

上篇 模拟电子技术

项目一 限幅电路



教学目标

知识目标

- 了解半导体的基本知识
- 掌握二极管的特性及主要参数
- 掌握限幅电路的工作原理

技能目标

- 掌握 Multisim 仿真软件的使用方法
- 掌握电路的仿真分析方法
- 学会使用常用电子仪器
- 会用万用表判断二极管的极性和好坏

知识链接

- 链接一 半导体的基本知识
- 链接二 半导体二极管
- 链接三 Multisim 仿真软件简介

项目实训

- 任务一 常用电子仪器的使用
- 任务二 常用电子元器件的识别（一）
- 任务三 二极管限幅电路仿真分析



项目导入

通过限幅电路认识基本半导体器件。

日常生活中常许多指示或标识，都是用半导体器件来实现的，常用的半导体器件有二极管、三极管、场效应晶体管等。由于半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小和功率转换效率高等优点而得到广泛的应用。二极管是电子技术领域最基本的半导体器件之一。半导体二极管具有十分重要的单向导电特性：承受正向电压时导通，承受反向电压时截止。利用二极管的单向导电性，可以构成整流、限幅、箝位、开关、稳压等应用电路。项目一将通过二极管典型应用电路的学习，掌握常用半导体器件的性能特点。

限幅电路：能按限定的范围削平信号电压波幅的电路，又称限幅器或削波器。

限幅电路的基本功能：整形、波形变换和过压保护等。

- 整形：削去输出波形顶部或底部的干扰。
- 波形变换：将输出信号中的正脉冲（或负脉冲）削去，只留下其中的负脉冲（或正脉冲）；
- 过压保护：过强的输出信号或干扰信号有可能损坏某个部件时，可在这个部件前接入限幅电路。

限幅电路分类：按功能分为上限限幅电路、下限限幅电路和双向限幅电路三种。

在上限限幅电路中，当输入信号电压低于某一事先设计好的上限电压时，输出电压将随输入电压而增减；但当输入电压达到或超过上限电压时，输出电压将保持为一个固定值，不再随输入电压而变，这样，信号幅度即在输出端受到限制。同样，下限限幅电路在输入电压低于某一下限电平时产生限幅作用。双向限幅电路则在输入电压过高或过低的两个方向上均产生限幅作用。

图 1-1-1 (a) 为一个简单下限限幅仿真电路，当 $u_1 < E$ 时，二极管 D_1 承受反向电压而截止，此时没有电流流过 R_1 ，则 R_1 两端的电位相等，即 $u_o = u_1$ ，输出电压 u_o 的波形与 u_2 相同。

当 $u_1 > E$ 时，二极管 D_1 承受正向电压而导通，设二极管为理想元件，则输出电压 $u_o = E$ ，所以输出电压的波形中， E 以上的波形被削去，输出电压被限制在 E 以内，如图 1-1-1 (b) 所示。图 1-1-1 (b) 中示波器的 A、B 通道可以同时显示输入正弦波电压波形和上限幅输出电压波形。

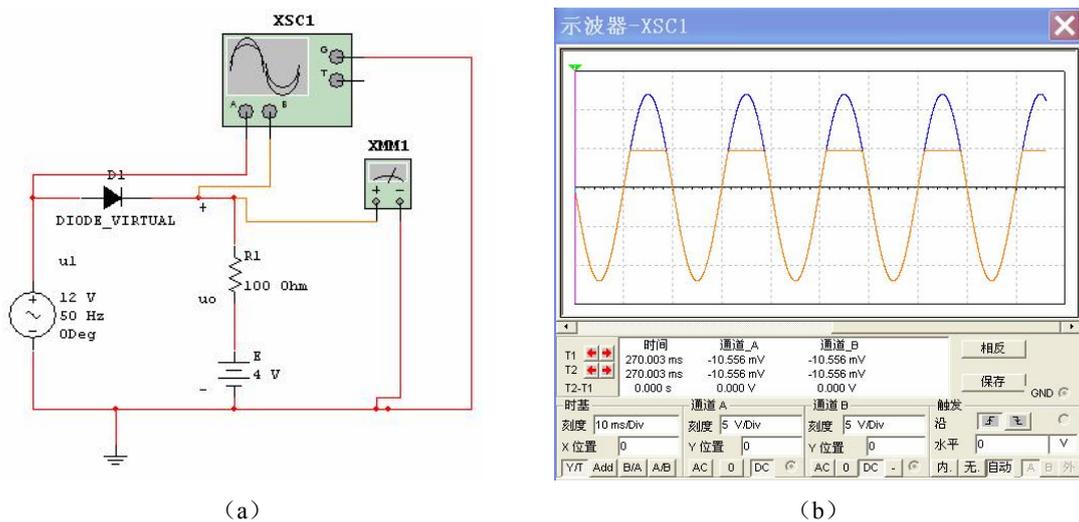


图 1-1-1 二极管限幅应用电路

知识链接

链接一 半导体的基本知识

半导体器件是用半导体材料制成的电子器件。半导体材料具有热敏性、光敏性和掺杂性，是构成各种电子电路最基本的元件，也是近代电子学的重要组成部分。

一、本征半导体

1. 半导体的结构特点

纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。有一些物体，如硅、硒、锗、镉、砷化镓以及很多矿石、化合物、硫化物等，它们的导电能力介于金属导体和绝缘体之间。常用的半导体材料是硅（Si）、锗（Ge）。

半导体的导电机理不同于其他物质，当半导体温度升高或受到光的照射，其导电性会得到明显的改善，温度越高，光照越强，导电性能就越好。在自动控制系统中常用的热敏电阻和其他热敏元件、光敏传感器、光电控制开关及部分火灾报警装置就是利用这些特性制成的。另外，在纯度很高的半导体中掺入微量的某种杂质元素（杂质原子均匀地分布在半导体原子之间），也会使其导电性显著地增加，掺杂的浓度越高，导电性也就越强。利用这一特性可以制造出各种晶体管和集成电路等半导体器件。

半导体构成共价键结构，原子最外层的 4 个价电子分别和周围 4 个硅原子的价电子形成共用电子对，原子之间通过共价键紧密结合在一起，如图 1-1-2 所示。

2. 半导体的导电特性

本征半导体中的共价键具有很强的结合力，常温时仅有极少数价电子由于热运动获得足够的能量，少数价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子（-），同时在共价键中留下一个空位，这个空位称为空穴（+）。失去价电子的原子成为正离子，就好像空穴带正电荷一样，在电子技术中，将空穴看成带正电荷的载流子，如图 1-1-3 所示。

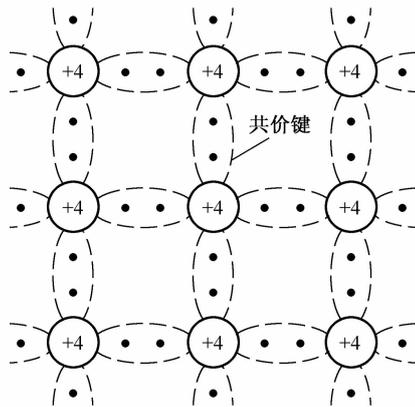


图 1-1-2 本征半导体的共价键结构

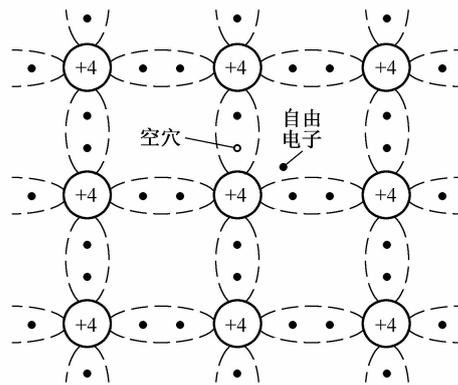


图 1-1-3 本征半导体的两种载流子

有了空穴，邻近共价键中的价电子很容易过来填补这个空穴，这样空穴便转移到邻近共价键中。新的空穴又会被邻近的价电子填补。带负电荷的价电子依次填补空穴的运动，从效果上看，相当于带正电荷的空穴作相反方向的运动。

