《电路之美》系列

NE555 制作呼吸灯

文/杜洋

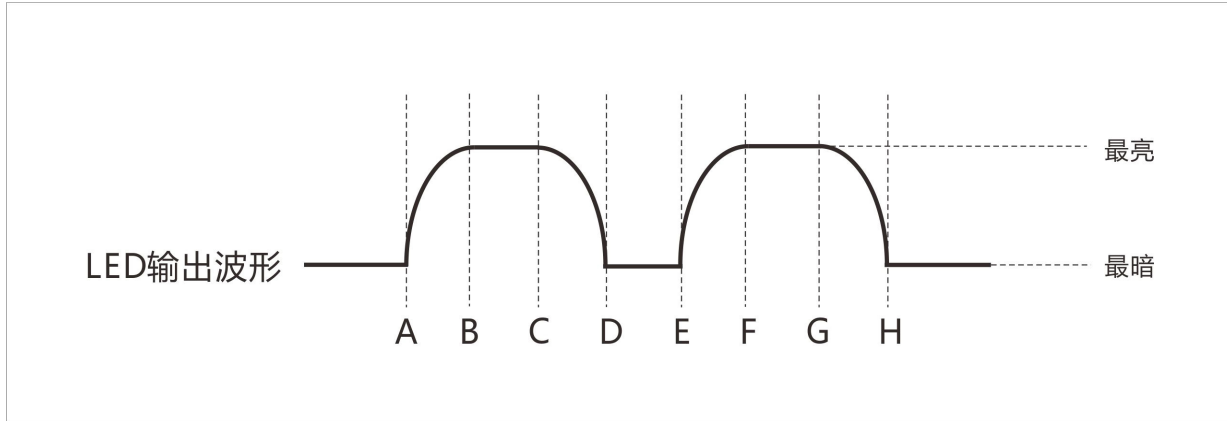
【美的尝试】

曾经有爱好者来信，大意是问我能不能写一些小电路制作的文章，要求简单有趣，容易制作，又能发现电路的美妙。“电路的美妙”这一观点让我深受启发。还记得在看美术作品的时候，懂行的人会说作品的来历和独特之处。更重要的是引导观者去发现作品的艺术美感。如若细心听，确实可以在行家的引导下发现绘画中的深层美感，那种感受是用语言无法形容的。前不久我买了本书，是介绍中国古代线装书的，名叫《古书之美》，书中不是用语言形容古书有多美的。正如我所说，那很难用语言表达。而是用访谈的形式介绍古书收藏家的故事。从侧面让我了解到古书的收藏市场和那些爱古书的人。也看到了古书的用纸、用墨、印刷的讲究，不同书籍的流传历史。书中为数不多的照片却都拍出了一种独特的味道。另我也能远远地感受到古书之美的百分之一了吧。就算一点点，也让我体会到曼妙。

生活在现代社会的我们，被无数快速消费品包围着，对美的理解和感受变得粗糙麻木了。人们越来越为满足物质需求而活，越来越不去探索美的世界。我在想：我们电子爱好者玩的电子电路有没有美的地方呢，能不能用一些方法引导爱好者们去发现电子电路的设计之美呢？于是我今天做一个尝试，换一个角度去看电路原理，不是从它“这样工作”的角度，而是从它“这样很美”的角度去介绍电路，希望大家感受到电子电路的美感。不过尝试有成有败，若是败了，就是我的能力有限、力不从心了。全当抛砖引玉，让更多的朋友一起研究研究吧。

【呼吸效果的电路】

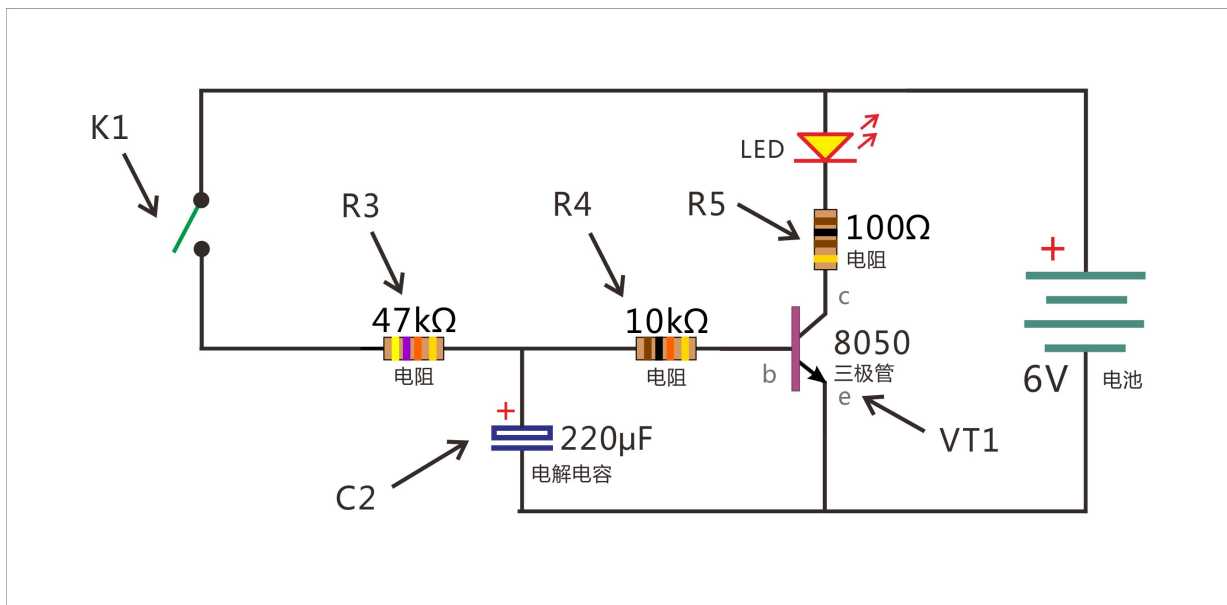
做过会呼吸的 LED 灯吗？若你是单片机爱好者，那一定听说过用单片机 IO 接口的脉宽调制（PWM）出来的 LED 呼吸灯吧。不过单片机电路中谈不上电路之美，因为只需要把 LED 连接到单片机上面，其他工作都有单片机程序完成。今天我们尝试用数模电路来制作 LED 呼吸灯。最终要达到的效果与单片机实现的效果一样，上电后 LED 灯渐渐变亮，当达到最亮时保持几秒钟，然后渐渐变暗直到熄灭。熄灭几秒钟后又渐渐由暗变亮，这样一直循环下去。如果循环亮灭的速度刚好和人的呼吸同步，那就是传说中的呼吸灯效果了。要怎么用数模电路做到呢？



