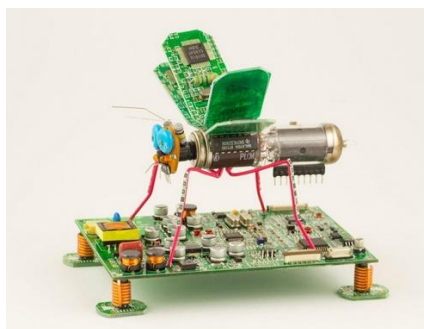
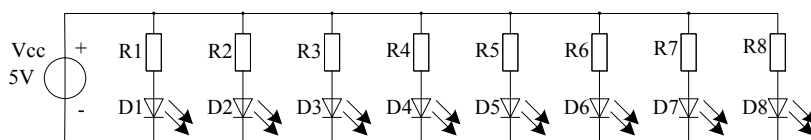


实验一 《基本电子元器件认知与基本电路定理的验证》预习讲义



一、一些电路图符号约定

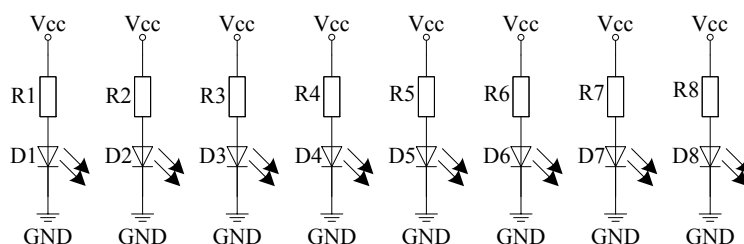
下面的电路图中, $R1 \sim R8$ 是 8 个电阻, $D1 \sim D8$ 是 8 个发光二极管(简称 LED)。电阻分别与 LED 串联后, 接入到电源 V_{cc} , 电压是 5V。



在这个电路图中, 电阻和 LED 通过导线与电源相连。如果电路图中元件再多一些, 将这些导线都在图中画出来, 那么电路图会显得非常凌乱, 难以识别。为了读图方便, 一般将电路图中连接电源的导线以及电源本身的符号都省略掉, 而将电源正负极分别用“ V_{cc} ”和“ GND ”符号代替, 如下图所示:



电路图中将所有与电源正极相连的点都标上“ V_{cc} ”, 所有与电源负极相连的点都标上“ GND ”, 这样, 上面的电路图就转化为:

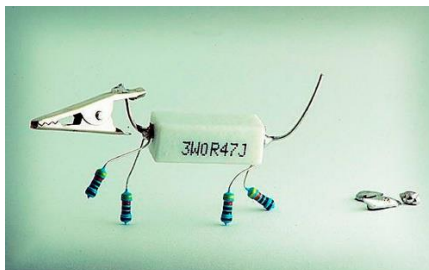


当电路元件很多时, 这种表示方式就显得简洁易懂。因此一般电路图中都用这种方式来表示电源的正负极。

要注意的是, GND 称为“接地”, 并不是真的要将标 GND 的点与大地相连, 而是指将这一点作为电路的电压零点, 电路中的其他点的电压都以这个电压零点为基准。在上面的电路中, 约定俗成的将电路中的电源负极定为 GND , 电源正极定为 V_{cc} 。但是, 理论上来说, 电路中任意一点都可以定义为 GND , 比如上面的电路也可以将 GND 定义在电源正极, 而将电源负极定义为 V_{cc} , 但此时 V_{cc} 就是负值了, 不符合使用习惯。因此, 一般习惯上都是将电路中的电源负极定为 GND 。

二、基本电子元器件认知

电阻

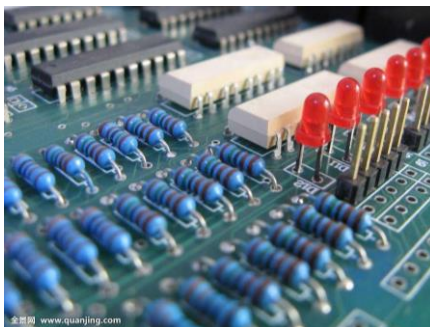
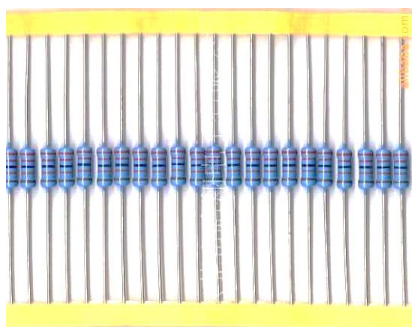


电阻是电路中最常用的元件，其电路图符号如下图所示，左图是国家标准，右图是国外有些电路图使用的符号，两者是通用的。



电阻的电路符号

上图只是电阻的符号，实际电阻的大小、外形多种多样，元器件的实际外形被称为“封装”，每种封装都有相应的封装名。最普通的电阻是下图中的色环电阻，它有两根金属管脚，焊接时需要将管脚穿过电路板，因此将这种封装称为“直插式”。直插式电阻上面印有色环，用不同的颜色代表其阻值和误差精度。直插式电阻体积大，并且焊接时会同时占用电路板上下两层的空间，因此占用电路板空间较大，现在已经很少用在集成度较高的电子产品中了，大家可以把自己手上的 iPhone 用砖砸开，看能否找到这样的电阻。这里就不深入的讲解色环电阻的阻值读取方法，大家在用到的时候百度一下就可以了。



色环电阻

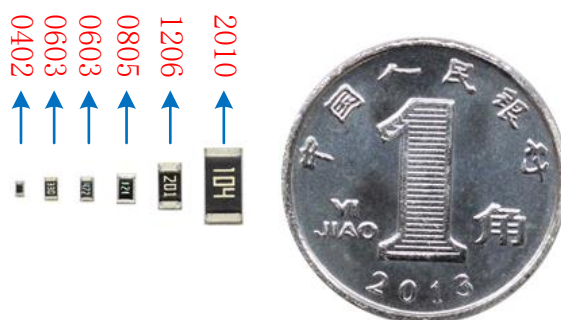
大家以后无论是参加机器人大赛、智能车比赛，还是毕业之后从事电路设计的工作，使用得更多的是下图中的贴片电阻。