由此可见，本征半导体中存在数量相等的电子和空穴两种载流子。热激发产生的自由电子和空穴是成对出现的，电子和空穴又可能重新结合而成对消失。在一定温度下自由电子和空穴维持一定的浓度。

二、杂质半导体

本征半导体中的载流子数量少，电阻率高，且对温度变化敏感，所以在纯净半导体材料

中掺入微量的某种杂质元素，其导电能力将大大增强，这种半导体也称为杂质半导体。杂质半导体可分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类。

1. N 型半导体

在纯净半导体硅或锗中掺入磷、砷等五价元素，使晶体中的某些原子被杂质原子代替，由于这类元素的原子最外层有五个价电子，故在构成的共价键结构中，由于存在多余的价电子而产生大量自由电子，这种半导体主要靠自由电子导电，称为电子半导体或 N 型半导体，如图 1-1-4 (a) 所示，其中自由电子的数量多称为多数载流子（简称多子），热激发形成的空穴数量少称为少数载流子（简称少子）。

2. P 型半导体

在纯净半导体硅或锗中掺入硼、铝等三价元素，由于这类元素的原子最外层只有三个价电子，故在构成的共价键结构中，由于缺少价电子而形成大量空穴，这类掺杂后的半导体其导电作用主要靠空穴运动，称为空穴半导体或 P 型半导体，如图 1-1-4 (b) 所示，其中空穴的数量多称为多数载流子（多子），热激发形成的自由电子数量少是少数载流子（少子）。掺入的杂质元素的浓度越高，多数载流子的数量越多。少数载流子是热激发而产生的，其数量的多少决定于温度。应注意，无论是 P 型半导体还是 N 型半导体都是中性的，对外不显电性。

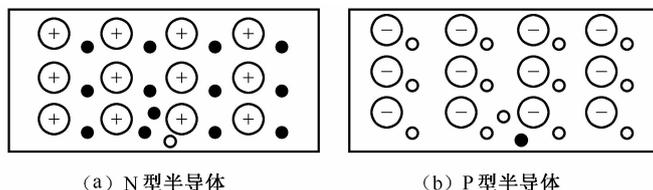


图 1-1-4 N 型和 P 型半导体的两种载流子

三、PN 结及其特性

1. PN 结的形成

在一块本征半导体的两侧通过扩散不同的杂质，分别形成 N 型半导体和 P 型半导体。此时，将在 N 型半导体和 P 型半导体的结合面上形成 PN 结。

(1) 扩散运动：交界面两侧的电子和空穴存在浓度差，载流子将会从浓度高的区域向浓度低的区域运动，这种运动称为扩散运动，形成一个很薄的空间电荷区，空间电荷区产生了一个由 N 区指向 P 区的内电场，如图 1-1-5 所示。

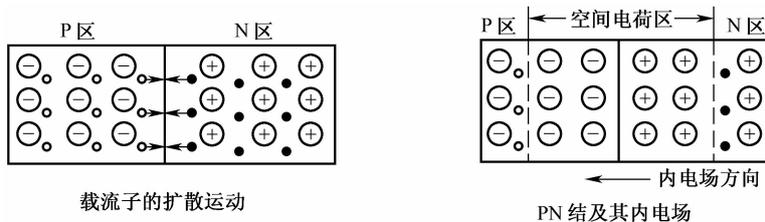


图 1-1-5 半导体两种载流子的运动及 PN 结的形成

(2) 漂移运动：少数载流子在电场作用下向对方漂移产生的定向运动。

(3) PN 结形成：随着内电场由弱到强地建立，少子漂移从无到有，逐渐加强，而扩散运动逐渐减弱，当两种运动达到动态平衡时，空间电荷区的厚度基本稳定，平衡时形成了 PN 结。

2. PN 结的单向导电性

(1) 外加正向电压（正向偏置）。

当外加电压使 PN 结的 P 区电位高于 N 区电位，称 PN 结外加正向电压（正向偏置），如图 1-1-6 所示，外电场与内电场方向相反，内电场削弱，扩散运动大大超过漂移运动，N 区电子不断扩散到 P 区，P 区空穴不断扩散到 N 区，形成较大的正向电流，这时称 PN 结处于导通状态。

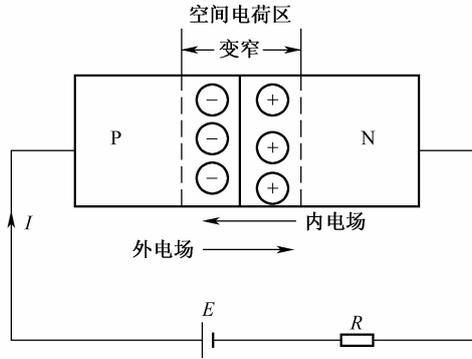


图 1-1-6 正向偏置

即：PN 结正偏后→内电势降低→有利多子扩散→载流子从电源获得补充→产生较大正向电流→PN 结导电，称 PN 结正偏导通，相当于开关闭合。

(2) 外加反向电压（反向偏置）。

当外加电压使 PN 结的 P 区电位低于 N 区电位，称 PN 结外加反向电压（也叫反向偏置），如图 1-1-7 所示，外加电场与内电场方向相同，增强了内电场，多子扩散难以进行，少子在电场作用下形成反向电流，因为是少子漂移运动产生的，反向电流很小，这时称 PN 结处于截止状态，相当于开关断开。

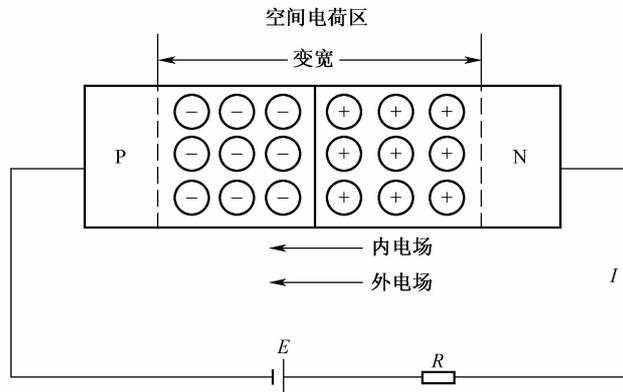


图 1-1-7 反向偏置

综上所述，PN 结正向偏置时，电阻很小几乎为零，正向电流较大，呈现导通状态；PN 结反向偏置时，反向电阻趋近于无穷大，反向电流很小，呈现截止状态。即：PN 结具有“正向导通、反向阻断”作用，这就是 PN 结的单向导电性。PN 结的单向导电性是构成半导体器件的基础。

链接二 半导体二极管

一、二极管的结构、符号和分类

1. 二极管的结构和符号

把PN结用管壳封装，然后在P区和N区分别向外引出一个电极，即可构成一个二极管，如图1-1-8(a)所示。二极管是电子技术中最基本的半导体器件之一。

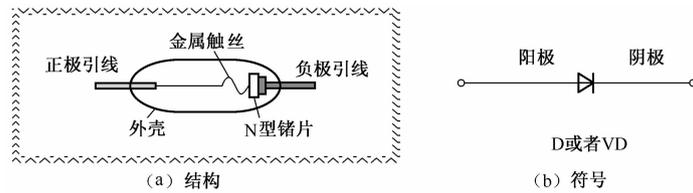


图 1-1-8 半导体二极管的结构和符号

2. 二极管的分类

根据其用途分有检波二极管、开关二极管、稳压二极管和整流二极管、发光二极管等。

半导体二极管按其结构不同可分为点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管PN结面积很小，结电容很小，多用于高频检波及脉冲数字电路中的开关元件。面接触型二极管PN结面积大，结电容也很小，多用在低频整流电路中。

