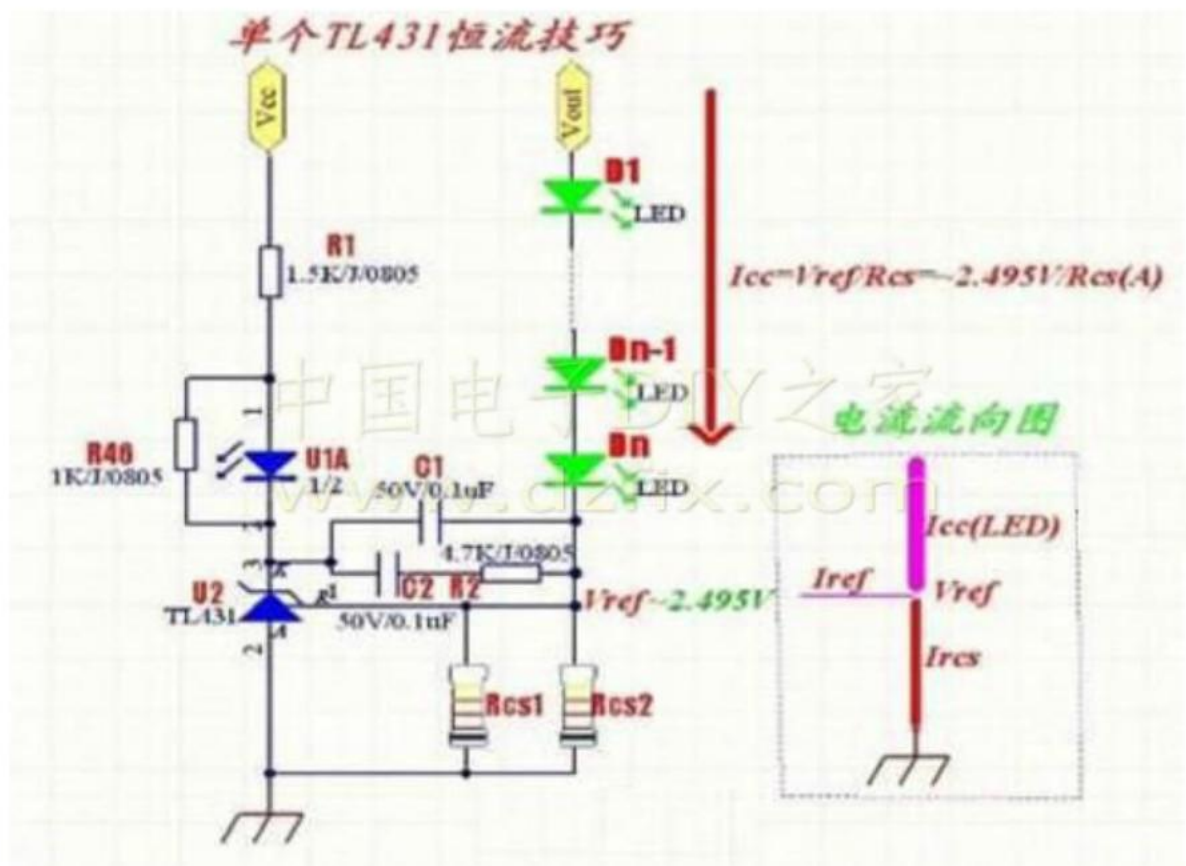


其实这个电路是在图 3 的电路基础上增加了一个恒压电路而已。

单个 TL431 恒流技巧

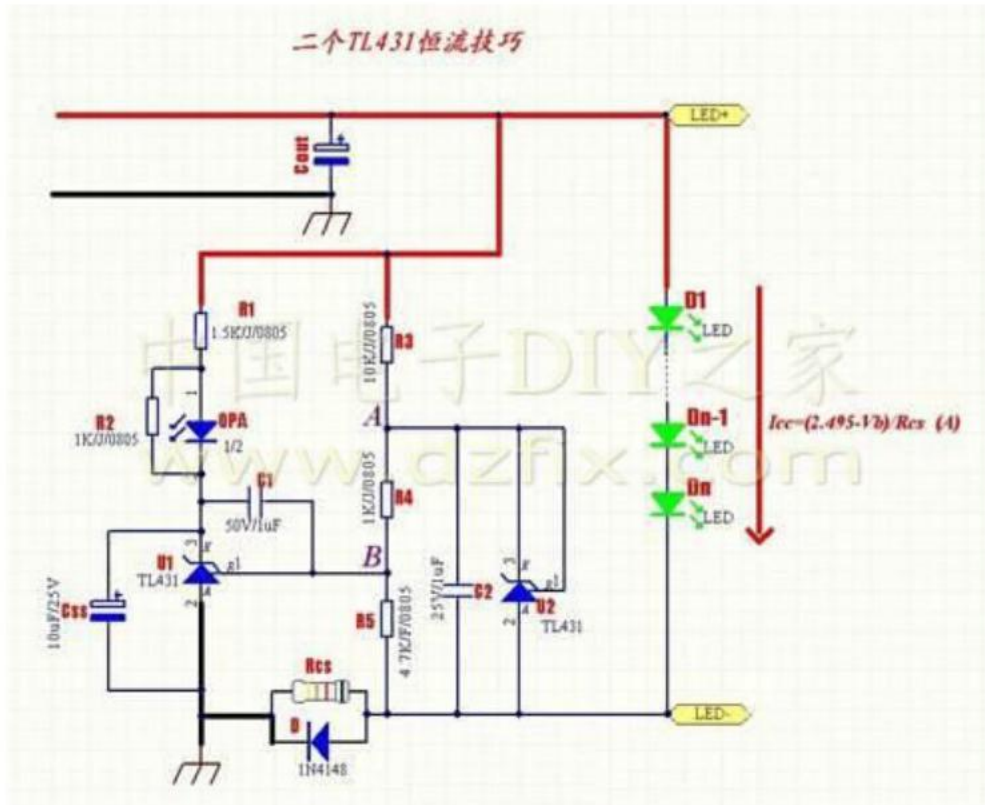
电路说明：由于 TL431 具有优良的基准电压特性，所以自然就想利用它作为基准电压，从而进行恒流，图中是最简单的 TL431 恒流方案，此方案仍有大量的小厂在使用，原因很简单，因为不用调试，而且只要 431 质量可靠的

话，就取决于你所选用的电阻了。



两个 TL431 的恒流/限流技巧

先上个基本的图：



先对此图各个电路元件作一分析：

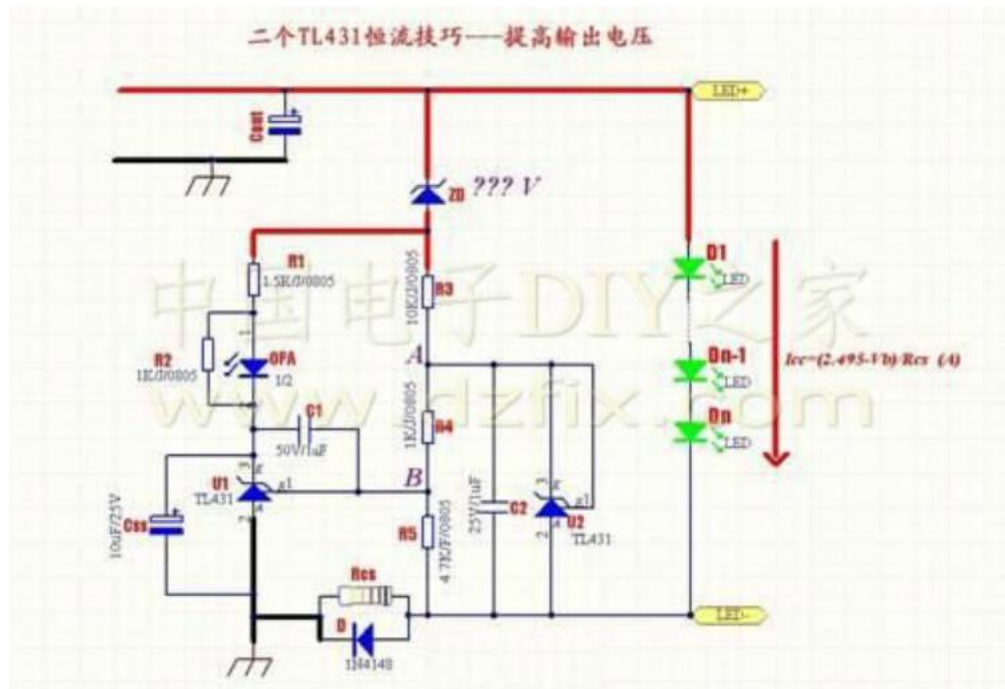
1. 电源整流经 Cout 滤波后，接在 LED 灯珠上。C_{ss} 为 U1 TL431 提供一个软启动电路，在此分析时可以不管。
2. 图中对环路补偿作了简化，只利用了一个 C1 来调环路增益，可以满足一般性的要求，如果要更进一步的要求，可以增加环路补偿的电路，可以参考常规的电路环路补偿设计，此处考虑到本帖的性质，不做过多评论。
3. 二极管 D 4148 用来提供过流或是短路保护，当电流突然过大时，二极管导通，强制电路电流不超过 V_f/R_{cs} (V_f 为 4148 的管压降)，从而反馈给原边，如果考虑成本，此二极管可以不要。
4. 电路中 U1 在电流小于额定电流，也即没达过流保护时，是不动作的，电路处于开环工作状态。A 点的电压通过 U2 的作用，钳位在 2.5V 左右。
5. U2 作用是提供给 U1 一个基准电压，这个电压由 R4 R5 的分压决定，按照此电路中的参数，分压电压大概为 $2.495 * R4 / (R4 + R5) = 2.057V$ ，也即 B 点的电压，然后恒流电流大小为 $(2.495V - 2.057V) / R_{cs}$ ，
6. R3 的作用提供 U2 的偏置工作电流，这个值选择不固定，只要保证 TL431 能工作就行。C2 也有类似于软启动及滤波之作用，C2 也可以选择不要。不影响电气性能。