常见的贴片电阻

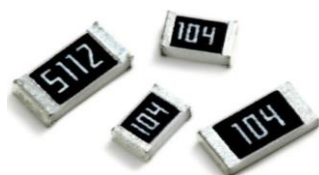
贴片电阻最大的特点是没有像直插电阻那样的管脚，直接焊接在电路板表面，

不需要穿过电路板，这样就只占用电板板的一层，并且其体积可以做得很小，因此在电子产品中应用广泛。根据体积大小，贴片电阻也分为多种封装。由于电路板是洋人发明的，所以在进行电路板设计时，一般采用英制单位 mil（读作“咪尔”），1mil=1/1000 英寸，1 英寸=2.54cm，早期集成芯片的管脚间距都是标准的 100mil，即 2.54mm。贴片电阻的封装是根据其长宽来命名的，比如封装 0603，意思是长为 60mil（约 1.5mm），宽为 30mil（约 0.7mm），大小跟一颗芝麻粒差不多，更小的有 0402、0201，这个就非常小了，在如手机这样的高密度的电路板中应用非常多。更大的有 0805、1206、1210、2010 等，大小对比如下图所示。平常做电路设计时，0805 和 0603 封装的贴片电阻用得比较多，0402 和 0201 太小，无法手工焊接。



贴片电阻常用封装大小对比

贴片电阻表面印有数字和字母，代表了其电阻值的大小。其电阻值有两种表示方法，第一种是数字表示法，如下图中的电阻 104，“104”的最后一个数字 4，代表前面的数字“10”后面添 4 个 0，即 $10 \times 10^4 = 100000$ ，就是其电阻值，单位是欧姆，即 100000 欧姆（100K）。同样的“5112”代表 $511 \times 10^2 = 51100$ 欧姆，即 51.1K。



贴片电阻上的数字标识

第二种表示方法是数字+字母法，比如“01D”代表 100K，“69B”代表 51.1K，这个使用时需要查表，不好人为记忆了。

说到电阻的阻值，话说同学小明设计了一款电路（小明同学一脸迷茫：为什么是我？），其中需要使用 5K 的电阻。他非常高兴的到中发电子市场卖电阻的柜台，对老板说：“老板，来两只 5K 的 0603 的电阻！”柜台老板听了，和（chong）颜（man）悦（bi）色（shi）对小明说：“同学，电阻没有 5K 这样的阻值的，要不你用两只 10K 电阻并联吧，一元一支”小明听了，觉得很对，于是花了 4 元钱，买了 4 只 10K 封装为 0603 的电阻，满意而归。在这个过程中，小明为什么会被鄙视呢？首先，并不是任意电阻值的电阻工厂都会生产，而是只生产一定序列阻值的电阻，这个序列称为标称值。对于贴片电阻而言，其标称值有 E24 和 E96 两个系列，E24 系列的电阻精度为 5%，E96 系列电阻精度为 1%。E24 系列数值如下：1.0、1.1、1.2、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.6、3.9、4.3、

4.7、5.1、5.6、6.2、6.8、7.5、8.2、9.1。比如，可以买到 4.7 欧姆、47 欧姆、470 欧姆、4.7K、47K、470K 的电阻，但是买不到 5 欧姆、50 欧姆、500 欧姆、5K 的电阻，如果需要 5K 电阻，那么只能用两个 10K 电阻并联。之所以这个序列取这些奇怪的数，就是要能够使用这些序列的阻值，通过串并联的方式，以最小的误差得到其他没有在序列中的电阻值。

柜台老板之所以鄙视小明同学，还因为贴片电阻都是论盘卖的，一盘有 5000 只，10K 0603 贴片电阻一盘约 30 元，单价不到 1 分钱一只。如果用不了一盘，也至少以百为单位购买，100 个大概一元钱。这里小明花 4 元钱买了 4 只电阻满意而归，一看就是个小白，如何不让老板不鄙视他呢？

因此，正确的购买方式是：“老板，来 200 只 10K 0603 的贴片电阻。”老板一听是个老司机，买的又不多，才会爱理不理地伸出两个手指头：“两元。”

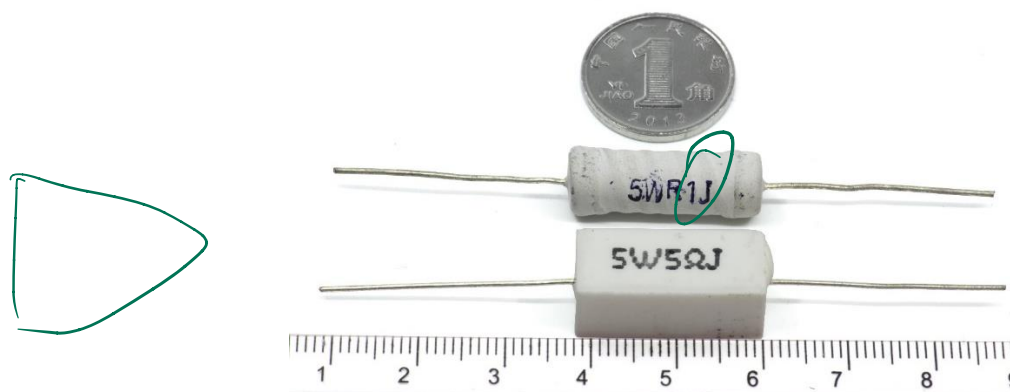


成卷售卖的贴片电阻

下面说一下电阻的功率。在设计单片机等一般的嵌入式系统电路时，电阻在电路中承受的功率很小，不需要特别考虑其功率问题，使用普通的 0603、0805 封装的电阻就可以了。但是，在电流较大的场合，就需要考虑电阻的功率了。我们一般让电阻所能承受的最大功率约为其正常工作的功率的 1.5~2 倍。电阻所能承受的最大功率与其体积直接相关，下面列出一些常见贴片电阻的封装与其能承受最大功率的对应关系：

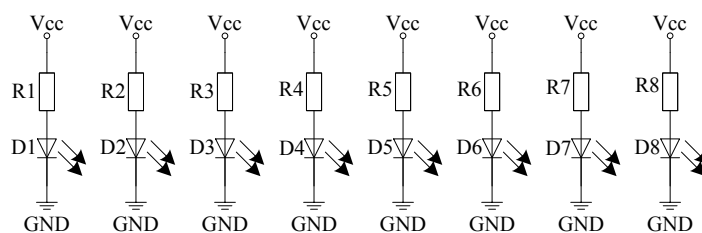
封装	最大功率 (W)
0201	1/20
0402	1/16
0603	1/10
0805	1/8
1206	1/4
1210	1/3
1812	1/2
2010	3/4
2512	1

如果要使用比上表中更大功率的电阻，就要选用专用的功率电阻了。功率电阻一般都是直插封装，一般常用的有线绕电阻和水泥电阻两种，如下图所示。图中圆柱形的是线绕功率电阻，方形的是水泥电阻。两个电阻标明的功率都是5W，水泥电阻的标称电阻为5欧姆，线绕电阻的电阻标为“R1”，意思是0.1欧姆。最后的字母J代表精度是5%。