按照功率划分：大功率二极管、中功率二极管和小功率二极管。

电子工程实际中，二极管应用非常广泛，图1-1-9所示为各类二极管的部分产品实物图。

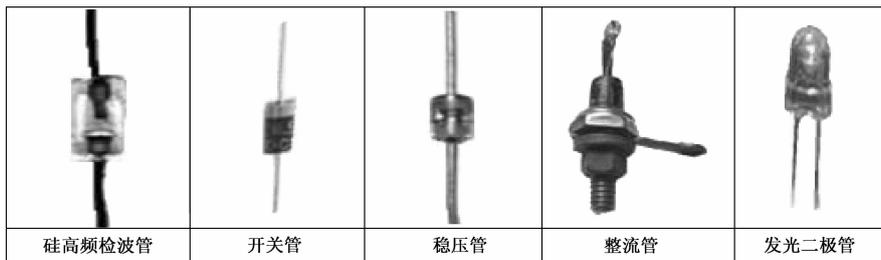


图 1-1-9 半导体二极管的分类

二、二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指二极管的端电压与流过管子的电流之间的关系，可以用伏安特性曲线来表示出，如图1-1-10所示。

1. 正向特性

外加正向电压较小时，外电场不足以克服内电场对多子扩散的阻力，PN结仍处于截止状态，这时称为正向特性的死区。死区电压又称为阈值电压，通常死区电压硅管约为0.5V，锗管约为0.2V。正向电压大于死区电压后，正向电流随着正向电压增大迅速增大，二极管呈现导通状态，二极管正向导通时的管压降一般为硅管0.6~0.7V，锗管0.2~0.3V。

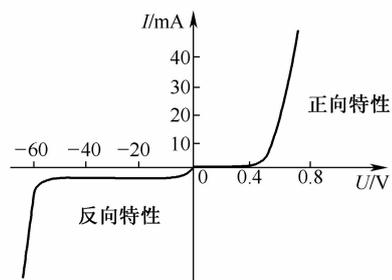


图 1-1-10 半导体二极管的伏安特性

2. 反向特性

反向截止区：外加反向电压时，PN 结处于截止状态，反向电流很小。

反向击穿区：反向电压大于某一个值（反向击穿电压）时，反向电流急剧增加。

通过上述分析可以看出：半导体二极管的伏安特性就是 PN 结的单向导电性的体现。正向时，PN 结呈现的电阻很小，几乎为零，因此多子构成的扩散电流极易通过 PN 结，正向导通；反向时，PN 结呈现的电阻趋近于无穷大，因此电流无法通过，反向阻断，但是当反向电压大于某一个值时，反向电流急剧增加，二极管反向击穿而导通。

理想二极管：正向电阻为零，正向导通时为短路特性，正向压降忽略不计；反向电阻为无穷大，反向截止时为开路特性，反向漏电流忽略不计。

3. 二极管的主要参数

- (1) 最大整流电流 I_{OM} ：指管子长期运行时，允许通过的最大正向平均电流。
- (2) 反向击穿电压 U_B ：指管子反向击穿时的电压值。
- (3) 最大反向工作电压 U_{DRM} ：二极管运行时允许承受的最大反向电压（约为 U_B 的一半）。
- (4) 最大反向电流 I_{RM} ：指管子未击穿时的反向电流，其值越小，其单向导电性越好。
- (5) 最高工作频率 f_M ：主要取决于 PN 结结电容的大小。

【例 1-1-1】试判断图 1-1-11 中二极管是导通还是截止？并求出 AO 两端电压 U_{AO} 。设 VD_1 、 VD_2 都是理想二极管。

解：

分析方法：

(1) 将 VD_1 、 VD_2 从电路中断开，分别求出 VD_1 、 VD_2 两端的电压。

(2) 根据二极管的单向导电性，二极管承受正向电压则导通，反之则截止。若两管都承受正向电压，则正向电压大的管子优先导通，然后再按以上方法分析其他管子的工作情况。

本题中 VD_1 两端电压为 12V， VD_2 两端电压为：12+4=16V，所以 VD_2 优先导通，此时 VD_1 管子两端电压为 -4V，所以 VD_1 管子截止。

故，AO 两端电压为： $U_{AO} = -4V$ 。

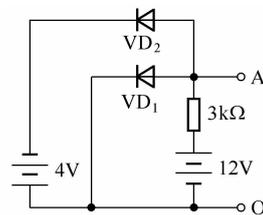


图 1-1-11 例 1-1-1 图

三、稳压二极管

1. 稳压二极管特点

如图 1-1-12 (a) 所示，稳压二极管的外形和一般小功率整流二极管相同，但它用特殊工艺制造的面接触型二极管，其反向击穿可逆。稳压管正常工作于反向击穿区，其稳定电压就是反向击穿电压，稳压管的稳压作用在于：电流变化量很大，只引起很小的电压变化，其符号如图 1-1-12 (b) 所示。



(a) 实物图



(b) 符号

图 1-1-12 稳压管实物和符号

2. 稳压管的伏安特性

稳压管的伏安特性曲线如图 1-1-13 所示。稳压管正向特性与普通二极管相似，显然稳压管的伏安特性曲线比普通二极管的更加陡峭，稳压二极管的反向电压几乎不随反向电流的变化而变化，这就是稳压二极管的显著特性。分析二极管的反向击穿特性可知：当外加反向电压超过击穿电压时，通过二极管的电流会急剧增加。击穿并不意味着管子一定要损坏，如果我们采取适当的措施限制通过管子的电流，就能保证管子不因过热而烧坏。如稳压管稳压电路中一般都要加限流电阻 R ，使稳压管电流工作在 $I_{Z\max}$ 和 $I_{Z\min}$ 的范围内。在反向击穿状态下，让通过管子的电流在一定范围内变化，这时管子两端电压变化很小，稳压二极管就是利用这一点达到“稳压”效果的。稳压管正常工作是在反向击穿区。

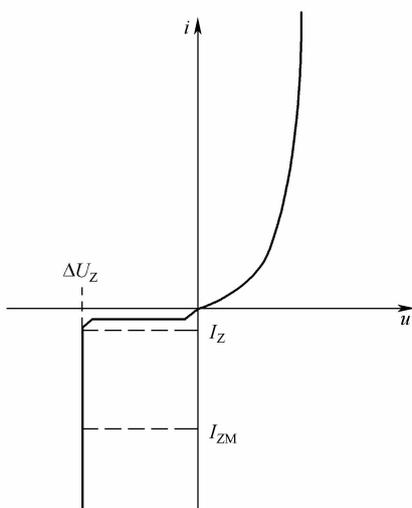


图 1-1-13 稳压管的伏安特性曲线

3. 稳压管的主要参数

在使用中，稳压管的参数是合理选择和正确使用稳压管的依据。稳压管的主要参数有：

稳定电压 U_Z ：反向击穿后稳定工作的电压。

稳定电流 I_Z ：工作电压等于稳定电压时的电流。

动态电阻 r_Z ：稳定工作范围内，管子两端电压的变化量与相应电流的变化量之比，即

$$r_Z = \Delta U_Z / \Delta I_Z \quad (1-1-1)$$

额定功率 P_Z 和最大稳定电流 I_{ZM} ：额定功率 P_Z 是在稳压管允许结温下的最大功率损耗。最大稳定电流 I_{ZM} 是指稳压管允许通过的最大电流。它们之间的关系是：

$$P_Z = U_Z I_{ZM} \quad (1-1-2)$$

由稳压管构成的稳压电路将在本篇的项目五中学习。

链接三 Multisim 仿真软件简介

Multisim 是 Interactive Image Technologies (Electronics Workbench) 公司推出的以 Windows 为基础的仿真工具。目前在各高校教学中普遍使用 Multisim 10.0。软件以图形界面为主，采用菜单、工具栏和热键相结合的方式，具有一般 Windows 应用软件的界面风格，用户可以根据自己的习惯和熟悉程度自如使用。它包含了电子电路原理图的图形输入、电路硬件描述语言输