【波形图 1】LED 输出波形

先来看看【波形图 1】。如果我们把刚才用语言描述的呼吸效果用波形表示，你就会看到几个倒扣着的碗。好，我们再来描述一遍：上电后 LED 灯渐渐变亮（A 点到 B 点），当达到最亮时保持几秒钟（B 点到 C 点），然后渐渐变暗直到熄灭（C 点到 D 点）。熄灭几秒钟后（D 点到 E 点）又渐渐由暗变亮（E 点到 F 点），这样一直循环下去（F 点到后面的更多点）。如果是用数模电路，让 LED 亮度变化的方法是控制流过 LED 的电流，也是控制 LED 两端的电压。从 0V 慢慢升到 6V（如果用 6V 电源的话），再从 6V 慢慢降到 0V。想想什么样的电路能达到电压逐渐变化呢？

没错，是电容（抱歉，我抢答了）。电容拥有充电、放电的特性，每当它开始充电或放电时，都会让电压逐渐变化。电容常被用于稳压电路，就是因为电压在电容上不能突变，只能慢慢变化，实现了稳定电压。而现在我们利用这一特性，让 LED 慢慢变化亮度。于是我们设计了【分析电路图 1】的电路。电路中使用三极管 VT1 驱动 LED，R5 是一个阻流电阻，用来决定 LED 的最高亮度。之所以用三极管，是为了用小电流控制 LED。三极管的好处就是在基极（b）上加一个很小的电流就可以控制集电极（c）和发射极（e）上的大电流。只要在基极（b）上加一个小电容就行了，否则要给 LED 串联一个电容值非常大的电容才行。三极管就像汽车的油门，轻轻踩一下释放出强大的动力。若没有油门，真不知换用多少头牛才能拉着汽车飞奔在公路上。



【分析电路图 1】电容慢慢充放电控制 LED 亮度的电路

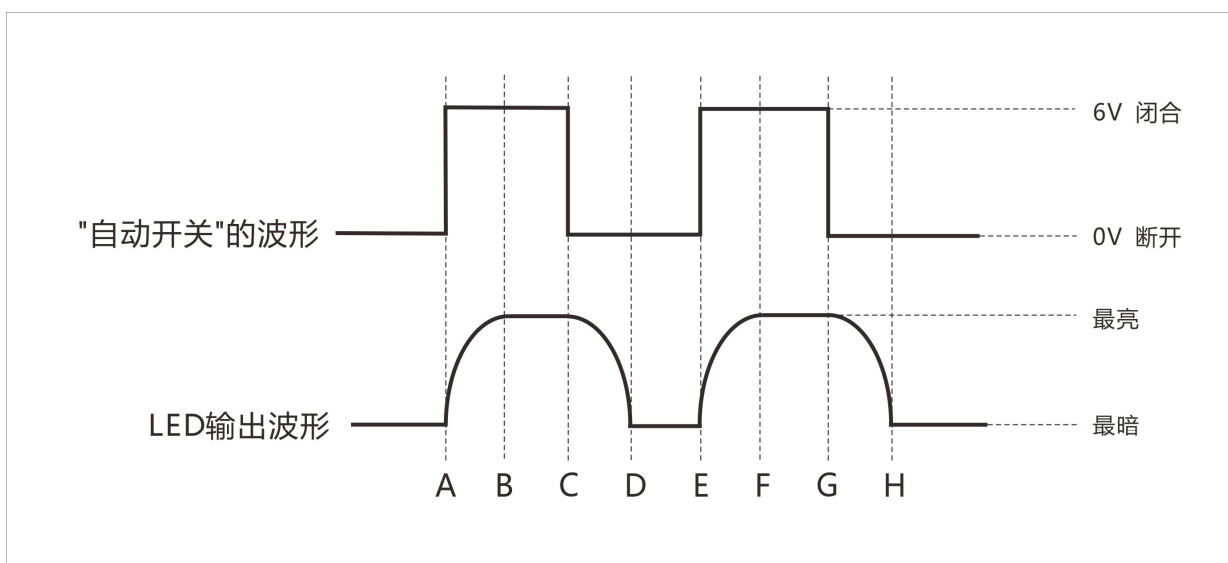
在三极管的基极上串联了两个电阻 R3 和 R4，在两个电阻中间接了一个电容 C2，这便是用于“慢慢变化”的神器了。在电阻 R3 的另一端连接着开关 K1，开关的另一端连接到电源正极，那里有从电池中来的取之不尽的强大电流。一旦开关闭合，电流顺势而下流向电容 C2 和三极管 VT1 那里，是电路工作的开始。为什么要加两个电阻呢？一个电阻还不