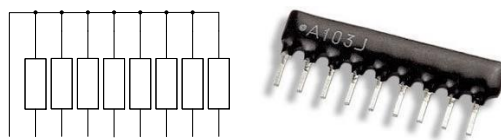


功率电阻大小对比

下面说一些特殊的电阻。在下面的电路中，使用8只电阻分别与8只LED串联。

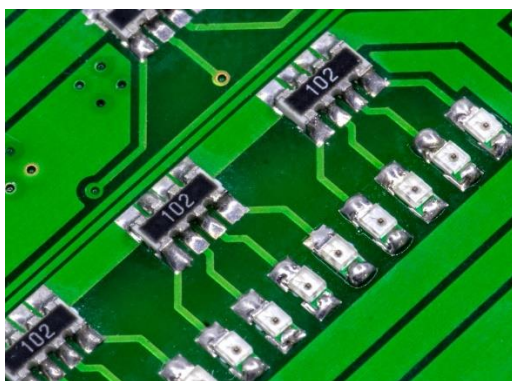


可以看到，这8只电阻的一端都接到Vcc，另一端跟LED相连，这样的接法经常会在电路中出现，为了简化电路、节省电路板面积，可以将多只电阻集成在一起做成一种特殊的元件，称之为“排阻”。排阻也有直插式和贴片式两种封装。直插式的排阻其电路图符号和实际外形如下图所示。图中的排阻中集成了8只电阻，每个电阻的一个管脚连到一个公共管脚引出，另外的管脚单独引出，因此总共引出了9个管脚。



直插封装的排阻

贴片排阻如下图所示，贴片排阻没有公共管脚，各个电阻是独立的。



贴片封装的排阻

电位器

上面介绍的电阻都是固定式的，阻值不可变。大家都知道还有滑动变阻器，阻值是可变的。如果你去中发柜台喊着要买滑动变阻器，也会被鄙视的，因为在电子行业里，一般将滑动变阻器称为“电位器”，因为一般用它对固定电压进行分压，通过改变触点位置来改变分压大小，因此称它为电位器。下面是电位器的符号、应用电路图，以及各种电位器的外形。



电位器符号、应用电路、常见外形

电位器也用在游戏手柄中，如下图所示。方向手柄由两个电位器组成，这两个电位器安装时互成 90 度角，对同一个固定电压进行分压，通过测量分压值可以知道目前方向手柄在 XY 方向的角度，从而控制游戏角色的动作。



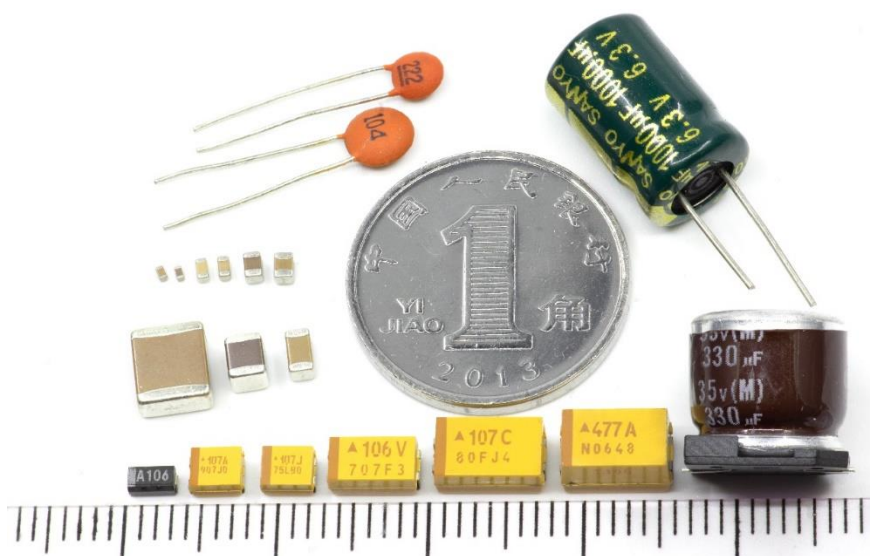
游戏手柄中的电位器

关于电阻，还有不同的材料之分，比如碳膜、金属膜之类的，但是在一般的电路设计中考虑不多，这里就不介绍了。

电容

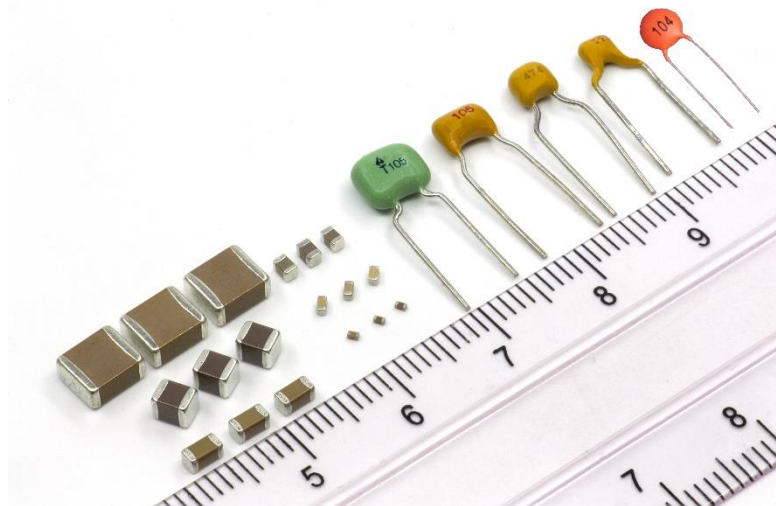


除了电阻之外，电容也是电路设计中最常用的元件。电容的基本结构是由绝缘材料隔开的两个导电极板，导电极板上可以存储正负电荷。电容的单位是法拉（F），但是跟电阻的单位欧姆不一样，法拉是个很大的单位，容量为1法拉的电容称为“超级电容”，容量非常大，近几年市面上才有产品出售。一般使用的电容都是以微法（ $1\mu\text{F}=10^{-6}\text{F}$ ）为单位，几百微法的电容已经算容量比较大的了，在单片机电路中，一般使用的是 $0.1\mu\text{F}$ 的电容或者更小的。几十微法和上百微法的电容一般使用在电源电路中进行滤波。一些常见电容的外形如下图所示：



常见的电容

电容的绝缘介质材料有很多种，最常用的材料是陶瓷，使用陶瓷做绝缘介质的电容称为“瓷介电容”或者“陶瓷电容”。瓷介电容容量很难做大，一般都是10 μ F 以下。瓷介电容有直插和贴片两种封装，贴片封装用得更多一些，它们也有0402、0603、0805、1206、1210等封装。常用的瓷介电容的外形如下图所示：