入方式，具有丰富的仿真分析能力。可以使用 Multisim 交互式地搭建电子电路原理图，并对电路进行仿真分析。

一、Multisim 主界面

启动 Multisim 后，将出现主界面。主界面由多个区域构成：菜单栏、各种工具栏、电路输入窗口、状态条、列表框等。通过对各部分的操作可以实现电路图的输入、编辑，并需要对电路进行相应的观测和分析。还可以通过菜单或工具栏改变主窗口的视图内容，通过菜单可以对 Multisim 的所有功能进行操作。

二、Multisim 主要特点

- 仿真的手段切合实际，选用的元器件和测量仪器与实际情况非常接近；并且界面可视、直观。
- 绘制电路图所需的元器件、仪器、仪表以图标形式出现，选取方便，并可扩充元件库。
- 可以对电路中的元器件设置故障，如开路、短路和不同程度的漏电等，针对不同故障观察电路的各种状态，从而加深对电路原理的理解。
- 在进行仿真的同时，它还可以存储测试点的所有数据、测试仪器的的工作状态、显示波形和具体数据，列出所有被仿真电路的元器件清单等。
- 有多种输入输出接口，与 SPICE 软件兼容，可相互转换。Multisim 产生的电路文件还可以直接输出至常见的 Protel、Tango、Orcad 等印制电路板排版软件。

三、Multisim 界面和菜单

Multisim 窗口主要由菜单栏、工具栏、缩放栏、设计栏、仿真栏、工程栏、元件栏、仪器栏、电路图编辑窗口等部分组成，如图 1-1-14 所示。

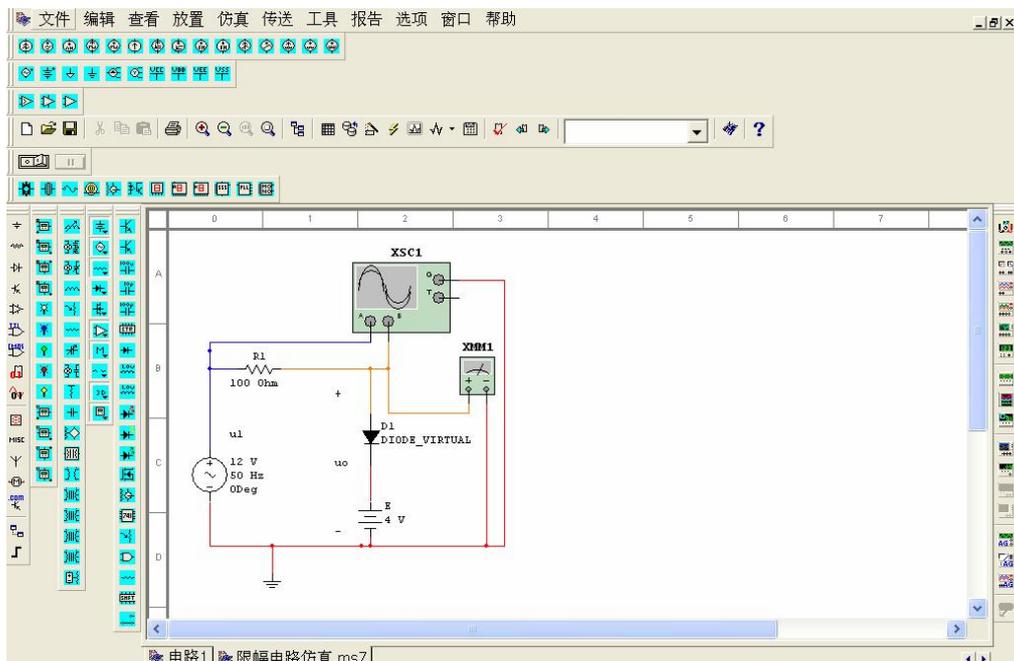


图 1-1-14 Multisim 界面和菜单

四、Multisim 设计工具栏

-  器件按钮：缺省显示，当选择该按钮时，器件选择器显示。
-  器件编辑器按钮：用以调整或增加器件，Tools 的快捷方式。
-  仪表按钮：用以给电路添加仪表或观察仿真结果。
-  仿真按钮：用以开始、暂停或结束仿真。
-  分析按钮：用以选择要进行的分析。
-  后分析器按钮：用以进行对仿真结果的进一步操作。
-  VHDL/Verilog 按钮：用以使用 VHDL 模型进行设计。
-  报告按钮：用以打印有关电路的报告。
-  传输按钮：用以与其他程序通讯，比如与 Ultiboard 通讯；也可以将仿真结果输出至 MathCAD 和 Excel 等应用程序。

五、Multisim 仪器仪表工具栏和元件工具栏

1. 仪器仪表工具栏

Multisim 仪器仪表库从左到右分别是：数字万用表、函数发生器、示波器、波特图仪、信号发生器、逻辑分析仪、瓦特表、逻辑转换仪、失真分析仪、网络分析仪、频谱分析仪。

注：电压表和电流表在指示器件库，而不是仪器库中选择。

2. 元件工具栏

电源库 (Sources)、基本元件库 (Basic)、二极管库 (Diodes Components)、晶体管库 (Transistors Components)、模拟元件库 (Analog Components)、TTL 元件库 (TTL)、CMOS 元件库 (CMOS)、其他数字元件库 (Misc Digital Components)、混合芯片库 (Mixed Components)、指示器件库 (Indicators Components)、其他器件库 (Misc Components)、控制器件库 (Control Components)、射频器件库 (RF Components)、机电类器件库 (Electro-Mechanical Components)。

项目实训

任务一 常用电子仪器的使用

一、实训目的

- (1) 了解电子行业常用仪器仪表的用途及技术参数。
- (2) 熟悉各种仪器仪表的操作使用方法。

二、实训原理

1. 示波器

示波器是一种用途广泛的电子测量仪器，它可直观地显示随时间变化的电信号图形。如电压（或转换成电压的电流）波形，并可测量电压的幅度、频率、相位等。示波器的特点是直观，灵敏度高，对被测电路的工作状态影响小。因此被广泛地应用于无线电测量领域中。

示波器主要有两种工作方式： $y-t$ 工作方式（又称连续工作方式）和 $x-y$ 工作方式（又称水平工作方式）。

(1) $y-t$ 工作方式下, 示波器屏幕构成一个 $y-t$ 坐标平面, 能够显示时间函数 $y = f(t)$ 的波形, 例如电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 的波形。

(2) $x-y$ 工作方式下, 示波器屏幕构成一个 $x-y$ 坐标平面, 屏幕上显示的图形具有函数关系 $y = f(x)$, 该工作方式可测定元件特性曲线, 同频率正弦量的相位差以及二维状态向量的状态轨迹等。

2. 函数信号发生器

函数信号发生器是常用的电子仪器, 用来产生各种波形 (正弦波、方波、锯齿波、三角波等)。函数信号发生器的频率和输出幅度, 一般可以通过开关和旋钮加以调节。

3. 晶体管毫伏表

晶体管毫伏表是一种常用的电子测量仪器。主要用来测量正弦交流电压的有效值。正弦电压有效值和峰值的关系是

$$U_{\text{峰值}} = \sqrt{2}U_{\text{有效值}}$$

当测量非正弦交流电压时, 晶体管毫伏表读数没有直接的意义。晶体管毫伏表不能用来测量直流电压。

三、检测实验电路各仪器间的关系

实验仪器与被测实验电路的连接如图 1-1-15 所示。

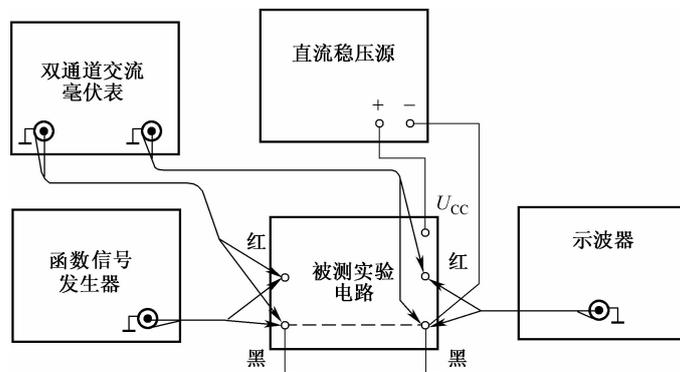


图 1-1-15 实验仪器与被测实验电路的连接图

重点: 讲述示波器的使用方法及技巧。

最终目的: 展示瞬时波形图。

四、实训内容

1. 函数信号发生器和晶体管毫伏表的使用

(1) 熟悉两种仪器面板各旋钮的用途。

(2) 用晶体管毫伏表测量信号发生器输出的正弦电压。

在测量前, 晶体管毫伏表量程应选择最大量程, 以避免表头过载而打弯指针。测量时, 根据所测信号大小选择合适的量程。为了减小误差, 要求晶体管毫伏表指针位于满刻度的 $1/3$ 以上。当晶体管毫伏表接入被测信号电压时, 一般应先接地线, 再接信号线。

