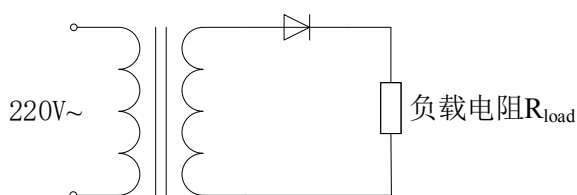


实验二 《使用示波器测量常用电量》 预习讲义

本次实验大家要学习数字示波器的使用。下面以二极管整流电路为例，来说明如何使用示波器来观察和读取波形参数。

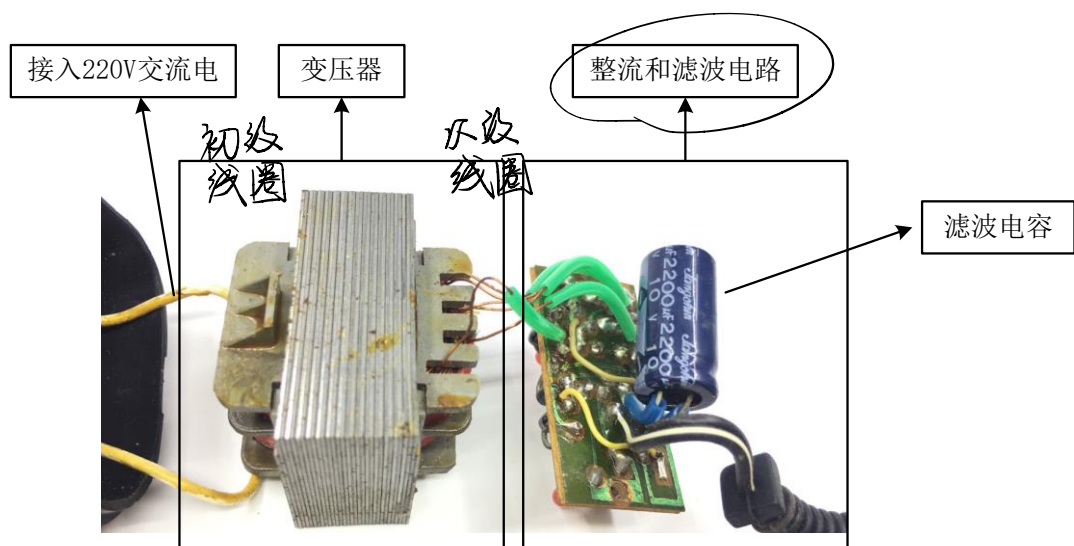
我们平时使用的市电、照明用电都是 220V 交流电压，但是生活中的很多电器都使用低压直流电来工作，比如大家的手机充电头插在 220V 插座上，输出是 5V 直流电压给手机充电。这就要先用变压器将 220V 交流电降压到低压交流电，然后使用整流电路将交流电变换为直流电。很自然的，我们可以想到，利用二极管的单向导电特性来搭建一个这样的整流电路，最简单的电路如下图所示：



为了观察这个整流电路的效果，老师特意找来一只内部有变压器的整流电源，其外形如下：



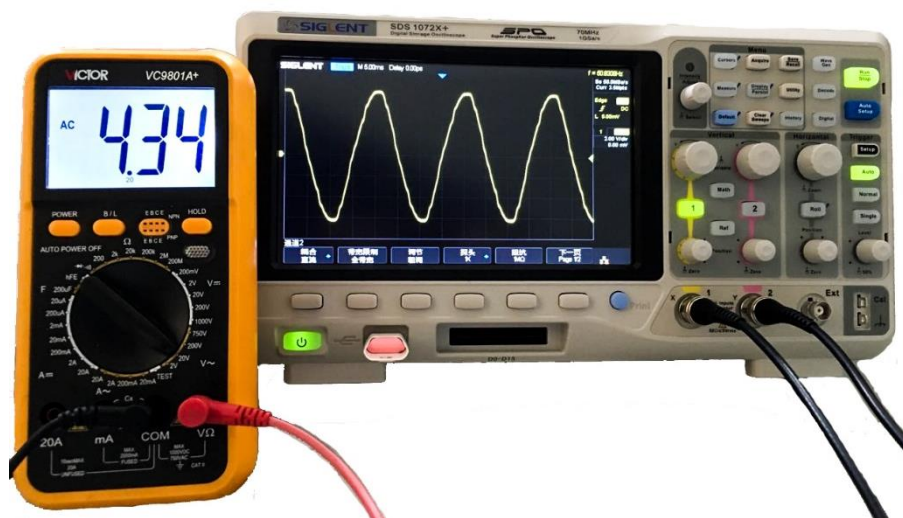
可以看到，该电源有三档直流电压输出，分别是 3V、4.5V、6V。将其拆开，可以看到其内部由一个变压器和一块小电路板组成，如下图所示。变压器的初级线圈接入 220V 交流电插座，次级线圈有好几组输出，每组输出不同的电压。小电路板上有一个转换开关，控制将哪组电压接入到整流和滤波电路，从而实现不同的直流电压输出。