常见的瓷介电容器

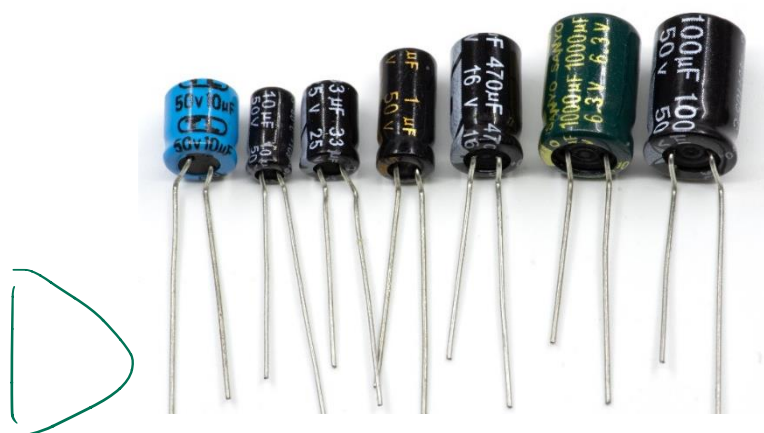
直插的瓷介电容表面会印有容量值，但是贴片的瓷介电容的表面不印出其容量值，这与贴片电阻不一样。因此，贴片瓷介电容一旦焊到电路板上，就无法从表面得知它的容量，只有将其焊下来使用万用表的电容档测量得知。

瓷介电容的电路图符号如下图所示，它们在使用时管脚不分正负：

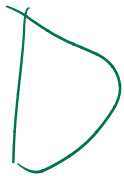


瓷介电容器电路符号

因为瓷介电容的容量很难做大，如果要使用10 μ F以上容量的电容，就要使用电解电容了。电解电容分为铝电解电容和钽电解电容两种。铝电解电容最常用、价格最便宜，它也有直插和贴片两种封装，如下图所示：



直插铝电解电容器

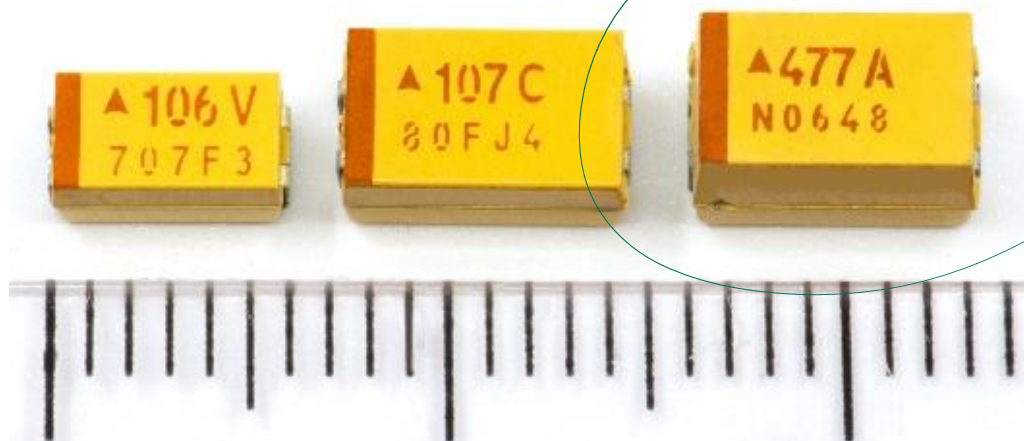
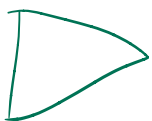


贴片铝电解电容器

铝电解电容内部是将条状铝薄片卷起来，薄片之间是电解液，可以将它想象成一筒卫生纸（老师小时候经常拆着玩）。给铝薄片通上电压之后，由于电解反应，薄片之间产生极薄的绝缘层作为绝缘介质，因此铝电解电容的容量可以做大（最大可以做到上万微法，但离一法还差两个数量级）。

因为铝电解电容的极板是卷成一团的，具有一定的电感效应，影响了其高频性能，而且它内部电解液是液态的，时间长了容易出现过热鼓包、电解液干涸等问题，影响系统稳定性，于是出现了固态钽电解电容器，简称钽电容。它的高频性能、温度特性都比铝电解电容好，适合应用在要求高的场合，但是价格贵很多。普通的铝电解电容价格一毛五，同样容量的钽电容价格可能要一块钱左右。老师在设计电路时经常使用钽电容，因为老师不差这一块钱。但是如果大家以后设计的电子产品能卖出 100 万台，那么用钽电容成本就会多出 100 万，一辆宝马车就没了。

钽解电容一般是贴片封装的，外形如下图所示：



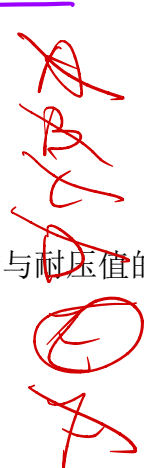
钽电容外形

钽电容最小封装是 1206，大的有 1210 及以上，但它的封装常常以公制单位来命名的，如 3216、3528、6032、7343、7361，比如 3216 代表其长是 3.2mm，宽是 1.6mm，其余的类似。

电容最重要的作用是对电源进行滤波。通常的电子产品使用 220V 交流电供电，在产品内部需要先将 220V 交流电压经过变压器降低到低压，然后通过整流电

贴片瓷介电容一般的耐压是 63V，在单片机电路中，它们一般用来在对 3.3V 或者 5V 电源电压进行滤波，工作电压远远低于 63V，因此在使用时通常不需要考虑它们的耐压。对于更高的电源电压（比如 9V、12V、24V）需要使用更大容量的滤波电容，瓷介电容器容量太小，这时就需要使用铝电解电容或者钽电解电容了，并且要考虑滤波电容的耐压。

铝电解电容和钽电容的容量和耐压值都印在它们的表面。铝电解电容表面清晰地印有其容量和耐压，这里不过多解释。对于钽电解电容，其容量和耐压的标示不像铝电解电容那样一目了然。比如下面的图片中的 107C 钽电解电容，107 代表 10 后面有 7 个 0，单位是 pF，即容量为 $10 \times 10^7 \text{ pF} = 100\mu\text{F}$ 。