信号发生器“波形输出选择”选择正弦信号, “频率范围选择”选择 1kHz , 其他旋钮处于常规状态, 调节“频率调整”旋钮, 使“计频器”显示频率为 1kHz 。调节“信号输出”旋钮,

使晶体管毫伏表测量的输出电压有效值为 1V。

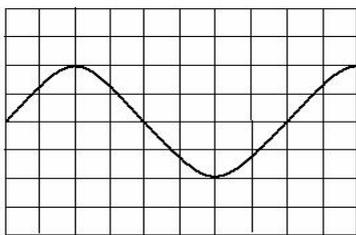
(3) 记下这时信号发生器输出电压的频率和有效值的大小。

2. 示波器的使用

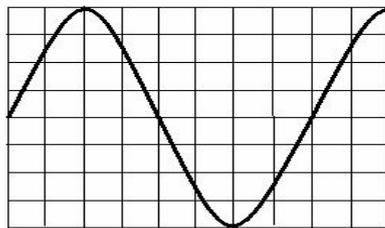
(1) 用示波器观察正弦波电压。

灵敏度调节旋钮 VOLTS/DIV (电压/格) 可用于电压的测量, 如图 1-1-16 (a) 所示, 正弦波电压峰—峰值在纵轴方向占 4 格, 若这时灵敏度为“0.2V/格”, 则其峰—峰值 $U_{p-p}=0.2 \times 4V=0.8V$ 、峰值 $U_m=U_{p-p}/2=0.4V$ 。

灵敏度调节旋钮也可用于调整图像的显示幅度, 上例中如将灵敏度改调为“0.1V/格”, 则屏幕显示如图 1-1-16 (b) 所示, 正弦波电压峰—峰值在纵轴方向占 8 格, 则其峰—峰值 $U_{p-p}=0.1 \times 8V=0.8V$ 、峰值 $U_m=U_{p-p}/2=0.4V$ 。可见调节灵敏度旋钮, 可改变图像在屏上的显示幅度, 但不能改变待观察信号电压的大小。为便于观察和读数, 一般使信号在屏上显示的幅度为屏幕高度的 1/2 左右为好。



(a) 灵敏度为 0.2V/格



(b) 灵敏度为 0.1V/格

图 1-1-16 用示波器观察正弦波电压

(2) 熟悉示波器主要旋钮的作用。

示波器“触发方式选择”开关打在“**AUTO**”, 即自动扫描方式。接通电源预热后, 分别调节“**INTENSITY**”辉线亮度旋钮、“**FOCUS**”聚焦调整旋钮、“**POSITION**”垂直位移和水平位移等旋钮, 使示波器荧光屏上显示出一条亮度适中、均匀光滑而纤细的扫描线。

将信号发生器输出电压调至最小, 并接至示波器输入端, 调节信号发生器的电压输出旋钮, 使示波器的荧光屏上显示出峰—峰值为 6V (高度为 6 格) 的信号波形。分别调节示波器的垂直系统和水平扫描系统的各旋钮, 体会这些旋钮的作用以及对输入信号波形的形状和稳定性的影响。分别改变信号的幅值和频率, 重复调节并加以体会。

把输入探头衰减开关打在“**×10**”处, 观察示波器荧光屏上信号的变化。

(3) 测量信号电压。

将示波器“可变衰减”旋钮调到“校准”位置 (即顺时针旋到底), 此时垂直电压灵敏度选择开关“**V/DIV**”所在挡位的刻度值, 表示屏幕上纵向每格的伏特数。这样就能根据屏幕上波形高度所占的格数, 读出电压的大小。为了保证测量精度, 在屏幕上应显示足够高度的波形, 灵敏度选择开关也应置于合适的挡位。

调节信号发生器使其分别输出频率为 1kHz, 电压峰值为 2V、0.1V 的正弦信号, 分别用示波器和毫伏表测量其输出电压峰值和有效值, 将测量结果记录于表 1-1-1 中。

(4) 测量信号周期。

将示波器“扫描速度”可变旋钮旋至“校准”位置 (顺时针旋到底), 此时扫描速度选择开关“**T/DIV**”所置挡位的刻度表示屏幕上水平轴每格的时间值。根据屏幕上所显示波形在水

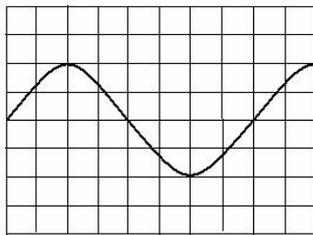
平轴上所占格数可读出信号周期。为了保证测量精度，通常要求一个周期在水平方向上应占足够的格数，也就是应将“扫描速度选择”开关置于合适挡位。

表 1-1-1 测量结果

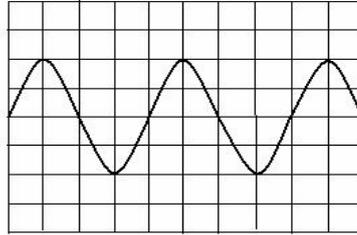
电压有效值 U (V)	电压峰值 U_M (V)	示波器 V/DIV 所在挡位	峰-峰波形高度 (格)	峰-峰电压 U_{P-P} (V)

若将 T/DIV 旋钮旋至“10ms”位置，即图像的横轴方向每格代表 10ms，用于时间的测量，可直接测量信号的周期。如图 1-1-17 (a) 所示，1 个周期的正弦波在水平方向上占 8 格，若这时扫描速度为 $50\mu\text{s}/\text{格}$ ，则其周期 $T=8\times 50\mu\text{s}=400\mu\text{s}$ ；频率 $f=1/(400\times 10^{-6})=2500\text{Hz}$ 。

若将扫描速度调整为 $0.1\text{ms}/\text{格}$ ，则屏幕显示如图 1-1-17 (b) 所示，1 个周期的正弦波在水平方向上占 4 格，其周期 $T=40\times 0.1\text{ms}=400\mu\text{s}$ ；频率 $f=1/(400\times 10^{-6})=2500\text{Hz}$ 。



(a) 扫描速度 $50\mu\text{s}/\text{格}$



(b) 扫描速度为 $0.1\text{ms}/\text{格}$

图 1-1-17 用示波器观察信号周期

调节信号发生器使其输出峰值为 5V 的正弦信号，改变信号频率，测量信号的周期，将测量结果记入表 1-1-2 中。

表 1-1-2 测量结果

信号频率 (Hz)	50	100	1k	5k	25k	100k
T/DIV 所置刻度值						
一周期所占水平格数						
信号周期 $T(\text{ms})$						

五、实训报告

回答思考题：

(1) 当用示波器观察波形时，为达到下列要求，应该调节哪些旋钮？填表 1-1-3。

表 1-1-3 测量结果

波形要求	调节旋钮	波形要求	调节旋钮
波形清晰		改变波形周期	
亮度适中		改变波形幅度	
移动波形		稳定波形	

(2) 用示波器观察波形时, 如果屏幕上显示出图 1-1-18 所示的不正常波形, 是由什么原因引起的? 应调节哪些旋钮使波形正常?