我们将其中一组交流电压接出来，按照上面的整流电路，接上二极管和负载电阻，负载电阻用的是 51 欧姆功率电阻，如下图所示：

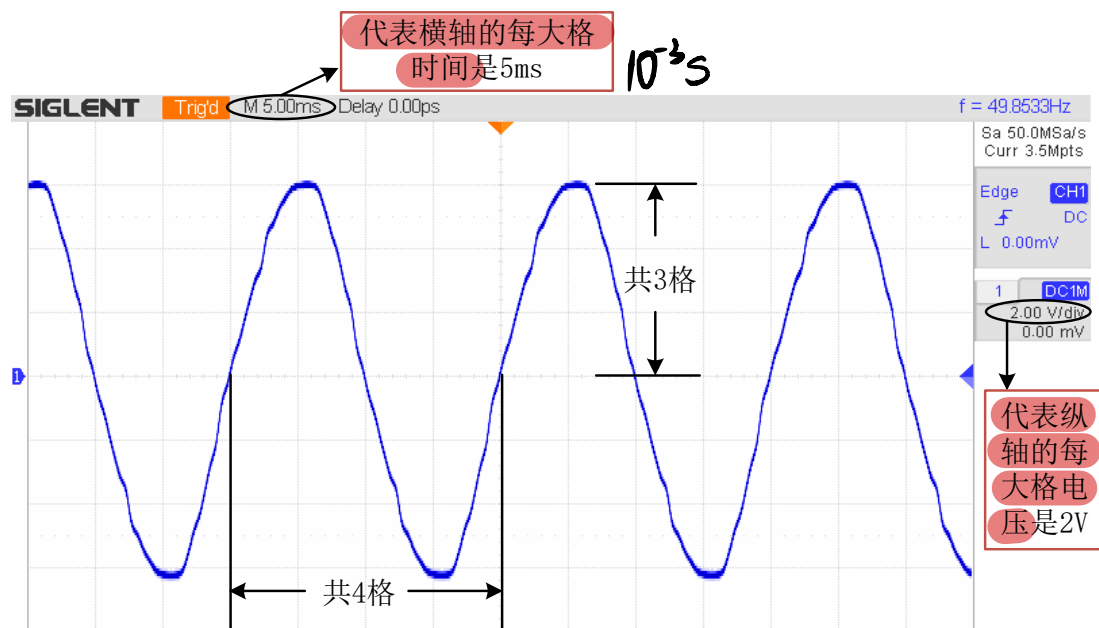


先用万用表和示波器同时测量变压器次级线圈的输出电压，测量结果如下图所示：



从上图可见，万用表测量出来的电压有效值为 4.34V，示波器显示的是交流电压的波形，该波形并非完美的正弦波，而是坑坑洼洼的，与我们在课本上看到的不一樣。这是因为电网中存在很多不同类型的负载，有些负载的工作会对电网的电压波形造成污染。

现在我们仔细看一下示波器的屏幕显示，读取交流电的参数，如下图所示：



示波器的屏幕就是一个坐标，默认坐标原点在屏幕正中央，横轴是时间，纵轴是电压。现在我们来读取该波形的周期和幅度。从屏幕上可以看到，波形一个周期在横轴上占了 4 格，那么每格的时间是多少呢？显示在屏幕顶部，**M 5.00ms**，代表横轴每格时间是 5ms，因此上面波形的周期为 $4 \times 5\text{ms} = 20\text{ms}$ ，换算成频率就是：