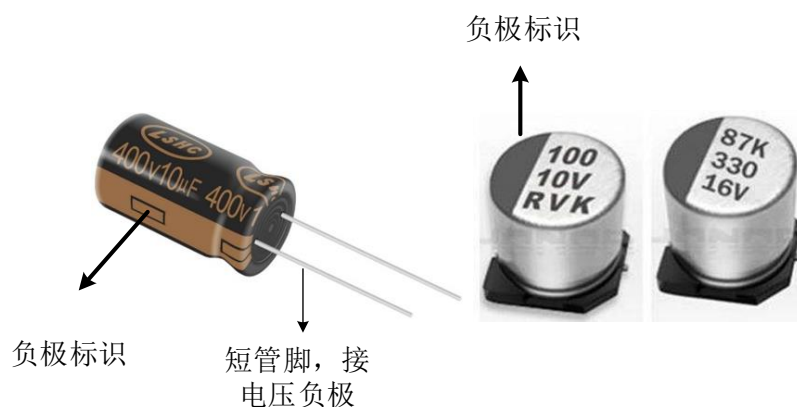


字母标识	耐压 (V)
F	2.5
G	4
L	6.3
A	10
C	16
D	20
E	25
V	35
T	50

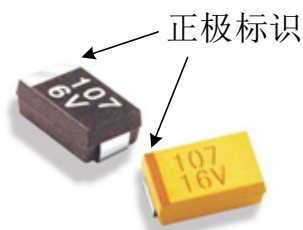
10

计算上图中的 106V 和 477A 钽电容的容量和耐压分别是多少。

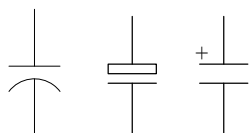
使用电容时还要注意的，贴片瓷介电容使用时管脚不分正负，但是铝电解电容和钽电解电容的管脚都是分正负的，在使用过程中如果接反了，会引起电容器的发热、爆炸。对于直插型的铝电解电容，其较短的管脚为负极，同时其表面也用白线标识出负极。对于贴片型铝电解电容，表面用黑色标出其负极。



而对于钽电解电容，表面印有白线或者黑线的那一端为正极。



铝电解电容器和钽电容的电路图符号中也标明了其极性，如下图所示：



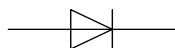
铝电解电容器和钽电容器电路图符号

二极管

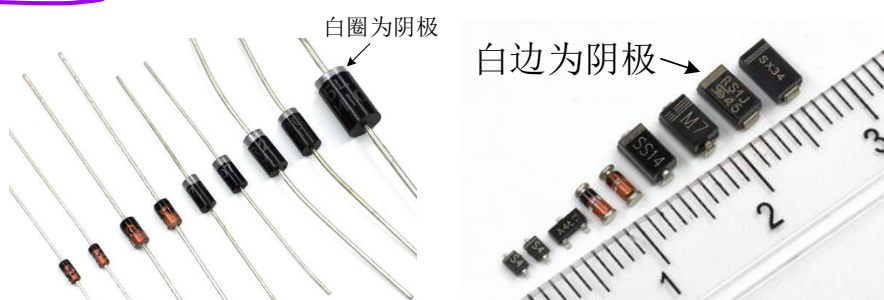


二极管在也是非常常用的元件。现在的小学生都知道，二极管只能单向导电，即电流只能向一个方向流动，无法反向流动。但小学生不知道的是，其实二极管中的电流在一定条件下是可以反向流动的，后面会讲到。

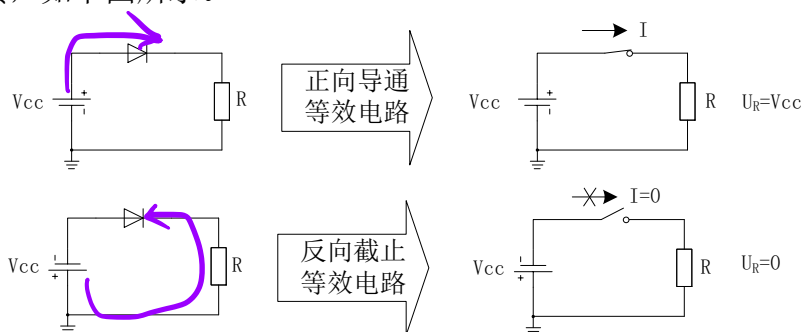
普通二极管的元件符号如下图所示：



二极管的符号就是个箭头，代表了电流的流向，因此二极管在接入电路时，管脚是分正负极的，被称为阳极和阴极。实际的二极管中，负极管脚上白色或者黑色来标记。下图是常见的直插和贴片二极管：



通常认为，二极管在电路中可以看作一个开关，当加有正向电压时，开关闭合，允许电流流过（这种状态称为“正向导通”）；当加有反向电压时，开关断开，不允许电流流过（此时的状态称为“反向截止”），因此二极管最常用的功能是防止电源反接，如下图所示。

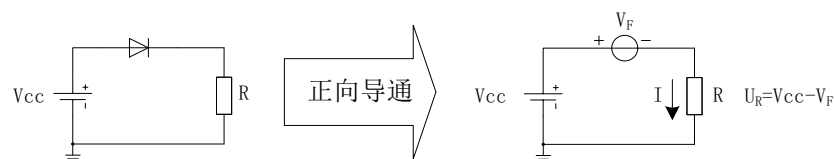


使用二极管防止电源反接

上图中，电源电压为 V_{cc} ，当电源正接时，二极管正向导通，相当于开关闭合，

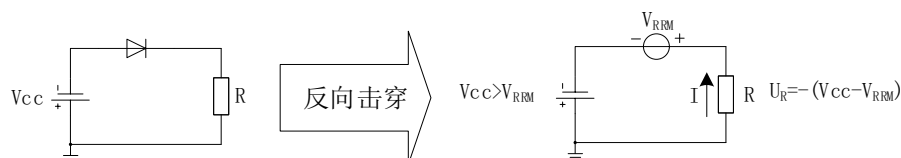
使电流在回路中流动，电阻 R 上的电压为 $U_R = V_{CC}$ ，二极管两端相当于导线，压降为 0。当电源反接时，二极管反向截止，相当于开关断开，电路中没有电流流过，电阻 R 上电压为 0。

这种等效电路拿来向小学生或者中学生解释二极管的原理是可以的，但是作为首批进入 211 建设高校现在是 985 优势创新平台并且差点进入双一流高校的北京大学的大学生，这样理解就很肤浅了。实际上二极管在正向导通时，其两端电压并不是为 0，而是有个导通电压，称为“正向导通压降”，用符号 V_F 表示。这个电压与二极管的材料有关，与流过它的电流关系不大（跟电阻不一样，电阻两端电压随着电流增大而线性增大，因此被称为“线性元件”，二极管中的电流大范围变化时，其两端电压基本不变，因此被称为“非线性元件”）。现在常用的二极管有硅二极管和肖特基二极管。对于硅二极管， V_F 的范围在 0.5~0.7V 之间，对于肖特基二极管， V_F 的范围在 0.15~0.3V 之间。因此二极管正向导通时的等效电路为：