够限流吗？其实问题不在限流，注意看电阻的位置，电阻 R3 和 R4 分别在电容 C2 的两边，电阻 R3 是限制电容 C2 充电的电阻。从开关 K1 过来的电流经 R3 后变成涓涓细流了，让电容慢慢充电。电阻 R4 则横在电容与三极管之间，它是限制电容放电的电阻。有了 R3 和 R4，电容充放电的过程变慢了，选择不同的电阻值会有不同的充放电时间。现在，当开关 K1 闭合，电流源源不断地流入电容，电容充电。电容电压从 0V 慢慢升到 6V，此时与电容连接在同一条线上的三极管基极电压也和电容电压一同升高。现象是 LED 从灭到最亮，这一过程用了几秒钟。接下来断开开关 K1，电容 C2 失去了电流的来源，三极管 VT1 基极又在不断地吸食电流。于是电容电量不断减少，电压也从 6V 下降到 0V（其实不一定到 0V，当下降到低于三极管基极最低导通电压时就停止放电了）。现象是 LED 从最亮到熄灭，这一过程也用了几秒钟（对时间的控制是电阻 R3 和 R4 的功劳）。

好了，现在我们实现了呼吸灯的效果。闭合开关渐亮，断开开关渐暗。我们需要做的是在适当的时候闭合或断开开关 K1。不断地开和关是你配合的工作。如果你忙，那就请来亲戚朋友帮忙吧。相信在开始的几分钟里，他们会很有耐心。哈哈，大家有没有感觉上了我的当。启初我只说要做呼吸灯，并没有说是手动还是自动，反正呼吸的效果是出来了。若是你真的不希望把生命浪费在“呼吸之间”，那就继续探索吧，设计一个自动开关的电路出来。

【自动开关的电路】

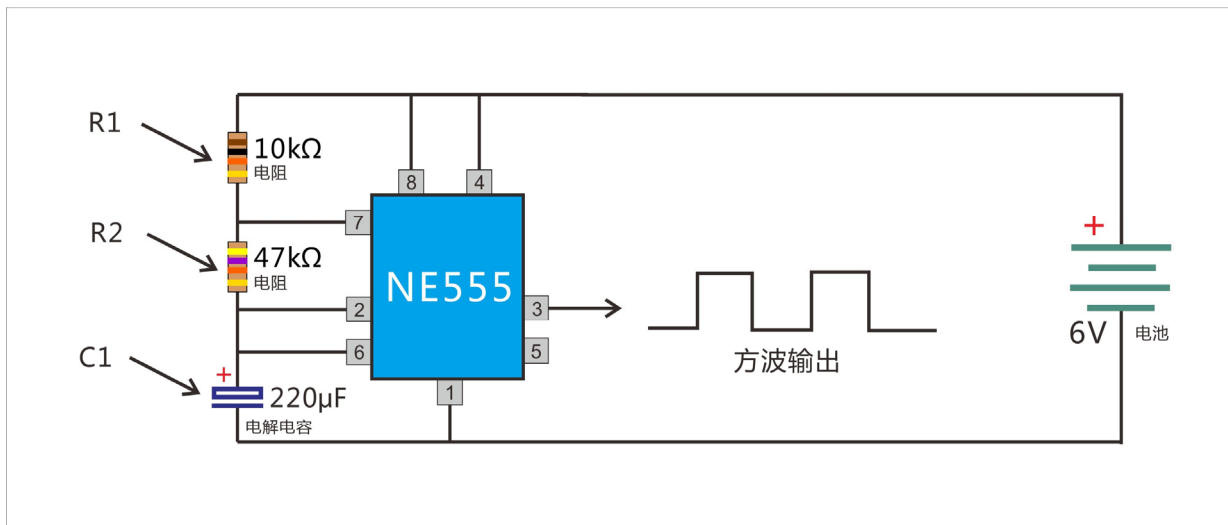
下面的工作是赋予 LED 灯以生命，让它自主呼吸进来。要怎么做呢？首先还是要看一下波形图。要知道在设计电路之前，用一些波形图、示意图把你的设计目标表达出来是很有效的方法。从图纸分析上，可以发现我们所需要的电路是什么。正如下面要研究的【波形图 2】。看，我把未来的“自动开关”所要有的工作状态与 LED 输出波形联系在一起了。这样对应起来看可知：在 A 点时 LED 需要渐亮，这时闭合开关，波形上是由低到高的过程。注意，图中把开关闭合时用 6V 表示，意思是闭合时电容正极和三极管基极（b）部分的电压达到 6V，断开时的电压为 0V。为什么要这样表示？后面就会明白了。好，下面来到 B 点，这时 LED 的亮度达到最大并持续几秒钟。这段时间开关依然是闭合的，没错。接着是 C 点，LED 由亮渐暗，这个时间正是开关断开的时刻。到达 D 点，LED 熄灭几秒钟，开关依然断开。到 E 点了，LED 又一次渐亮，又需要闭合开关了。然后你猜怎么样？我们得到了一个“方波”，即波形是直棱直角的方形。波形的任务完成了，接下来思考：什么东西能产生方波。