所有的可以通过一句话来概括：B 点电压是与 U1 的内部 2.495V 比较的，当电流增大的时候，通过 R_{cs} 的自举升压，提高了 B 点的电位，从而使 U1 动作，反馈给原边，而这个临界电流就是我们用的恒流电流值！

此电路的特点：

1. 输出端无过压，开路保护，当输出电压过高的时候容易烧坏 TL431 及光耦，因此电路只能适合输出电压不超过 36V 的场合，(这是 431 的 V_{ak} 电压决定的，如果在光耦上面串稳压管可以提高输出电压范围)

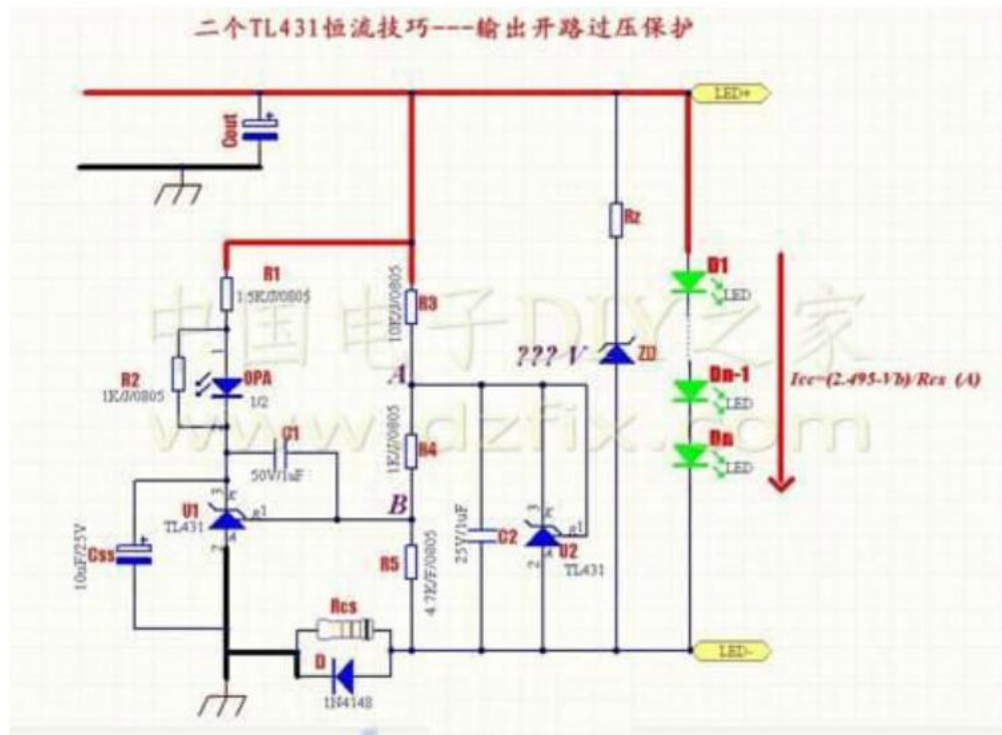
2. 电路的精度由 U2 与 RCS 保证，由于 TL431 的精度是比较高的。RCS 的选择基本上决定了精度。
3. D 4148 可以用其他二极管来代替，这个二极管还有一个比较有意思的作用，可以作为温度控制，利用二极管 V_f 的负温度系数，当温度过高的时候，能够自动限流，相当于此时 RCS 上的电压由二极管钳位了，不过一般要到这种程度，温度得相当高了。
4. R5 R4 可以自己调整，提高 R5 的话， R_{cs} 就会选得越小，这样功耗也可以小，但实际上电阻匹配也是件相当麻烦的事，所以必须折衷考虑！
5. 此电路中，损耗集中在 RCS 与 R5 上，绝大部分集中在 RCS 上，损耗由于电压基准相当小了(为零点几伏)，故最大损耗为 $R_{cs} \cdot I_{out} \cdot I_{out}$ ，正因为如此，此电路的电流大小不要超过 1A。