此时电阻上的电压就不为 V_{CC} 了，而是为 $U_R = V_{CC} - V_F$ 。如果上图中的电源电压 $V_{CC} < V_F$ ，即电源电压小于二极管的正向导通电压，那么即使电源是正向连接的，二极管也不会导通，电阻上不会有电压，电路中不会有电流流过。

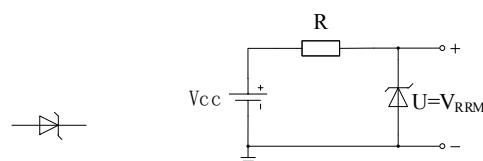
同样，当电源反接时，也不能简单地认为二极管一定会把电路断开。二极管有另外一个参数，叫“反向击穿电压”，用 V_{RRM} 表示。当加在二极管两端的反向电压时低于 V_{RRM} 时，二极管处于反向截止状态，此时可以认为没有电流流过，电路是断开的。但是，如果二极管两端的反向电压超过了 V_{RRM} ，二极管就会扛不住压力被击穿，会有电流流过，这种状态被称为“反向击穿”状态。二极管被反向击穿时，其两端会保持恒定值电压 V_{RRM} ，无论其中流过的电流是多大（当然也不能太大，电流太大二极管会过热烧毁），此时的等效电路图如下图所示：



二极管的反向击穿

注意，二极管被反向击穿时，并不是说它就坏掉了。只有当二极管长流过大电流，使二极管温度上升到极限值，才会使二极管烧掉。只要二极管没有因过热而烧坏，当反向电压被撤掉时，二极管又会恢复正常的截止状态，仍然具有单向导电的特性。

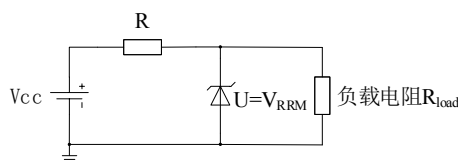
二极管被击穿时，其两端保持稳定的电压，利用这个特性可以把二极管用作一个小功率的电压源给外部电路供电。这个用途的二极管，被称为“稳压二极管”，其符号和应用电路如下图所示：



稳压二极管符号及应用电路

下面详细说一下稳压二极管的应用。在上面的电路中，假设电源电压 $V_{CC} = 24V$ ，二极管的反向击穿电压 $V_{RRM} = 5V$ 。一般来说，要使二极管击穿并保持稳定，至少要让二极管反向流过 $1mA$ 的电流，这个电流就由电阻 R 来设定，因此将 R 称为“限流电阻”。在上图中，要使二极管处于稳定的反向击穿状态，限流电阻 R 的阻值应该取多大范围呢？显然，当二极管处于稳压状态（即反向击穿状态）时，电阻 R 两端电压为 $(24 - 5) = 19V$ ，要求流入二极管的电流最低为 $1mA$ ，那么要求的电阻最大为 $19V/1mA=19K$ ，因此电阻 R 在 $0\sim19K$ 之间选择都可以（当然不可能让 R 取特别小的值，这样流过二极管的电流将会非常大，会烧坏二极管）。

当 R 的值取定，使二极管流过电流超过 $1mA$ 之后，二极管就处于稳压状态。此时如果接入负载电阻 R_{load} ，那么负载电阻 R_{load} 两端的电压就是二极管的反向击穿电压 V_{RRM} ，因此，负载电阻相当于是接在了一个电压源上面，电压大小为 V_{RRM} 。



稳压电路

小明同学看到这里心想，原来电压源这么容易就实现了，机智的我已经知道手机充电器输出的电压就是 $5V$ ，那我何不自己用这个电路搭一个 $5V$ 稳压电源给手机充电呢？到时拍个照发个朋友圈什么的，再配段文字：“刚学了电路，随手搭了个稳压电路给手机充个电”，肯定收获一堆赞。说干就干！小明同学很快买来了 $5V$ 的稳压二极管，至于限流电阻 R ，他想在 $0\sim19K$ 之间都可以，那么拍拍脑袋，就用 $1K$ 的吧。上次买电阻被坑了，这会可得聪明点，花了两块钱买了 100 只普通的直插电阻，很快将电路搭好，接入 $24V$ 直流电源，再接上手机，心里想着见证奇迹的时刻到了，按下了电源开关，仔细一看，手机没反应，并没有出现充电标志。反复的检查了电路，电路确实没问题，可手机就是没有充电，这是为什么呢？

机智的小明同学已经知道手机充电需要 $5V$ 电压，他却并没有注意到需要给手机提供多少电流。手机一般是使用 USB 口充电， USB 口输出的电压就是 $5V$ ，但是手机充电时要求 USB 口至少能提供 $500mA$ 的输出电流，如果是给 $IPAD$ 充电，则要求提供 $2A$ 的充电电流。比如下图中的充电宝的规格就说明，它能在稳定输出 $5V$ 电压的情况下最大提供 $2A$ 的输出电流。



那么，小明同学搭建的这个稳定电路，最大能提供多少电流呢？我们来计算一下，小明同学选用的限流电阻 R 是 $1K$ ，那么在接上负载电阻，并且二极管处

于稳压状态时，流过限流电阻 R 的电流就是 $(24 - 5) / 1000 = 19\text{mA}$ 。这个电流流过 R 之后，兵分两路，一路流过二极管，让二极管保持在击穿状态，另一路流入负载电阻，使负载工作。也就是说，如果不接负载电阻，流过 19mA 电流会全部流过二极管，当接上负载之后， 19mA 电流不再全部流入二极管，而是一部分流入了负载，那么有多少电流流过负载呢？这个就由负载本身的电阻大小决定了，它的电阻越小，流过它的电流越大。也就是说负载电阻的电流，全部是从二极管中分得的，最大能分得多少？就是 19mA 了。如果负载电阻中的电流大于了 19mA ，比如说达到了 20mA ，那么限流电阻 R 两端的电压是多少？ $1\text{K} \times 20\text{mA} = 20\text{V}$ ，那么到二极管两端（也就是负载两端）的电压就只有 4V 了，该电压已经低于二极管的反向击穿电压了，二极管不再处于反向击穿状态，而是处于截止状态，没有电流流过了。此时二极管相当于在电路中不存在了， 24V 电源经过限流电阻 R 到达负载，负载上的电压就是负载电阻与负载本身的分压，当负载阻值变化时，负载两端电压就会发生变化，负载已经不能得到稳定的工作电压了。小明同学把上面的电路接给手机充电，手机说我充电得需要 500mA 电流， 24V 电源说我可以，没问题。限流电阻 R 说，我不管你要多少电流，反正我要遵守欧姆定理，但是别让我太热。于是手机开始吸收电流，一开始电流增加到 18mA ，仍然保持 5V 的稳定电压，但是超过 19mA 以后，手机说：哎哎哎，电压怎么降下去了？ 24V 电源说：不是我的问题。限流电阻说：不是我的问题，而且，我要热坏了，快给我吹吹风！二极管说：不给我电流，我没法稳压，你们玩吧，我歇着去了。手机说：我不管你们谁的问题，反正我要电流。于是更加使劲的吸收电流，可是它使出吃奶的劲，最大能得到多少电流呢？我们知道，上面的电路中限流电阻 R 的阻值是 1K ，因为它的限制，回路中最大的电流是 $24\text{V} / 1\text{K} = 24\text{mA}$ ，但此时负载两端电压已经是 0V 了。手机说：得，这活我没法干了。于是充电失败。这个过程中，电阻还喊着要热坏了，这是为什么呢？我们帮小明计算一下电路处