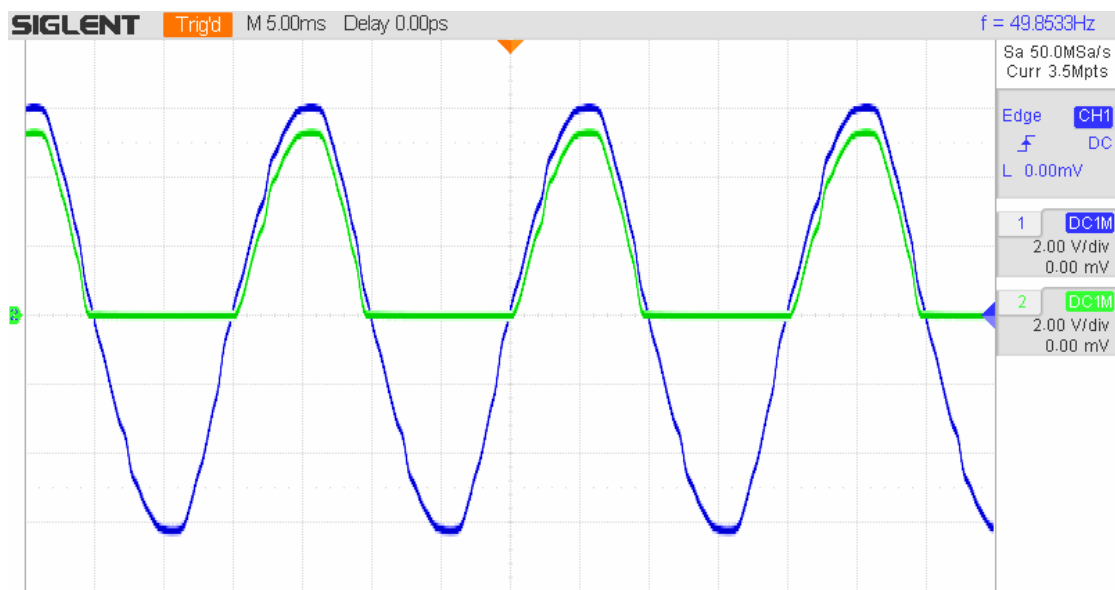
$$\frac{1}{20\text{ms}} = \frac{1}{0.02\text{s}} = 50\text{Hz}$$

屏幕横轴每大格代表的时间，我们用 T/div 来表示。

再看波形的幅度。从上图可知，纵轴方向上，从波形的电压零点到波峰占据了 3 个大格，而每个大格是多少电压呢？从屏幕右边可知，每大格是 2V，那么，该波形的峰值就是 $3 \times 2 = 6\text{V}$ ，而万用表测量出来的有效值为 4.34V ， $\sqrt{2} = 6.14\text{V}$ ，跟示波器显示的波形峰值是非常吻合的。