【波形图 2】“自动开关”的波形分析

产生方波的电路有很多，只要在百度或 GOOGLE 上搜索“方波电路”。你能得到全人类关于方波电路的智慧成果。我搜索了一下，其中一条号称“世界上最简单的方波电路”。点击一看，原来是用 2 个非门电路（反向器）及一些电容电阻就能产生方波。这确实是一个好的电路设计，但是非门电路多是较大的芯片。为了使用体积小、电路简单的设计，我找到了 NE555 芯片。NE555 大家都听说过吧，它好像是一款万能的芯片，不论是正弦波、三角波、梯形波，它都可以轻松产生。那么我们就用 NE555 来制作“自动开关”的部分吧。大家也可以尝试用别的芯片或电路，只要能输出方波都可以。

请看【分析电路图 2】，图中的电路非常简单，这是 NE555 最经典的外围电路了，建议你记住。电路由 NE555 芯片、2 个电阻和 1 个电容组成。其中电容 C1 是充放电的，用来产生开关时间长度。R1 和 R2 是给电容 C1 充放电的。当电路工作时，C1 会通过 R1 和 R2 来充电。看看这两个电阻的数值是不是很熟悉，它们的数值和前文介绍的 R3 和 R4 相同。俗话说：幸福的电路总有很多相似之处。正在我们思考的时候，电容 C1 的电压不断上升，当电压达到一个较高的值时（一般是电源电压的 $\frac{2}{3}$ ），与之连接的 NE555 的 6 脚也达到了相同的电压。这时 NE555 芯片内部开始动作，将第 3 脚输出低电平（也就是 0V），同时第 7 脚也呈低电平（0V）。因为第 7 脚变低电平了，从电源正极过来的电流，经过 R1 直接流入第 7 脚。因为电流总是从高电平的一端流到最近、阻力最小的低电平一端。电流都流入第 7 脚了，也就没有电流经过 R2 给 C2 充电了。反而只有 C2 通过 R2 向第 7 脚放电。当 C2 上的电压小于某个值时（一般是电源电压的 $\frac{1}{3}$ ），与之连接的第 2 脚电压也低于此值。这时 NE555 芯片开始动作，使第 3 脚输出高电平，同时让第 7 脚不再是低电平。现在电路又回到了刚开始工作时的状态，C2 重新充电。如此循环下去，C2 的电压始终在 $\frac{1}{3}$ 和 $\frac{2}{3}$ 电源电压之间徘徊，却造成 NE555 芯片的第 3 脚输出了稳定地方波。调节 R2 或 C2 的值可以调节方波的周期时间。好了，现在我们有“自动开关”了，亲。

