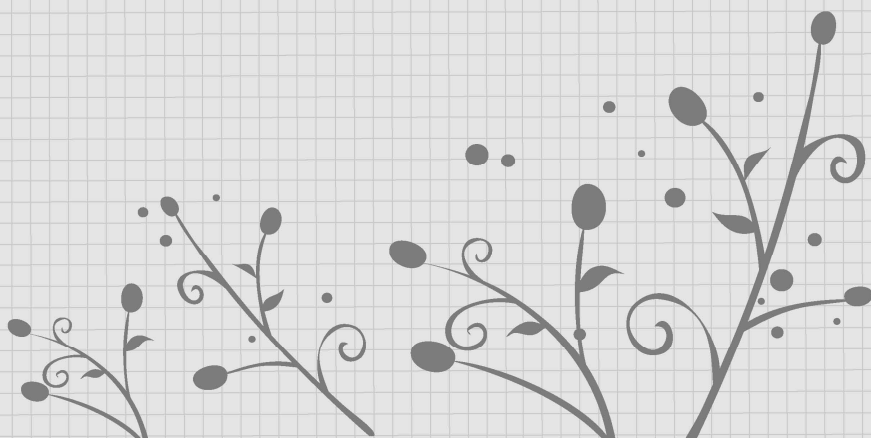


模块 2 模拟电路部分



项目 3 二极管和电容充/放电电路的焊接与调试



学习目标

- ◆ 学习电容相关知识，熟悉电容在电路中的应用。
- ◆ 学习 PN 结单向导电的原理和应用。
- ◆ 学习示波器的使用方法。



知识点脉络图

本项目知识点脉络图如图 3-1 所示。

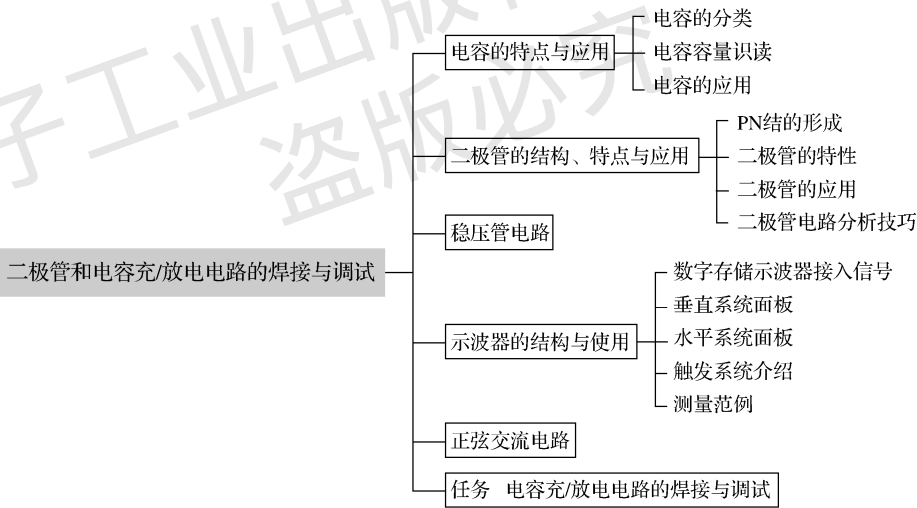


图 3-1 本项目知识点脉络图



相关知识点



3.1 电容的特点与应用

电容器简称电容，由两个导电极及其之间的介质组成。电容是储能元件，能根据外接

电压的变化自行充电和放电，电容有隔离直流、导通交流的特性，在电路中常用于滤波、耦合、旁路、能量转换等。

电容用 C 表示，其符号如图 3-2 所示。其中，图 3-2 (a) 所示为普通无极性电容符号，图 3-2 (b) 所示为有极性电容符号，图 3-2 (c) 所示为可调电容符号；图 3-2 (d) 所示为预调电容符号。

电容单位是法拉 (Farad)，简称法，符号是 F ，法拉这个单位太大，常用的电容单位有毫法 (mF)、微法 (μF)、纳法 (nF) 和皮法 (pF)，它们的换算关系为

$$1F = 1000mF = 1000000\mu F$$

$$1\mu F = 1000nF = 1000000pF$$

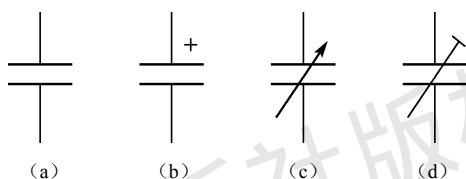


图 3-2 电容符号

1. 电容的分类

电容按结构分为固定电容、半可变电容器和可变电容器，按材料分为电解电容、有机介质电容和无机介质电容，按极性分为有极性电容和无极性电容。

- ◆ 可变电容器，如图 3-3 (a) 所示，其容量在一定范围内可以调节。
- ◆ 电解电容，如图 3-3 (b) 所示，两个导电极之间的介质为电解液。该电容有极性，一般长脚接高电位，短脚接低电位；体积越大，耐压越高或容量越大。
- ◆ 陶瓷电容，如图 3-3 (c) 所示，两个导电极长短一致，无极性。



图 3-3 各类电容实物图

2. 电容容量识读

(1) 直接标注。当电容位置足够时，会直接标出电容的容量及耐压值。图 3-4 (a) 所示为电解电容，其圆柱表面直接标注容量为 $47\mu F$ ，耐压值为 $25V$ 。