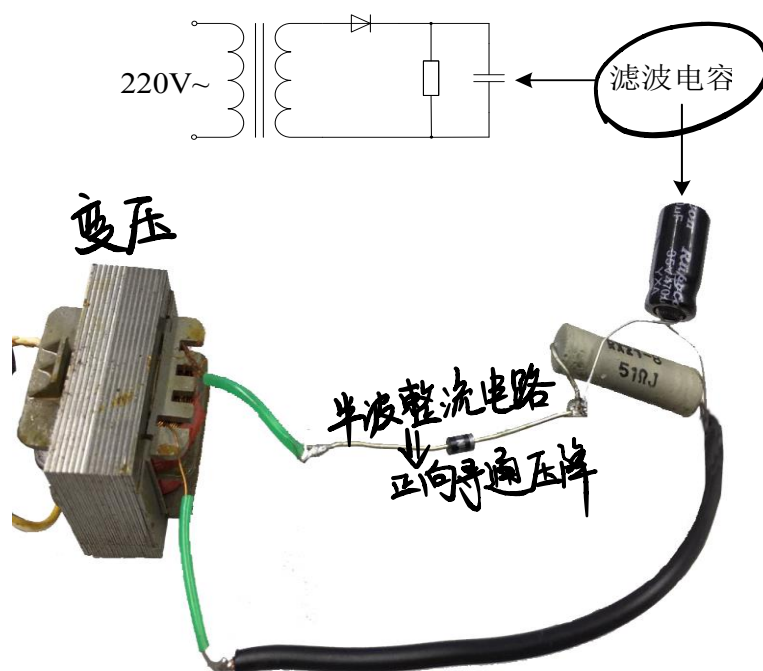
屏幕纵轴每大格代表的电压，我们用 V/div 来表示。

现在我们看一下负载电阻上的电压波形，如下图中的绿线所示：



从图中可以看到，负载电阻上的电压只有交流电的正半周，交流电的负半周被截掉了，因为在这里二极管只能单向导电。这个电路里，只有交流电的正半周被输出，因此将这种整流电路称为“半波整流电路”。可以看到，负载电压的波峰与交流电的波峰并不重合，而是相差了约 0.3 大格，现在 V/div 是 2V，因此相差了约 0.6V 电压，这个电压就是二极管的正向导通压降，它使得最终给到负载上的电压降低了。

从上图还可以看到，负载电阻上的电压虽然只有正电压，没有负电压，但是电压并不稳定，波动非常大，这样的直流电压是没法使电路正常工作的。为了降低这种波动性，需要在负载电阻上并联大容量的电容，当电压上升时给电容充电，当电压下降时，电容向外放电以减缓电压的下降，这样将输出电压进行了平滑，电容的这个作用称为“滤波”。对应的电路图和实际测试电路如下：



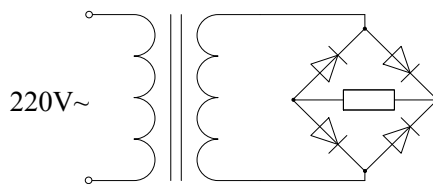
上图中负载电阻上并联了一个 35V/470uF 的铝电解电容作为滤波电容。滤波前后的波形对比如下，绿色波形是未加滤波电容的电压，粉红色波形是加上滤波电容之后的。



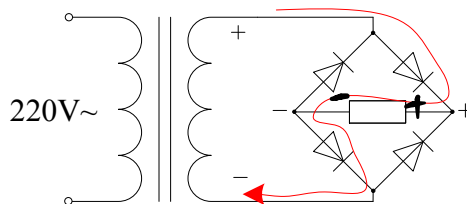
要注意，这张图是用 PS 把两个波形合成到一起得到的，就像你化妆前后的样子没法同时出现在镜子中一样，滤波前后的波形是无法在示波器上同时显示的。

可以看到，加入滤波电容之后，负载电阻上的电压波动变得平缓了，但波动幅度仍然超过了 2V。

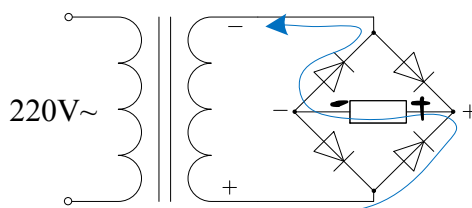
上面的半波整流电路完全截去了交流电的负半周，只有在交流电为正半周时负载上才有电压，交流电的利用率太低，那么有没有办法使得交流电的负半周也能利用上呢？当然是有的，一种办法是采用“桥式整流电路”，电路图如下图所示：