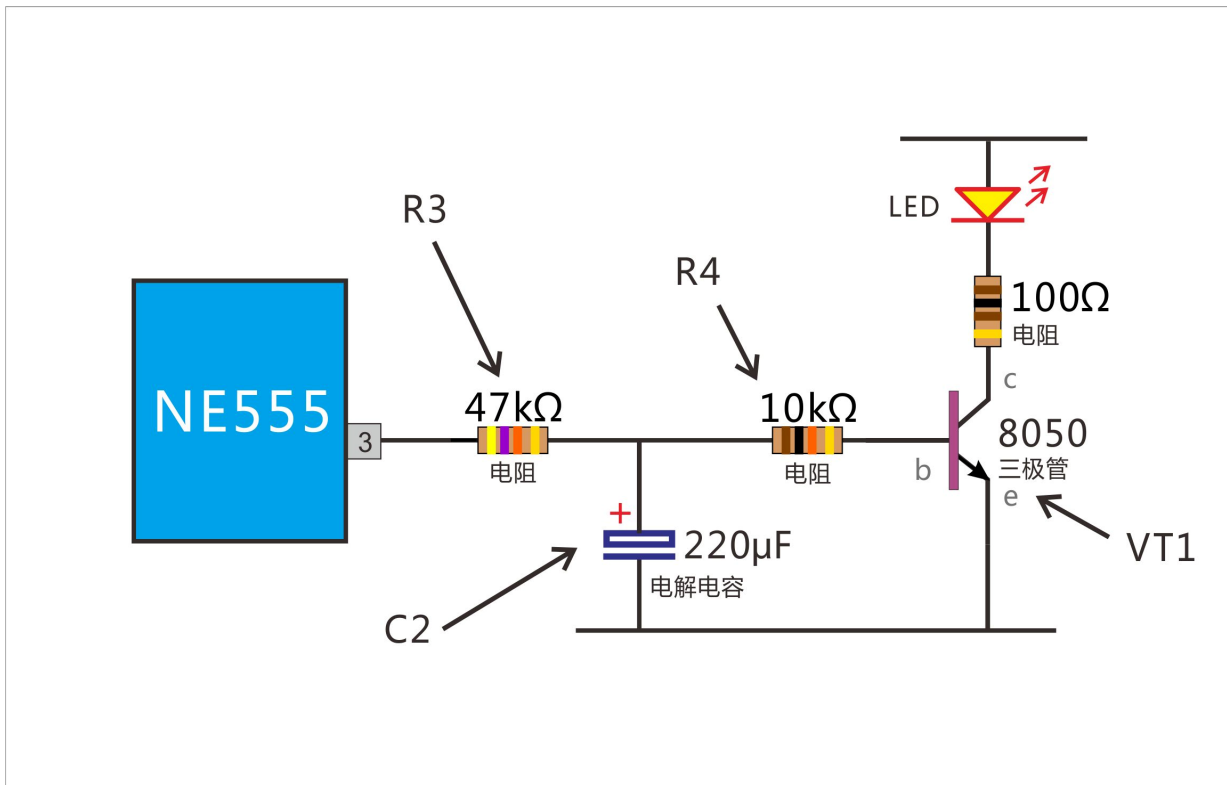


【分析电路图 2】NE555 输出方波的电路原理

【自动开关与呼吸效果的组合】

同志们！我们有了呼吸灯电路，也有了自动开关电路，接下来的工作是把它们有效的组合起来。其实我们所制作的绝大部分电路都是由一些功能电路单元组合而成的，每个功能电路单元又是由元器件个体组成的。就好像细胞组成器官，器官再组合人体一样。作为一名有设计能力的电子爱好者，调试功能电路只能得 50 分，把多个功能电路组合成可用的整体设计才能得 100 分。不过今天你走运了，上文讲到的 2 种电路组合起来并不难。NE555 所产生的输出只有第 3 脚，而呼吸部分的输入是电容 C2 与三极管 VT1 基极连接的那条线。

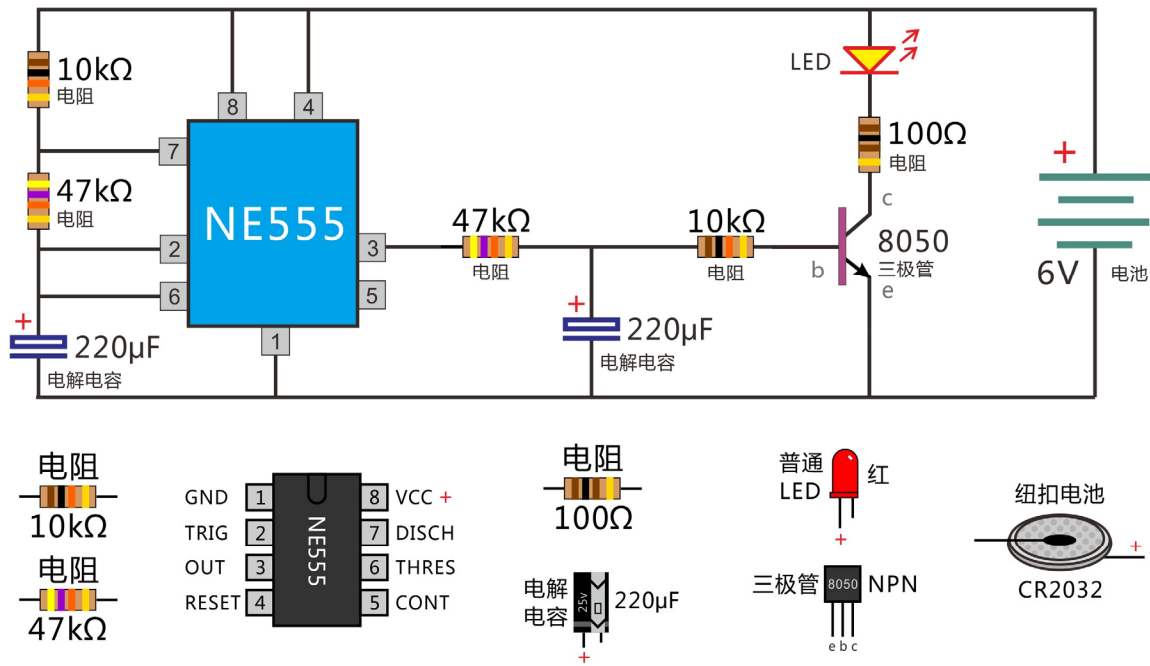
我们来分析一下，NE555 输出的是什么？呼吸部分电路输入的又是什么？NE555 输出的是方波，低电平的电压是 0V，高电平的电压是 6V（电源电压）。了解 NE555 芯片的朋友都知道，它的第 3 脚在高电平时是可以输出大电流的，这一点很重要，因为呼吸部分的输入端需要大一点的电流进来。如果输入的电流太小，就不能及时给电容 C2 充电。另外，呼吸部分所需要输入的开关电压也分别是 0V（渐暗时）和 6V（渐亮时）。如此看来，NE555 的输出与呼吸部分的输入是完全兼容的。如果它们的电压、输出电流不一样就不能直接连接，需要加入转换电路或重新选择电路方案。请看【分析电路图 3】，只要把 NE555 的第 3 脚直接连到 R3 的一端就行了，同时把电路中的电源也连在一起，共用一个电源。这里需要注意，2 种电路之间如若组合，它们能使用不同的电源，但它们的地线（GND）必须连接在一起，保证有共同的基准电压，不然电路无法工作。