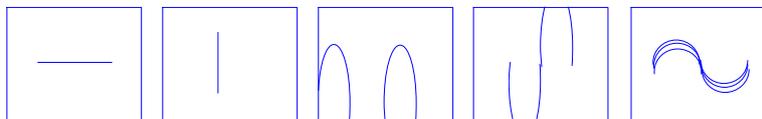


图 1-1-18 示波器屏幕显示的不正常波形

(3) 开机后, 示波器的屏幕上有一水平亮线, 当接入信号后, 屏幕无反应, 应检查哪部分? 或调节哪个旋钮? 若要使信号发生器的输出电压有效值为 20mV , 应如何调节? 这时的电压峰值等于多少?

任务二 常用电子元器件的识别 (一)

一、实训目的

- (1) 了解常用电子元器件的性能特点、命名方法。
- (2) 掌握常用电子元器件的识别方法。
- (3) 掌握万用表的使用方法。
- (4) 学会用万用表检测常用元器件: 电阻元件和二极管元件。

二、设备和器件

半导体元件、阻容元件一套; 万用表一块; 电工工具一套。

三、实训内容及要求

用万用表检测常用元器件: 电阻元件和二极管元件。

晶体二极管具有单向导电的特性, 其反向电阻远大于正向电阻。利用万用表电阻量程 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡, 可判定其正负极, 如图 1-1-19 所示, 两表笔分别接二极管的两个电极, 测出一个结果后, 对调两表笔, 再测出一个结果。两次测量的结果中, 有一次测量出的阻值较大 (为反向电阻), 一次测量出的阻值较小 (为正向电阻)。在阻值较小的一次测量中, 黑表笔接的是二极管的正极, 红表笔接的是二极管的负极。

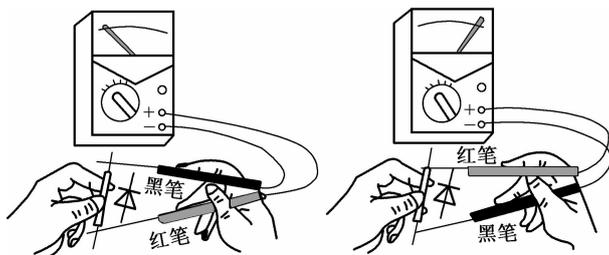


图 1-1-19 万用表检测二极管

若测出的正、反向电阻值都很小或为零, 则说明管子已被击穿, 两电极已短路; 若测出的正、反向电阻都很大, 则说明管子内部已断路。这两种情况二极管都不能再使用。

用万用表检测常用元器件后填于表 1-1-4 和表 1-1-5 中。

表 1-1-4 电阻阻值的识别与检测

序列号	电阻标注色环颜色 (按色环顺序)	标称阻值及误差 (由色环写出)	测量阻值 (万用表)
1			
2			
3			
4			

表 1-1-5 二极管极性与性能判断

序列号	型号标注	万用表挡位	正向电阻	反向电阻	质量判别 (优/劣)
1					
2					
3					

任务三 二极管限幅电路仿真分析

下面以图 1-1-1 (a) 所示的二极管限幅应用电路为例, 说明如何使用 Multisim 仿真软件来创建电路、连接仪表、运行仿真和保存电路文件等, 为后续使用 Multisim 仿真软件创建和仿真运行更复杂的电子线路打下良好的基础。

一、创建电路文件

启动 Multisim, 打开 Multisim 10 设计环境, 弹出一个新的电路图编辑窗口。

选择“文件”→“新建原理图”命令, 软件会自动创建一个默认标题为“Circuit1”新电路文件, 如图 1-1-20 所示, 单击“保存”按钮, 可将该文件命名并保存到指定文件夹下, 在保存时重新命名为“二极管限幅应用电路”。

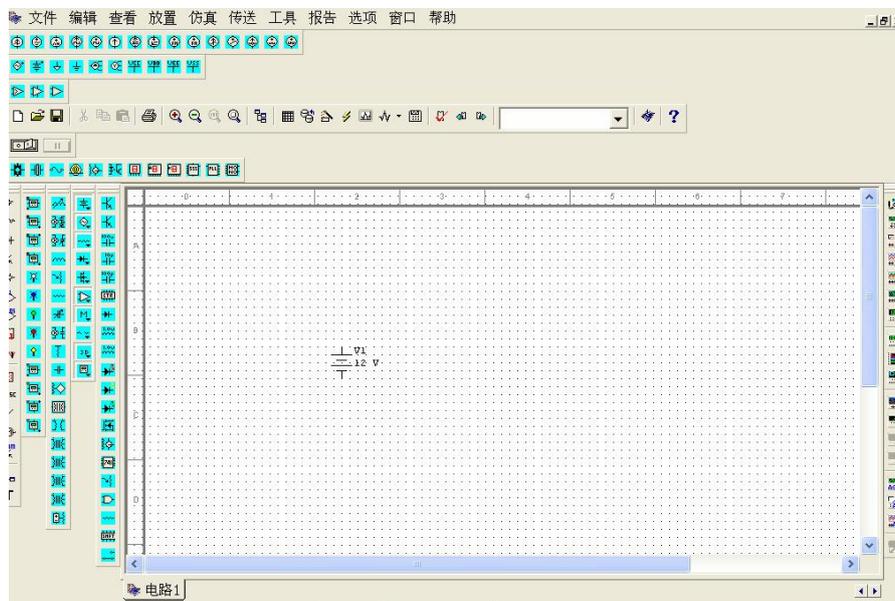


图 1-1-20 新建电路文件

二、搭建二极管限幅应用电路

在绘制电路图之前，需要先熟悉元件栏和仪器栏的内容，看看 Multisim 10 都提供了哪些电路元件和仪器。

1. 放置 4V 的直流电压源

单击元件栏的“放置信号源”选项，会出现如图 1-1-21 所示的界面。

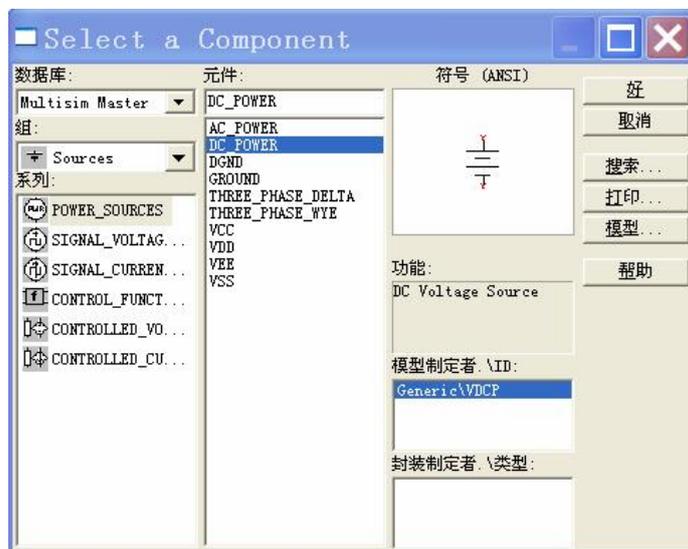


图 1-1-21 放置直流电源

具体操作方法和步骤如下：

- (1) 在“数据库”下拉列表框中选择“主数据库”项。
- (2) 在“组”下拉列表框中选择 Sources 项。
- (3) 在“系列”列表框中选择 POWER_SOURCES 项。
- (4) 在“元件”列表框中选择 DC_POWER 项。

右侧的“符号”“功能”等区域会根据所选项目，列出相应的说明。

选择好电源符号后，单击“确定”按钮，移动鼠标到电路编辑窗口，选择放置位置后，单击即可将电源符号放置于电路编辑窗口中。放置完成后，还会弹出“选择元件”对话框，可以继续放置，单击“关闭”按钮可以取消放置。