于稳压状态时电阻消耗的功耗，很简单的计算： $\frac{U^2}{R} = 19^2 / 1000 = 0.361\text{W}$ ，电阻

功率的分档有 $1/8\text{W}$ 、 $1/4\text{W}$ 、 $1/2\text{W}$ 、 1W ，按照 $1.5 \sim 2$ 倍的功率余量， $0.361 \times 1.5 = 0.5415\text{W}$ ，因此 R 的功率应该选用 1W 的。但是小明买的是什么电阻？最普通的直插电阻。普通直插电阻能承受的最大功耗是 $1/4\text{W}$ ，即 0.25W ，现在工作的功率已经超过了它最大能承受的功率，难怪电阻要喊热了。

那么小明说，好吧，既然限流电阻不给力，那么我换电阻。于是小明开始计算：如果要使用该电路给手机充电，就要求它向外最大能提供 500mA 的电流，那么流过电阻 R 的电流就为 $(500 + 1) = 501\text{mA}$ ，于是 R 的值取为： $19 / 0.501 \approx 40\Omega$ 。电阻 R 上消耗的功率为 $19 \times 0.501 = 9.5\text{W}$ ，那我选用 15W 额定功率的电阻，这样子总可以了吧。

小明同学还不知道的是， 15W 的功率电阻，体积比我们的食指还大，工作起来会非常烫手。另外，这个电路不管接不接手机，电路中的电流也一直是 501mA ，电阻上的功率始终是 9.5W ， 24V 电源向外输出的功率始终是 $24 \times 0.501 = 12\text{W}$ ，因此非常浪费电力。而且当不接手机时， 501mA 的电流将全部流过二极管，二极管消耗的功率将为 $5 \times 0.501 = 2.5\text{W}$ ，这个功率也很大，对二极管的功率要求也很高，所以二极管也要换更大功率的，或者加装散热片和散热风扇。

到了这一步，小明同学总算意识到，这个稳压电路不适合进行大电流输出，只适用在小电流输出的场合。“好吧，”小明同学想，“朋友圈还是先别发了，先

把讲义看完吧”。

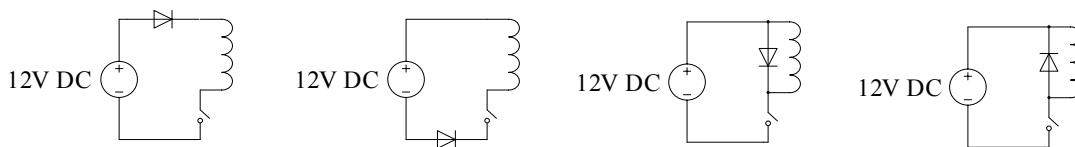
上面说了二极管反向击穿的现象和应用，现在继续说二极管正向导通的特性和用途。在生活中经常会使用到电磁铁或者电磁阀，比如咱们去近邻宝取快递，近邻宝的柜门就是给一个线圈通电产生磁场将门销拉开，从而使柜门自动打开，这个机构就是电磁铁。还有大家在宿舍里刷卡洗澡，是通过电磁阀控制水路通断。电磁铁和电磁阀的原理是给电磁线圈通电产生磁场，拉动铁芯移动实现控制作用。下面是个简单的电磁线圈的控制电路。



电磁铁及其控制电路

图中电源是12V直流电，当开关闭合时，12V直流电压就加到电磁线圈两端，回路中产生电流，使线圈中间产生磁场，控制铁芯移动。当开关断开时，回路断开，电流消失，磁场也消失，铁芯在弹簧的作用下回位。初看这个过程没有任何毛病，逻辑很完美。但是大家要知道，这里的电磁线圈相当是一个电感，特别是线圈中间还有铁芯，电感量是相当大的。当开关闭合时，回路中产生电流 I ，而在开关断开时，由于电感的特性，它不会让电流 I 就这样突然的消失，它要尽力的保证电流 I 还要向前流动，但开关已经断开，此路不通，怎么办？电感线圈很任性，它可不管开关是不是断开，它要发挥大无畏的革命乐观主义精神，“雄关漫道真如铁，而今迈步从头越”，让电流向前、向前，继续向前。于是只能是产生高压将空气击穿，从空气中流过，现象就是开关在断开的瞬间产生电火花。用物理学来解释是电感在开关断开的瞬间产生很高的自感电动势，这个电动势的大小与电流的变化成正比，方向是上负下正，与原先的12V直流电压一起叠加到开关两端，将触点之间的空气击穿，从而出现电弧放电的现象，跟闪电产生的原理一样。电弧击穿会产生极高的温度，如果开关经常这样的动作，会将开关的触点烧蚀、氧化，久而久之，出现接触不良的问题。在实际的电路中，通常不是用机械开关来控制电磁线圈通断的，而是使用三极管、场效应管这样的半导体器件，在断开的瞬间产生的高压很有可能会将半导体器件击穿，造成永久损坏。因此，需要想办法消除这样的自感电动势。

大家肯定会想到，这里要用到二极管了。如何在这个电路里加入二极管，才能够消除开关断开时的自感电动势呢？下面的四种电路，哪个能达到我们的目的？



第一个电路只能防止电源反接，达不到我们的目的。第二个电路会使电路无法工作，第三个电路将12V电压直接加到二极管两端，会导致电流过大将二极管烧毁。那么，只剩下第四个电路了。我们仔细分析下，当开关闭合时，12V直流电同时加到二极管和线圈上，由于二极管是反接的，所以不会有电流流过，电流只流经线圈产生磁场，电磁线圈可以正常工作。