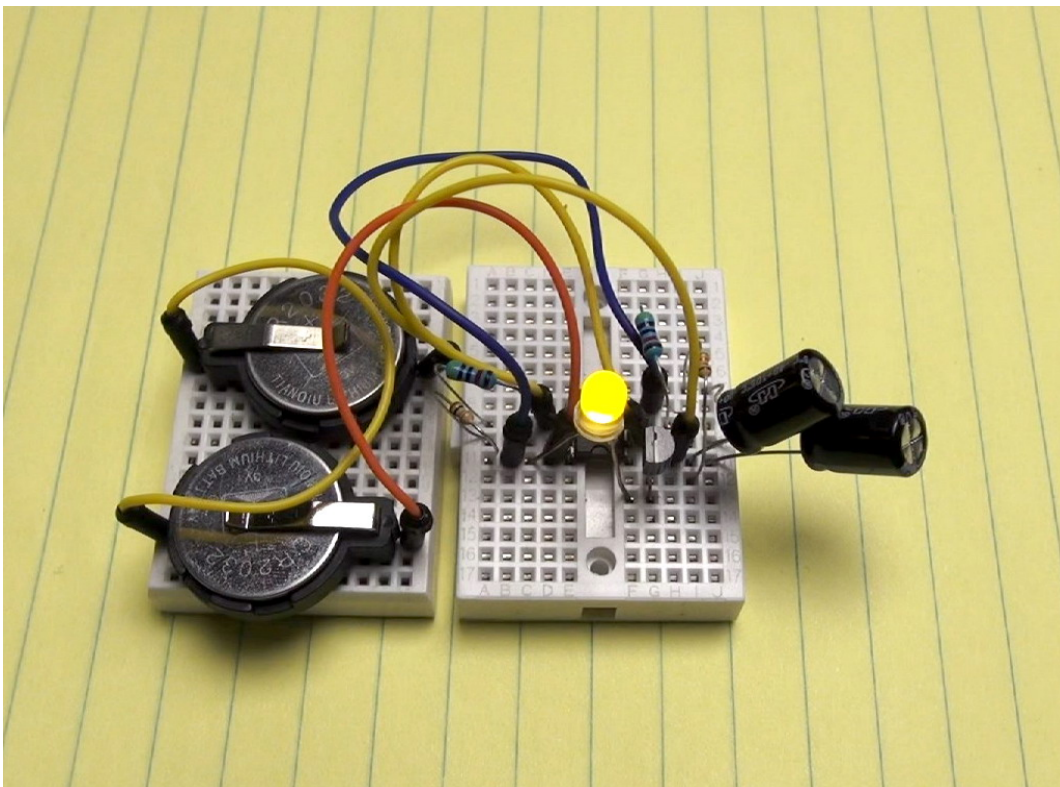
【分析电路图 3】两种电路的组合

【正式电路图 1】是组合后的完整电路图，并用了 6V 电池电源。为了电路图画起来美观，我把 NE555 的引脚位置打乱了，在实际制作时可参考电路原理图下边的元器件实物对照。在电路中变换电阻 R2 的值可变化自动开关的延时时间，变换 R3 可改变渐亮时间（充电时间），变换 R4 可改变渐暗时间（放电时间）。变换 R5 可改变 LED 灯的亮度。请看【实物照片 1】，这是我参照【正式电路图 1】在小面包板上插出来的呼吸灯电路。我使用了黄色 LED，我喜欢黄色，暖暖的。制作好的电路体积小，两片电池放在另一块面包板上。我把它放在桌面上，看着它呼吸，好像一个沉睡的孩子。纽扣电池应该可以维持它 3、4 天的生命，如果换用 4 节碱性电池能维持更长的时间。呼吸灯的电路做好了，自动的。下面我们来发散下思维，看看在现有的电路基础上能扩展出什么新鲜玩意。