在上面的电路中，在交流电的正半周和负半周电流会沿不同的路径流过负载电阻，正半周情况下的电流路径如下图所示：

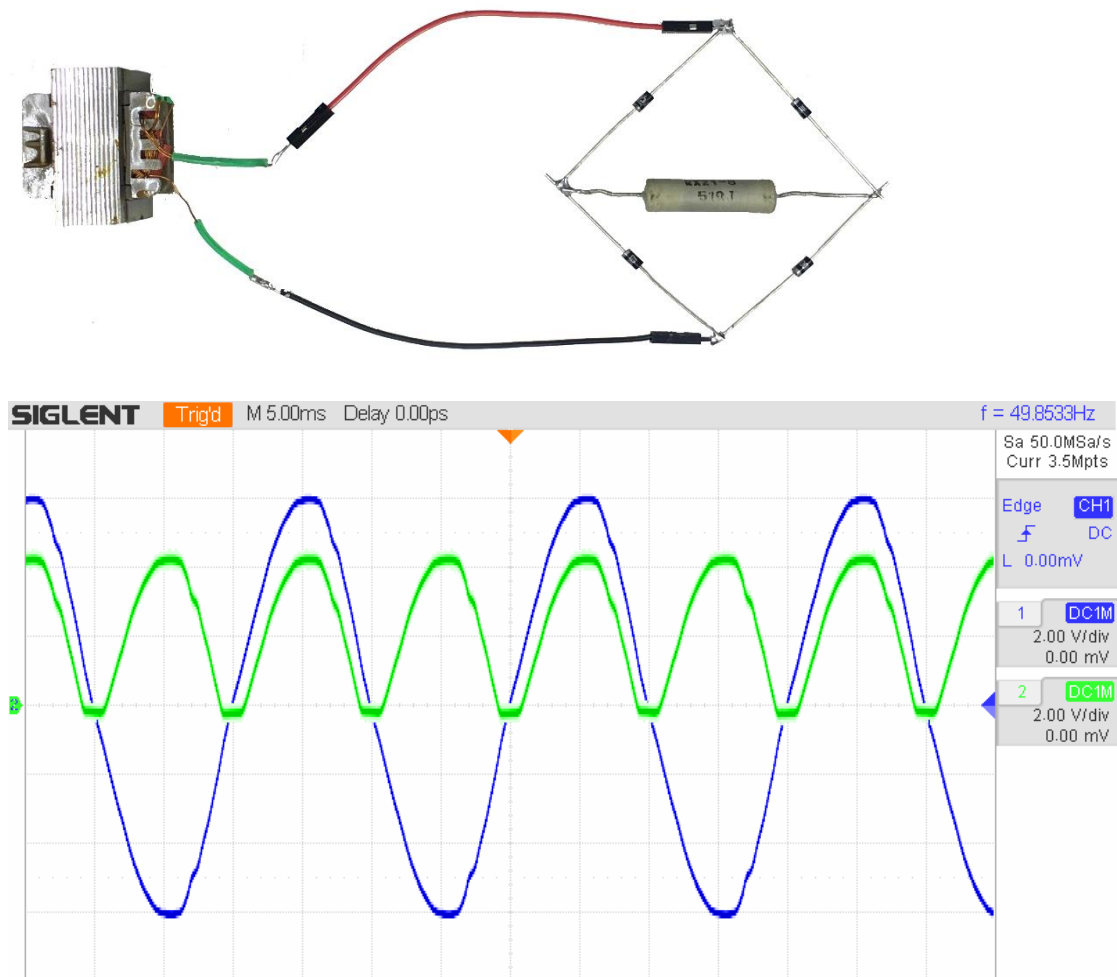


可以看到，正半周时，负载电阻上的电压是左负右正。负半周情况下的电流路径如下图所示：



可以看到，在负半周情况下，负载电阻上的电压仍然是左负右正。
因此无论交流电是正半周还是负半周，负载电阻上的电压都是左负右正。
下面是老师自己用二极管搭了一个桥式整流电路：

现在使用示波器观察整流前后的电压波形，如下图所示：



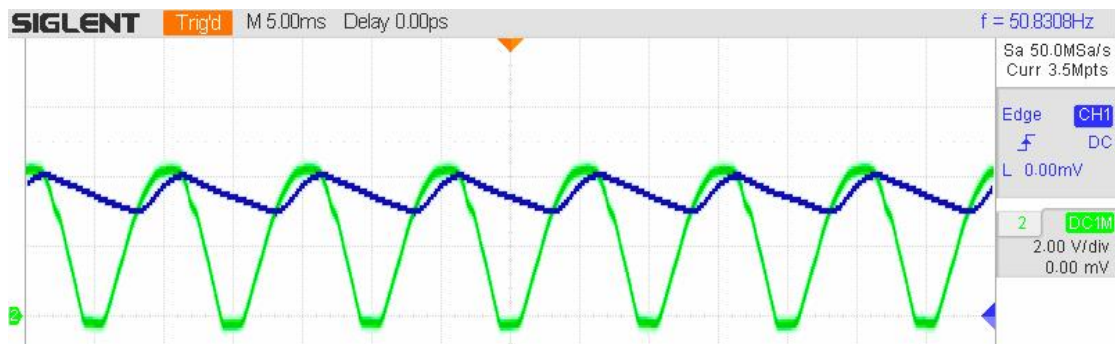
为了与半波整流的波形作对比，同样用 PS 合成一下，如下图所示，粉红色为半波整流波形，绿色为桥式整流波形：