注：此图仍没有输出过压保护，但是加了稳压管后，可以大幅度提高输出电压范围，具体是多少V看你的电路而定！

不加稳压管时，当高于 36V 输出时，在启动瞬间，431 上还没有达到 2.5V 时，所有的电压都加在光耦与 431 的 A、K 极上，会导致 431 的损坏。

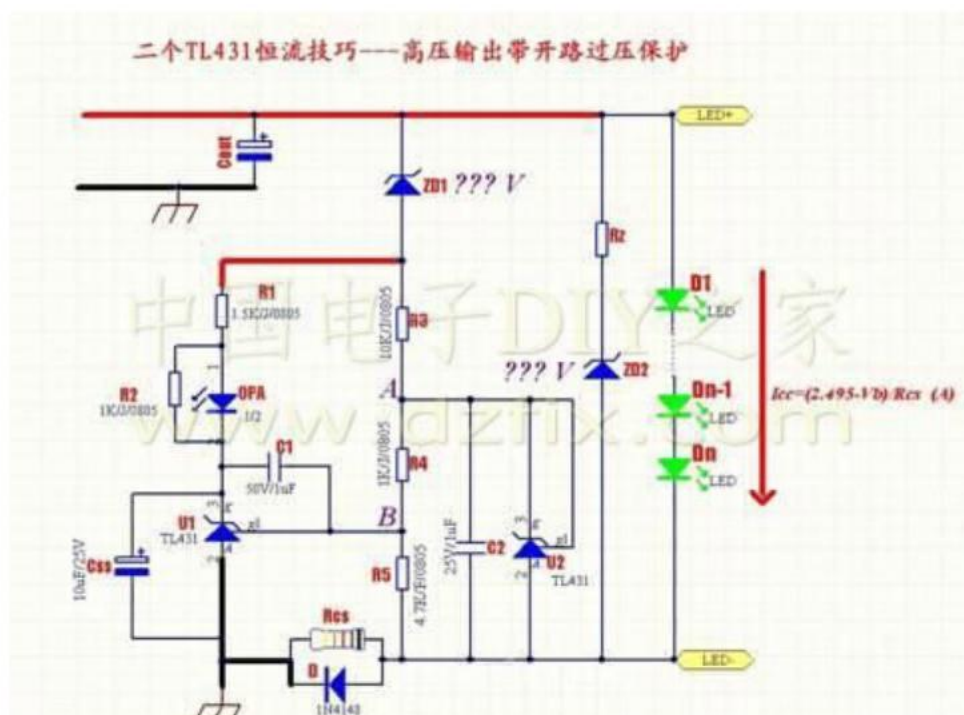
二个 TL431 恒流技巧——输出开路过压保护



注:这个就起到了过压与空载保护用,但仍是为开环状态,这里这个 ZENER 不防直接取 36V 左右,还可以保护下 TL431!!!