NE555呼吸灯电路原理图（图1）



【正式电路图 1】原版电路，LED 呼吸效果

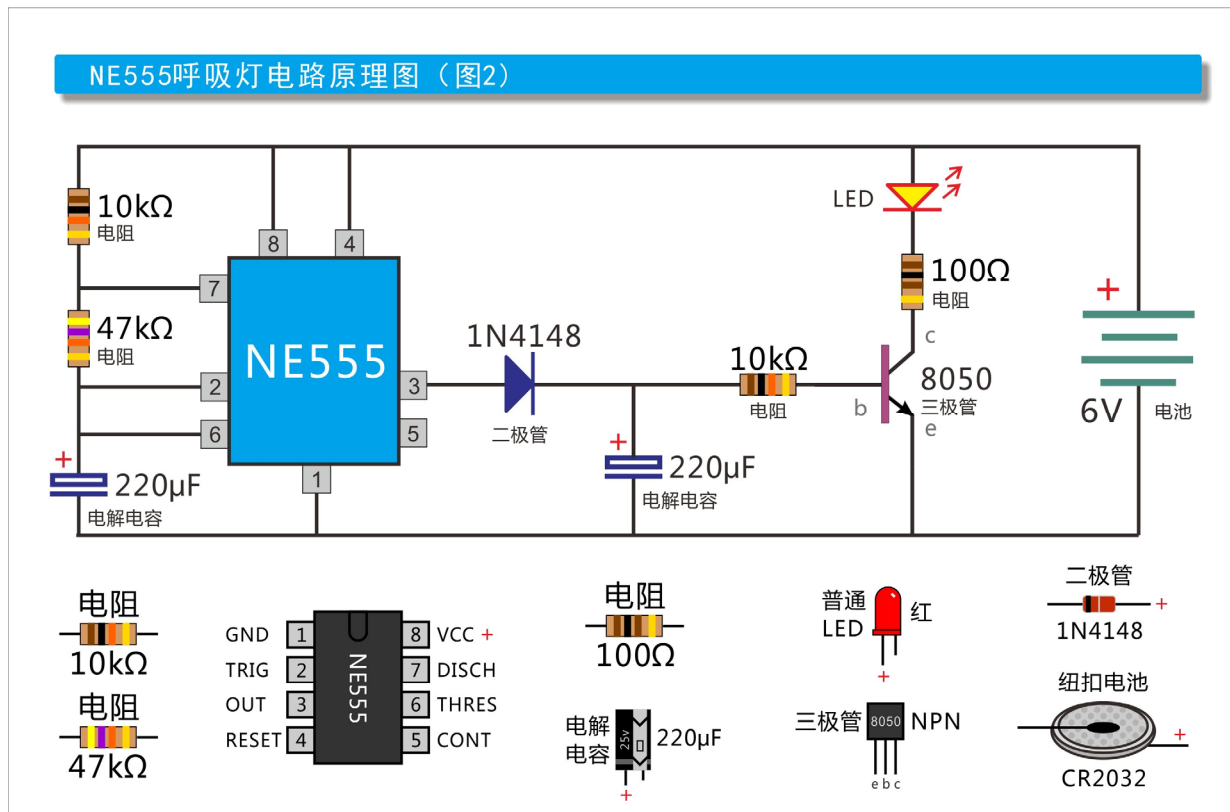


【实物照片 1】面包板上组建的呼吸灯电路

【发现更多可能】

呼吸灯做完了，就不想加点新功能吗？比如让它渐暗但突亮，比如让它白天不亮晚上亮。每一个电路都有它扩展的空间，只要你用心去想着改进。这里仅给大家讲一下我想到了两个改进的例子吧。首先是渐暗突亮，与之前不能的是“突亮”，突然点亮，中间省去不断变亮的过程。这种呼吸效果多出现在闪烁的指示灯上，突亮之后渐暗会有一种特殊的视觉感受。那要怎么做到呢？先想想，突亮和什么有关系。嗯，应该是和控制渐亮的部分有关。那就是上文提到过的电阻 R3，那是控制充电速度的，如果把 R3 去掉是不是就能瞬间充电，达到突亮效果呢。于是我在做好的呼吸灯电路上把 R3 拨下来，用导线代替。可是结果并不是想象的样子，LED 不仅突亮了，也突灭了。呼吸灯变成了闪烁灯，失败！问题出在什么地方？分析一下电路可知，NE555 的第 3 脚不仅在高电平时有大电流输出，而在变低电平时也有很强的电流吸收能力，相当于接地。也就是说当去掉 R3 的电路中，第 3 脚变成高电平时，电容 C2 快速充电。当第 3 脚变成低电平时，电容 C2 存的电又反被第 3 脚快速放掉了，结果就是突亮突灭。