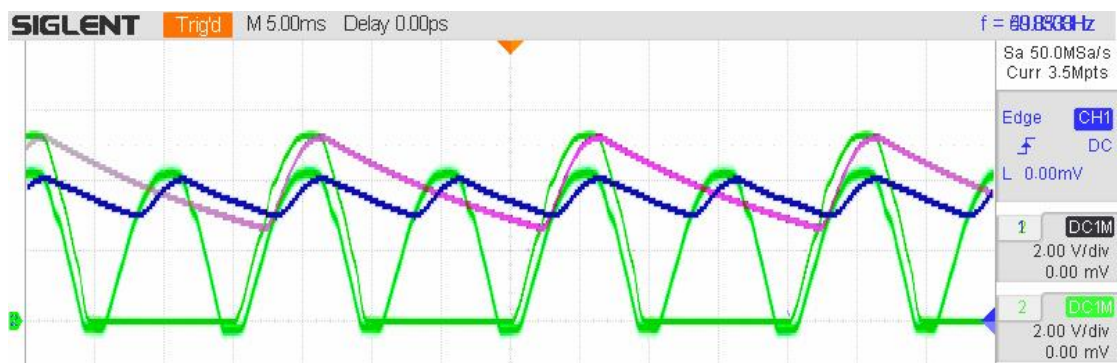
可以明显的看到，桥式整流电路在交流电为负半周时，负载上也有电压，交流电的负半周也得到了利用。

从上图也可以看出，桥式整流得到的直流电压仍然是脉动的，其峰值比交流电的峰值降低了接近一大格，即 2V 左右，比半波整流降的一倍还要多，这是因为在桥式整流电路中，交流电的电压要经过两个二极管才能到达负载上，因此负载电压比交流电压的峰值电压要低两个二极管的正向导通压降。

桥式整流电路输出的电压仍然脉动幅度非常大，同样也要加滤波电容。在上面的负载电阻并上同样的 35V/470uF 电解电容进行滤波，得到的波形如下图所示：



为了更加明显将桥式整流与半波整流的效果做对比，我们将两种整流电路滤波前后的波形合成到一起，如下图所示：



可以看到，经过桥式整流滤波后的输出电压脉动幅度大幅降低，由半波整流的接近 2V，降到了 1V 左右。

但是这 1V 的电压脉动仍然是不可接受的。这种直流电压的电压脉动，我们称之为“纹波”，可以认为是叠加在直流电压中的交流分量。一般的单片机电路，要求工作电压是 3.3V，纹波电压不超过 0.1V。要求高的模拟电路中，对直流电源的纹波要求甚至低于 100uV。为了得到近乎完美的低纹波的直流电压，单独的整流电路+滤波电路还不够，必须还要在后面加上“稳压电路”。前面用稳压二极管搭的就是一种稳压电路，利用了稳压二极管本身的物理特性，使得输入电压变化时，输出电压保持稳定。但是那个电路的输出电流太小，不实用，一般都用专用的稳压芯片来搭建直流稳压电源，比如 7805、LM1117 等，它们能提供 500mA 以上的输出电流，纹波低于 20mV，是非常优秀的稳压芯片，大家以后做电子设计竞赛或者机器人比赛时会接触到。