ZD 应该选择 1W 以上功率等级的稳压管!

二个 TL431 恒流技巧——高压输出且带开路过压保护

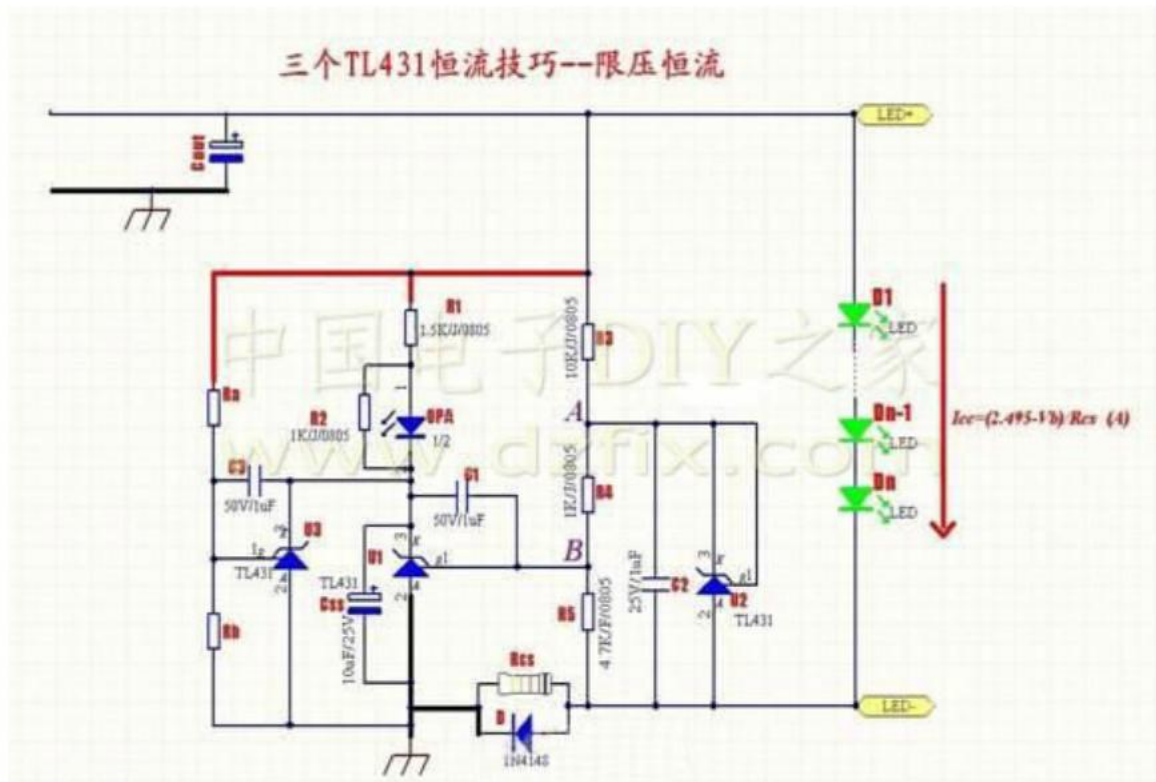


注：结合了上面二个电路，ZD2 的稳压电压高于 ZD1+TL431 的安全电压即可！

严格来说，这个电路只是作为 LED 开路的保护，对于过压的确容易烧坏 ZD2，因此 ZD2 应该选择 1W 以上的稳压管。

三个 TL431 恒流技巧——限压恒流

有了前两篇的电路分析，此图一看就明白了许多，故不做过多评论：



1. 这里加入了电压环，RA RB 起到了稳压/限压的作用，计算方法与常规的 TL431 的设计一模一样，不过得保证此电路的输出不要高于 TL431 的 AK 间的电压极限。

2. U4 作为限压调节作用，U1 作为恒流控制，U2 为 U1 提供基准电压参考。U2 与 U1 的配合使用请参考第二篇。

3. 仔细推敲下，3 个 TL431 的成本也值得考虑下，实际上此电路只受电阻精度影响，故还是比较理想的。

至此，完成了基于 TL431 的 LED 驱动电源恒流设计分析，不懂或是有更好的方法(仅指基于 TL31)请指正!!!