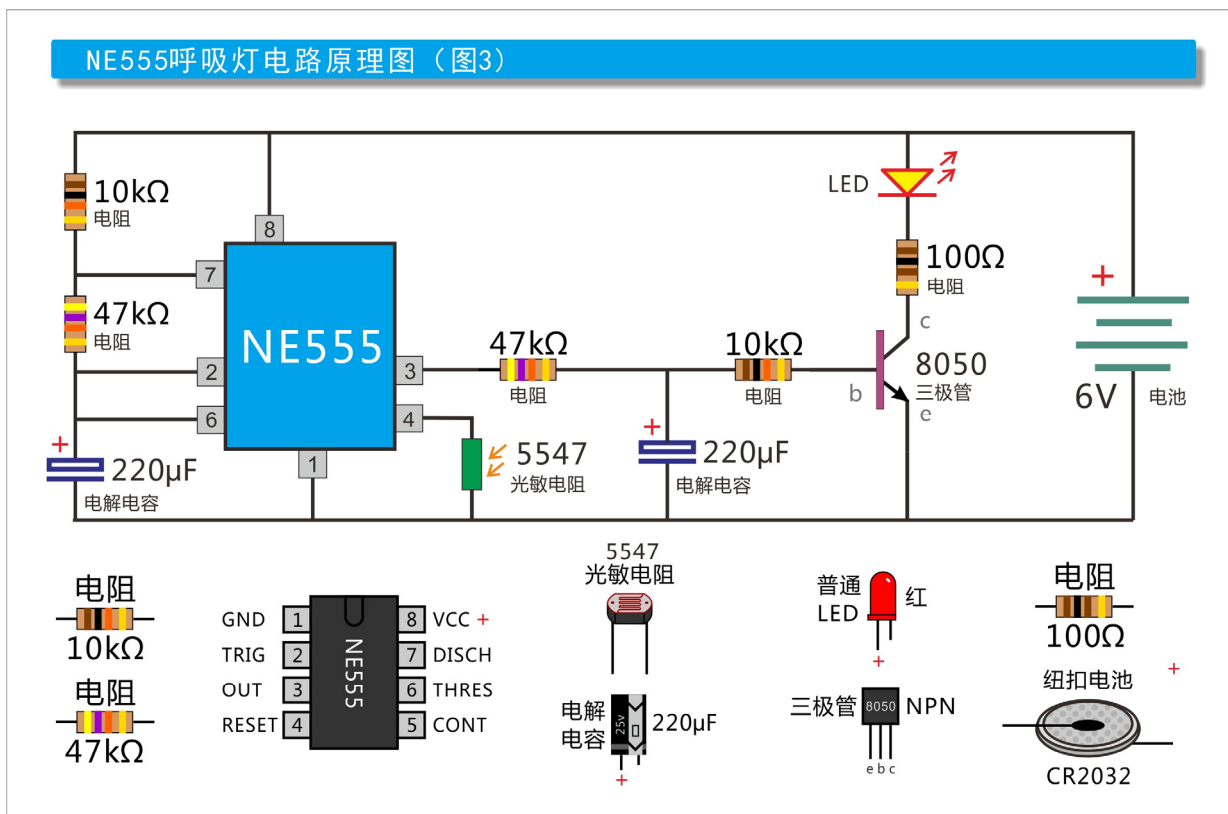
解决之道是在第 3 脚为高电平时，直接连接到电容 C2 上。当第 3 脚为低电平时断开第 3 脚与电容 C2 的连接。最简单的方法是加个开关，还是手动断开或闭合，再找来你的亲朋好友帮忙吧，哈哈。若还想让它自动开关，就要想想有什么电路或元器件可以在输出电流时当然于导线，而又在吸入电流时相当于断开。想一想，可以输出但不输入。电流只向一边流动的是什么？没错，是二极管。只要把电阻 R3 换成二极管，当第 3 脚为高电平时，电流很轻松地通过二极管为电容 C2 充电。当第 3 脚是低电平时，电容 C2 的电流想被第 3 脚吸收，可被二极管阻挡。如此一来即实现了突亮渐灭。为此我另画了一张电路图，请看【正式电路图 2】。



【正式电路图 2】加入二极管，突亮渐来效果

接下来举扩展一下可在夜晚呼吸、白天熄灭的功能。想一想，怎么让呼吸只在晚上进行，也就是说怎么让呼吸灯知道“什么时候是晚上”。最容易想到的方法是给呼吸灯戴块手表，让它知道时间。可要知道时钟电路是很复杂的，而且专为一个制作加入高成本的时钟电路不值得。有没有更便宜的办法？想一想，白天和晚上有什么区别呢？白天有阳光，晚上没有。如果我们能让呼吸灯检测环境中是否有光，是不是就能解决问题了。可以检测光线的自然就是光敏电阻或光敏二极管。我们手边正好就有光敏电阻，无时光敏电阻的阻值很大，有光时则变小。光敏电阻把光的强度变成了电阻值的大小，可是怎么制作检测电阻值变化的电路，又要把这个电路放在哪里呢。

为光敏电路设计一个功能电路是有必要的，这又是一次体现了电路组合的必要性。不过我有了更好的办法，即是利用 NE555 自有特性，那便是 NE555 的第 4 脚：复位（RESET）。第 4 脚一旦被置于低电平，就会停止芯片的工作，同时第 3 脚一直处于低电平。后面的呼吸电路部分也停止了工作，达到我们想要的效果。利用这一特性，我只在第 4 脚和电源负极（GND）之间加一个光敏电阻，问题就解决了。请看【正式电路图 3】中光敏电阻加入的位置。有光的时候第 4 脚被光敏电阻拉到低电平，整个电路不工作，LED 熄灭。光线暗时，第 4 脚回到高电平，灯开始呼吸。原来想一想就头痛的问题，这么轻易解决了。造物真是弄人呀！



【正式电路图 3】加入光敏电阻，白天停止呼吸

哈哈，是不是很巧妙，是不是很神奇，是不是很有趣，是不是很美？如果你能体会到这种不能用语言形容的美感，那你必是天生的电子爱好者，电路之美正在与你共鸣。电路之美不仅是科学，更有技巧。不只是制作美观，还有设计的妙想。是谁最先享受到电路设计之美，又是何时电路之美出现的呢？我们生于电子的时代，是命运给了我们享受美妙的机会，也是你的热情和努力带给你电子制作的乐趣。换个角度，从设计者的角度重新思考电路是怎么设计出来的，就好像从画家的角度去创作一幅精品，也许你会有更多美的体验。这也是本文所要带给你的感受。若有感受，若有兴趣，就请跟我来吧，下一期继续体验《电路之美》。