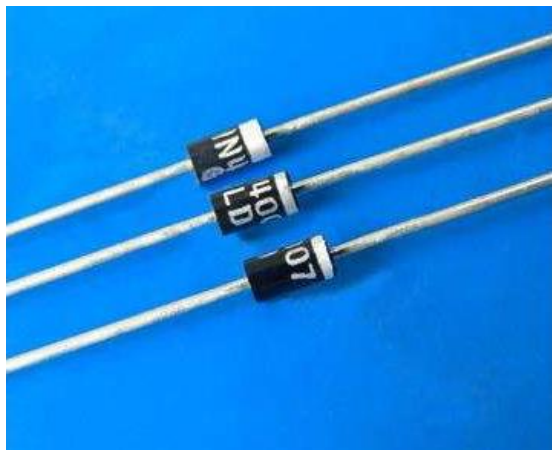
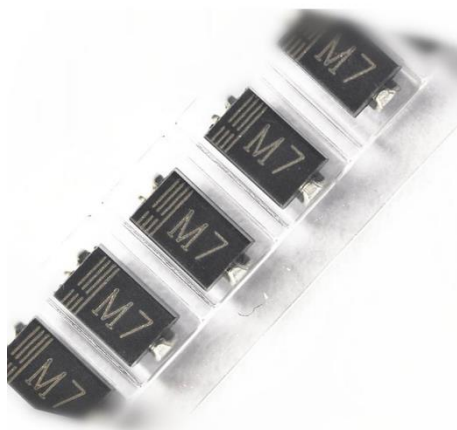
应用于整流电路的二极管称为“整流二极管”，常用的整流二极管是 1N400x 系列，它包含从 1N4001 到 1N4007 七个型号的二极管，它们的正向额定电流均为 1A，但是反向击穿电压不一样，具体如下表所示：

低于 50Hz

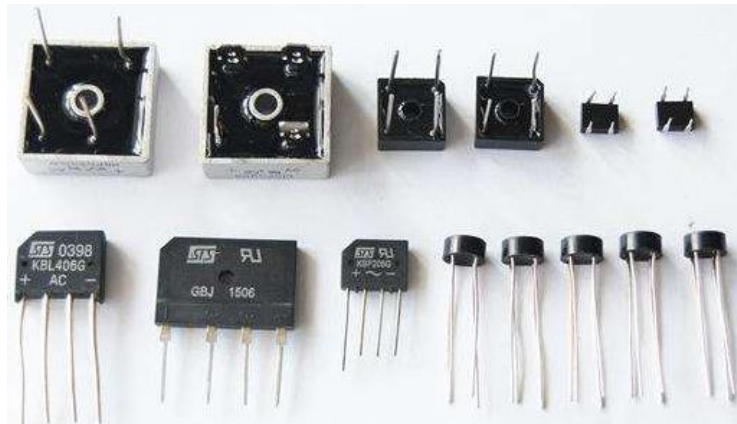
型号	反向击穿电压 V_{RRM} (V)
1N4001	50
1N4002	100
1N4003	200
1N4004	400
1N4005	600
1N4006	800
1N4007	1000