Handwritten calculations:

$$9 \times 27$$
$$\begin{array}{r} 27 \\ \times 9 \\ \hline 243 \end{array}$$



开关闭合时

开关断开瞬间

当开关断开时，跟之前一样，电磁线圈要保证电流 I 继续流，不能中断，但此时它惊奇地发现，它不需要将空气击穿来产生电流通路了，直接从二极管中流过就可以了，因为此时二极管的方向跟电流方向一致，如上面的右图所示。所以，电流就在二极管和电磁线圈形成的新回路中愉快的流动，直到最终耗尽。此时开关触点两端不用承受高压，终于可以松一口气了。

在这个过程中，二极管能够在开关断开时让电流“继续”流动，因此这个作用称为“续流”，这里的二极管被称为“续流二极管”，其叫法可能取自江湖神药“黑玉断续膏”。

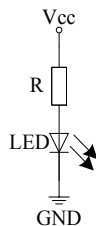
发光二极管

发光二极管在我们的生活中已经随处可见，大街上的红绿灯、鸿博园门口的点阵大屏幕、食堂饭卡刷卡机上的数字，都是用发光二极管组成的。发光二极管简称 LED，它就是二极管，只是会发光，也具有单向导电性，但是它的正向导通压降比较大，一般红色的在 1.5~1.8V，绿色、蓝色和白色的在 2~3V 之间。它们有直插、贴片等不同的封装，直插封装的直径有 3mm、5mm、7mm 等，贴片封装有 0603、0805、1206 等，外形如下图所示：



不同封装的 LED

发光二极管在工作时最重要的是要限制它的工作电流。一般发光二极管工作电流达到 1mA 就能正常发光了，最大工作电流一般不要超过 20mA。在下面的电路中，通过选择电阻 R 的阻值可以控制流过 LED 的电流，因此电阻 R 被称为“限流电阻”。根据二极管的工作特性，其正向导通时，其正向导通压降基本不随电流变化，因此可以认为正向导通压降是固定的。当我们测出正向导通压降之后，根据电源电压大小、所要求的 LED 工作电流，就可以求出限流电阻 R 的阻值。

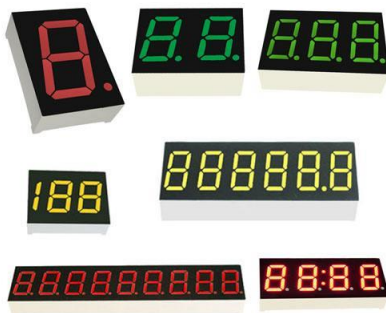


LED 的应用电路

比如，在上面的电路中，如果电源电压 $V_{cc} = 3.3V$ ，LED 的正向导通压降使用万用表测得的是 $1.9V$ ，要求将工作电流控制在 $2mA$ 左右，那么所需要的电阻阻值为 $(3.3 - 1.9)/0.002 = 700$ 欧姆，通过查看电阻标称值，市面上没有 700 欧姆的电阻，最接近的是 680 欧姆的电阻，所以就选这个电阻，最终流经 LED 的电流为： $(3.3 - 1.9)/680 = 2.1mA$ ，符合要求。

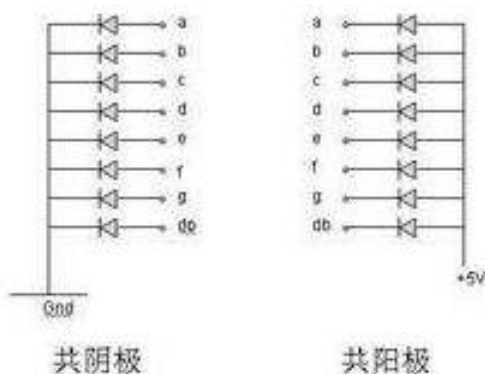
数码管

如果将 8 只 LED 排列成数字 8 的形状，然后控制每个 LED 的亮暗，就可以实现从 0 到 9 的数字显示，这便是数码管。数码管我们每天都能见到，去食堂吃饭刷卡、去逸夫楼排队上电梯、出去坐公交车刷公交卡，都能见到数码管的身影，其外形如下图所示：



常用数码管外形

数码管的内部接线分为两种，一种是将 8 只 LED 的阴极连接在一起引出来，称为“共阴型数码管”，另外一种是将 LED 的阳极连接在一起引出，称为“共阳型数码管”，内部电路如下图所示：



预习思考题

下图的电路中，电压源U₁、U₂的电压值均可调节。开关K₁用于选择FE两点间接入的电压是U₁还是0V，而K₂用于选择BC两点间的电压是U₂还是0V。

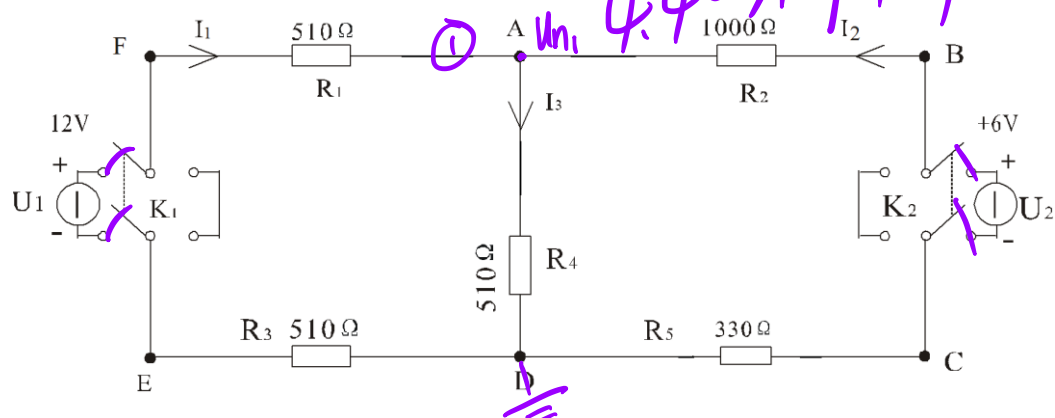


图 2.2.1 基尔霍夫定律/叠加原理线路

图中U₁和U₂分别调为 12V和6V，将K₁拨到左边，K₂拨到右边，计算出下表中的理论值（自备实验报告纸，写出计算过程）：

表 2.2.1 基尔霍夫定律/叠加原理实验理论值

I ₁ (mA)	I ₂ (mA)	I ₃ (mA)	U _{AB} (V)	U _{BC} (V)	U _{CD} (V)	U _{DE} (V)	U _{EF} (V)	U _{FA} (V)

$$(\frac{1}{1330} + \frac{1}{1020} + \frac{1}{510})U_{n1} = \frac{12}{1020} + \frac{6}{1330}$$

$$0.00075188 + 0.00098039$$

$$0.01176471$$

$$0.00369305$$