我们看到，放置的电源符号显示的是 12V。我们的需要是 4V，如何来修改呢？双击该电源符号，出现如图 1-1-22 所示的属性设置对话框，在该对话框里，可以更改该元件的属性。在这里，我们将电压改为 4V。还可以更改元件的引脚序号等属性。

2. 放置交流电压源

单击元件栏的“放置信号源”选项，具体的操作方法和步骤同直流电压源的放置方法。单击 Sources 电源库中的图标，在“元件”列表框中选择 AC_POWER 项，单击“确定”按钮，设置交流信号源的参数为 12V/50Hz/0Deg。设置完成后，该交流信号源将跟随光标出现在电路窗口，将其放到适当位置上。

双击该信号源图标，弹出属性设置对话框，如图 1-1-23 所示。在参数选项卡中将 Voltage 的值修改为 12V，这是正弦波峰值。



图 1-1-22 直流电源的参数设置



图 1-1-23 交流电源的参数设置

3. 放置电阻

单击“放置基础元件”，弹出如图 1-1-24 所示的对话框，操作方法和步骤如下：

- (1) 在“数据库”下拉列表框中选择“主数据库”选项。
- (2) 在“组”下拉列表框中选择 Basic 项。
- (3) 在“系列”列表框中选择 RESISTOR 项。
- (4) 在“元件”列表框中选择“100”（元件栏中有 1.0Ω~22MΩ 全系列电阻可供调用）。

右侧的“符号”“功能”等区域会根据所选项目，列出相应的说明。

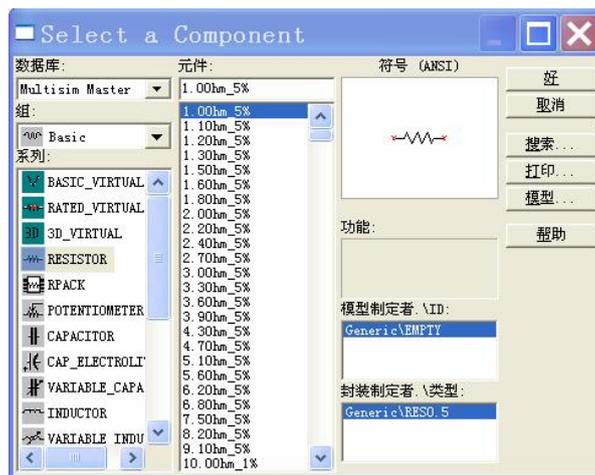


图 1-1-24 放置电阻

4. 放置二极管

方法步骤同放置电阻。用鼠标单击二极管库按钮，即可打开该器件库，显现出包含的所有二极管，如图 1-1-25 所示。选择合适的型号，单击“确定”按钮。

5. 放置接地端

接地端是电路的公共参考点，其电位为 0V。一个电路可以有多个接地端，但它们的电位都是 0V，实际上属于同一点。

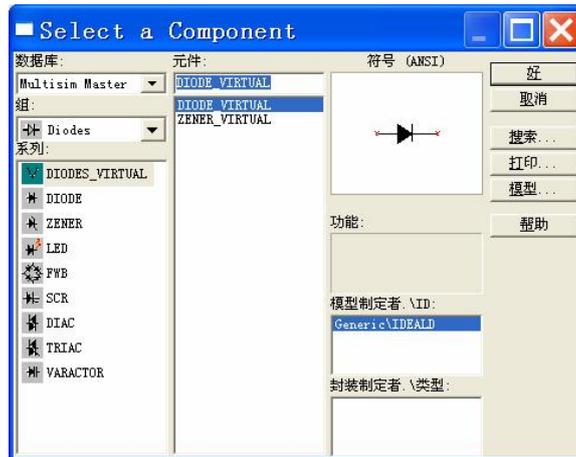


图 1-1-25 放置二极管

按照前面的方法,单击 Sources 器件库中的 POWER-SOURCES,选择 DGND 或 GROUND 接地,然后再将其拖到电路窗口的合适位置即可。

6. 放置电压表和示波器

单击“仪器库”按钮,弹出仪器工具条,找到电压表和示波器图标并单击,仪器图标会跟随光标出现在电路窗口,移动光标在合适位置单击,然后将其与电路连接。

电压表并联接在二极管两端,可以读取其输出电压的平均值。示波器的 B 通道接在输入信号源端,示波器的 A 通道接在电路的输出端,示波器的接地端直接接地,通过观察波形,了解二极管的单向导电性。

7. 连线

Multisim 软件具有非常方便的连线功能,用鼠标单击连线的起点和终点,就会自动连接起来。当然也可以在起点处单击,到达连线的拐点处再单击一下,继续移动光标到下个拐点处再单击一下,接着移动光标到要连接的元器件管脚处再单击一下,一条连线就完成了。最后连接完成的仿真电路如图 1-1-26 所示。

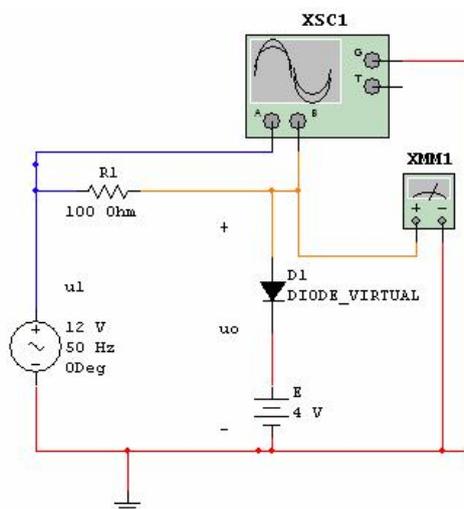


图 1-1-26 二极管限幅应用电路

三、仿真分析

1. 仿真运行

电路图绘制完毕，检查无误后，就可以进行仿真了。单击仿真栏中的绿色“开始”按钮 Simulate/Run，电路进入仿真状态，软件自动开始运行仿真。

万用表并联接在二极管两端，可以读取其输出电压的平均值，双击万用表符号，即可显示输出电压的大小，如图 1-1-27 (a) 所示。示波器的 A 通道接在输入信号源端，B 通道接在电路的输出端。双击示波器，即可通过示波器观察波形，了解二极管的单向导电性，如图 1-1-27 (b) 所示。

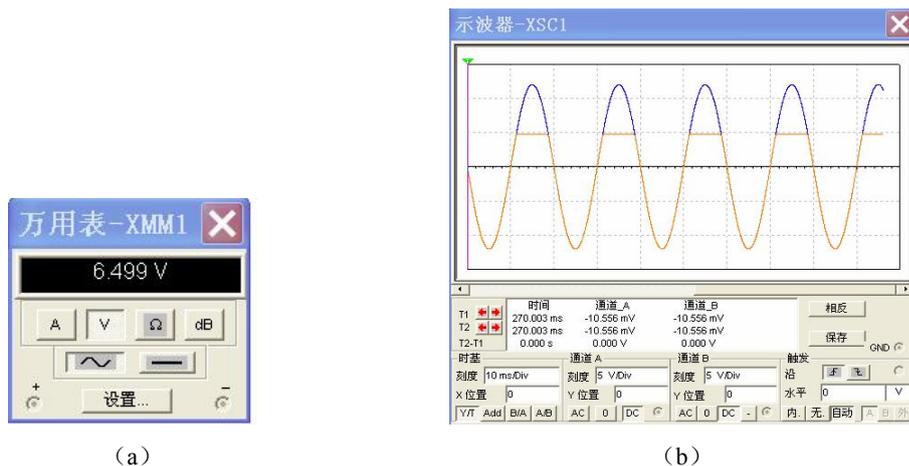


图 1-1-27 输出结果

2. 暂停和停止仿真

用鼠标再次单击  图标，可停止仿真。也可以单击  图标或 Simulate/Pause 命令暂停仿真。再次单击 Simulate/Run 命令，或  图标可停止仿真。