1kHz 的交流电
不能使用
↓
反向恢复时间

最常用的型号就是 1N4007，它有贴片和直插两种封装，外形如下图所示。



对于桥式整流电路，为了方便使用，市面上有一种元件将四个整流二极管集成在了一起，叫做“整流桥”，如下图所示：



整流桥有四个管脚，其中两个管脚接交流电输入，标为“AC”，另外两个管脚是整流后的直流电压输出，标有正负符号。

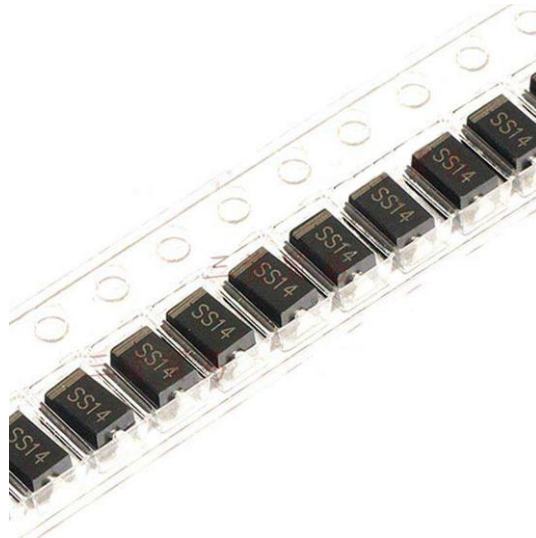
普通的整流二极管只应用于 50Hz 频率低频交流电的整流电路。如果要对高频交流电进行整流，比如 1KHz 频率以上的交流电，上面的 1N400x 系列二极管就不能用了。因为二极管还有另外一个参数，叫“反向恢复时间”。在整流电路中，随着交流电正负半周的变化，二极管反复在导通和截止两种状态下切换，理想情况下，导通与截止之间的转换干净利落毫不拖泥带水，但现实中的二极管却不是这样，当施加的电压由正向转为反向时，二极管不是立刻马上由导通转为截止，而是保持一段时间的“反向导通”（并非反向击穿），然后才由“反向导通”转为反向截止，这个时间就称为“反向恢复时间”。如果交流电的频率太快，超过了二极管的反向恢复时间，在二极管由反向导通转为截止之前，电压又变成正向的，那么二极管在电压的正负半周都处于导通状态，从而起不到整流作用了。上面的 1N4007 二极管的反向恢复时间就非常长，在它的数手册中都查不出来，因为太长，厂家不好意思标出来，因此它只能用于低频的 50Hz 工频交流电整流。如果要对高频交流电进行整流，市面上有专门的反向恢复时间非常短的二极管，比如快恢复二极管、开关二极管、检波二极管等。这里介绍两种二极管，一种是 1N4148，它的反向击穿电压是 100V，正向额定电流是 300mA，反向恢复时间是 4ns，这个非常快了，可以用于高速开关电路和高频电路。其外形如下图所示：



另一种常用的是“肖特基二极管”，它的反向恢复时间也非常短（ $10 \sim 40\text{ns}$ ）。肖特基二极管的材料与普通的硅二极管或者锗二极管不一样，其特点是正向导通压降比较低，反向恢复时间短，但是它的反向击穿电压比较低，一般不超过 100V。实验一中学习了如何用正向导通压降还判断肖特基二极管和硅二极管，还记得吗？

不记得

肖特基二极管常用的型号有 SS14（全称是 1N5819），它的正向额定电流为 1A，反向击穿电压为 40V，正向导通压降在 0.2~0.5V 之间，一般用于高频整流。大家以后如果参加全国大学生电子设计竞赛、全国机器人大赛或者智能车比赛时，会经常用到它，它的外形如下图所示：



大家在选用二极管时，需要根据用途来选择。用作稳压用途的，肯定要选“稳压二极管”了，需要几伏的稳定电压，就买几伏的稳压二极管（当然了，跟电阻电容一样，也是有标称值系列的，并不是能买到任意稳压值的稳压二极管）。其实理论上讲，任何二极管都可以用作稳压用途，比如 1N4007 的反向击穿电压为 1000V，那么就可以把它当作 1000V 的稳压管来使用，但是一般情况下没有需要 1000V 稳压源的场合。稳压管也可以作用整流用途，但是如果交流电的峰值电压是 12V，你却用 6V 的稳压管来搭建半波整流电路，其结果必然是稳压管会在交流电的负半周本应截止时被击穿，起不到整流效果。因此如果要搭建普通的工频整流电路（即对 50Hz 交流电进行整流），就应该选用整流二极管，而不应该选用稳压二极管。上次课中讲到的防反接电路、继电器线圈的续流电路，也都可以使用整流二极管 1N4007。如果来实现高频续流（比如 1KHz 以上），就需要使用专门的开关二极管或者肖特基二极管了，在续流电流不大的情况下，也可以使用 1N4148。

预习思考题：

1. 如果正弦波的峰值为 U_p ，那么其峰峰值、有效值为多少？填入下面的表格：

峰值 U_p	峰峰值 U_{pp}	有效值 U_{RMS}
U_p		

2. 如果~~正弦~~^方波的峰值为 U_p ，那么其峰峰值、有效值为多少？填入下面的表格：

峰值 U_p	峰峰值 U_{pp}	有效值 U_{RMS}
U_p		

3. （学完电路实验相量法的内容后，再来完成下题，现在还不用完成，但是最后的考试会考）下图的电路中，电感 $L=10\text{mH}$ ，信号源 u_i 是频率 $f=15\text{KHz}$ 、峰值电压 $U_p=2.5\text{V}$ 的正弦波，当 R 分别为 $1\text{K}\Omega$ 和 100Ω 时，求出下面的值：
- 电阻 R 上电压 u_R 的频率和峰值电压；
 - u_R 与输入信号 u_i 的相位差理论值。