3. 说明

图 1-1-27 即为电路仿真运行时，示波器显示的输入输出电压波形和万用表的读数。

(1) 调整参数。

进行电路仿真运行时，常常需要进行参数调整，观察波形、记录仪表读数。

(2) 电路修改。

进行电路仿真运行时，有时还需要进行电路重新搭建，进一步观察波形、记录仪表读数。如限幅电路有上限限幅电路、下限限幅电路和双向限幅电路三种，可以通过重新搭建电路的仿真，了解不同限幅电路的特征和工作原理。

(3) 在电路图的绘制中，公共地线是必须的。一个电路中没有接地端，不能进行仿真分析。

(4) 如果元件摆放的位置不合适，可将鼠标放在元件上，按住鼠标左键，即可拖动元件到合适位置。

(5) 删除元器件的方法：单击元器件将其选中，然后按下 Delete 键，或执行 Edit→Delete 命令。

(6) 导线颜色的更改：右击该导线，弹出快捷菜单，执行 Color 命令即弹出“颜色”对话框，根据需要鼠标单击所需色块，并按下“确定”按钮即可。

(7) 导线的删除方法: 将鼠标移动到该导线的任意位置, 右击, 弹出快捷菜单, 选择“删除”即可将该导线删除。或者选中导线, 直接按 Delete 键将其删除。

(8) 元件的旋转方法: 将鼠标放在电阻 R_1 上, 右击, 弹出快捷菜单, 在其中可以选择让元件顺时针或者逆时针旋转 90° 。

四、保存电路文件

执行 File→Save 命令可保存电路文件。选择 File→Save As 命令, 将当前电路改名存盘, 在弹出的对话框中输入电路图的新文件名, 当然还可以选择新的路径, 再单击“确定”按钮即可。一个电路图修改后, 又不想冲掉原来的电路图时, 可执行 File→Save As 命令保存。



关键知识点小结

本项目介绍了半导体的基础知识, 阐述了半导体二极管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数, 项目一通过二极管整流、限幅等几个典型应用电路的仿真分析, 学习 Multisim 仿真软件的使用方法。

本征半导体中掺入不同的杂质就形成 N 型半导体和 P 型半导体, 控制掺入杂质的多少就可以有效地改变其导电性能, 从而实现导电性能的可控性。半导体中有两种载流子: 自由电子与空穴。正确理解 PN 结单向导电性、反向击穿特性、温度特性。

半导体二极管具有重要的单向导电特性: 承受正向电压时导通, 承受反向电压时截止。利用二极管的单向导电性, 可以构成整流、限幅、箝位、开关、稳压等应用电路。



知识与技能训练

1-1-1 填空。

(1) PN 结具有_____特性。当 P 极接电源_____, N 极接电源_____时, PN 结正偏, 呈_____电阻。

(2) 稳压二极管要求工作在其特性曲线的_____区, 在使用时必须_____连接。

(3) 利用二极管的_____性及导通时_____很小的特点, 可应用于_____、箝位、_____、开关及元件保护等各项工作。

1-1-2 判断下列说法是否正确, 对的在括号内打“√”, 否则打“×”。

() (1) 在 N 型半导体中如果掺入足量的三价元素, 可将其改型为 P 型半导体。

() (2) 半导体就是由于其导电能力介于金属导体和绝缘体之间得到广泛应用的。

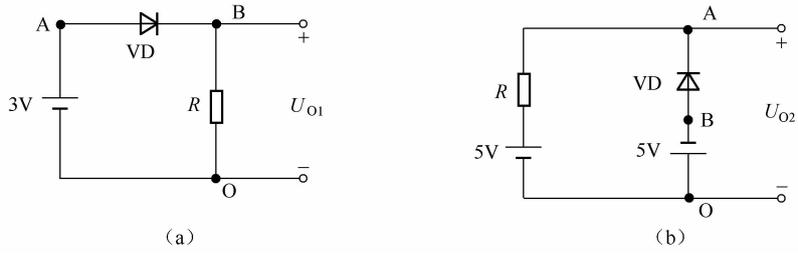
() (3) P 型半导体中多数载流子(简称多子)是自由电子, 空穴为少子。

1-1-3 如题 1-1-3 图所示, 假设图中是理想二极管, 判断图中二极管是导通还是截止? 求电路的输出电压。

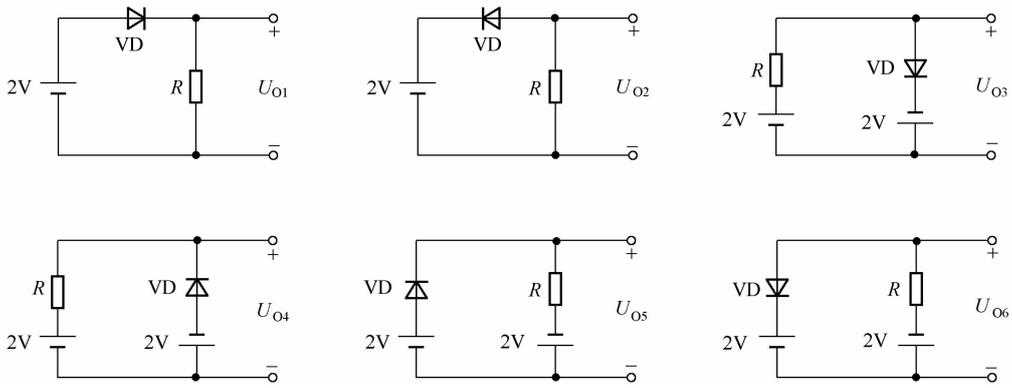
1-1-4 求出题 1-1-4 图所示各电路的输出电压值, 设二极管导通电压 $U_D = 0.7V$ 。

1-1-5 题 1-1-5 图所示电路中, 二极管为理想二极管。试画出输出电压 u_o 的波形。设 $u_i = 6 \sin \omega t (V)$ 。

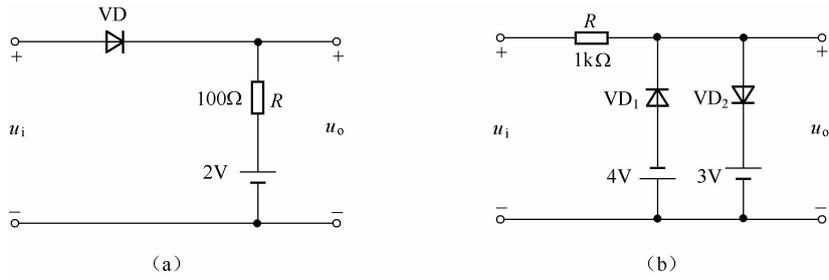
1-1-6 题 1-1-6 图所示电路中, $u_i = 15 \sin \omega t V$, 所有稳压管均为特性相同的硅稳压管, 且稳定电压 $U_z = 8V$ 。试画出 u_{o1} 和 u_{o2} 的波形。



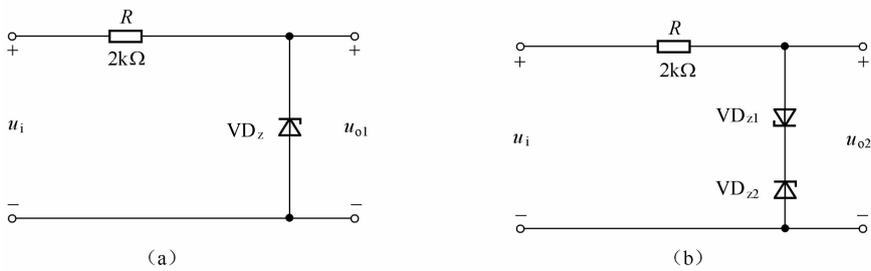
题 1-1-3 图



题 1-1-4 图



题 1-1-5 图



题 1-1-6 图