(2) 单位标注。如图 3-4 (b) 所示, 其上标注“4n7M”, 其中, “4n7”表示该电容的容量为 4.7nF, 此类标注是把容量单位放置在小数点位置, 类似标注如“4μ7”, 表示该电容的容量为 4.7μF; 字母“M”表示该电容的容量误差范围为±20%。另外, 从该标注中还可以看出该电容的耐压值为 2kV。

(3) 科学记数标注。如图 3-4 (c) 所示, 其上标注“104”, 前两位“10”为有效值, 最后一位“4”表示 10 的幂次方, 即 $10 \times 10^4 \text{ pF} = 10^5 \text{ pF}$ (单位默认为 pF)。科学记数法用 4 位数字表示时, 前三位为有效值, 最后一位表示 10 的幂次方。

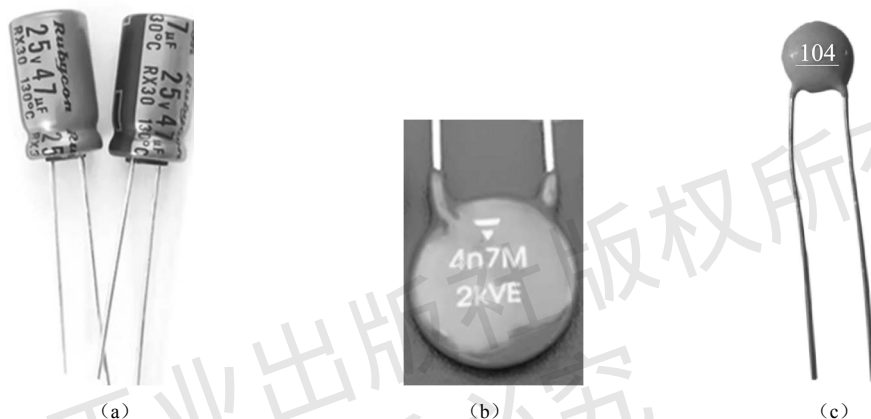


图 3-4 电容标识

例 3-1 使用科学记数法, 如果电容表面标注“472”, 则该电容的容量为

$$47 \times 10^2 \text{ pF} = 4700 \text{ pF} = 0.0047 \mu\text{F}$$

例 3-2 使用科学记数法, 如果电容表面标注“334”, 则该电容的容量为

$$33 \times 10^4 \text{ pF} = 330000 \text{ pF} = 0.33 \mu\text{F}$$

选用电容时, 除了容量需要满足需求, 耐压值也需要重点考虑。电容的耐压值应该在其所在电路需要承受电压的最大值的 1.5 倍以上。电容的耐压值选择偏大一些, 电路相对会更稳定一些。

3. 电容的应用

(1) 电容滤波。

如图 3-5 所示, 电容 C6、C7 接在电源和地之间, 起滤波作用, 消除电路中存在的干扰尖波, 使电源的工作更加稳定。

(2) 电容耦合。

如图 3-6 所示, 电容 C1 接输入信号, C2 接输出信号, 它们在电路中均起耦合作用。

输入的交流信号 u_i 通过电容 $C1$ 进入放大电路的输入端基极，经过三极管进行信号放大；输出信号经过电容 $C2$ 接入输出电阻 R_L ，电容的隔直流通交流作用仅使得被放大的交流信号可以输出到负载电 R_L 上，电路中的 12V 直流电压不会影响输出信号。

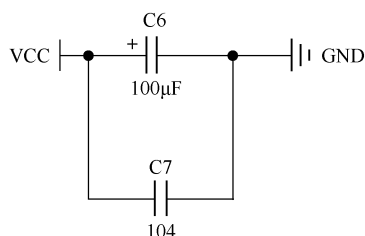


图 3-5 电容 $C6$ 、 $C7$ 在电路中起滤波作用

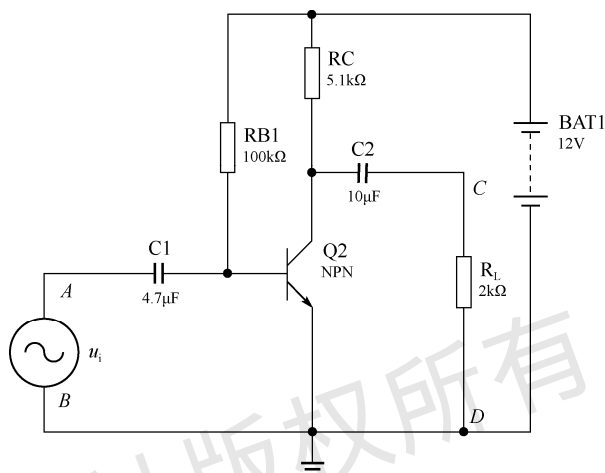


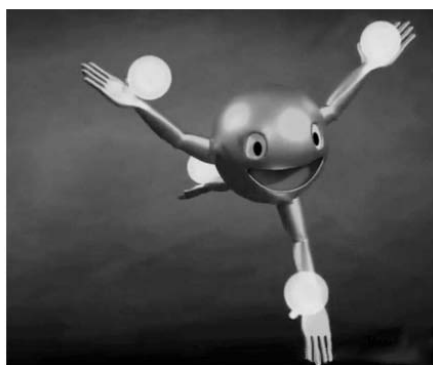
图 3-6 电容 $C1$ 、 $C2$ 在电路中起耦合作用

3.2 二极管的结构、特点与应用

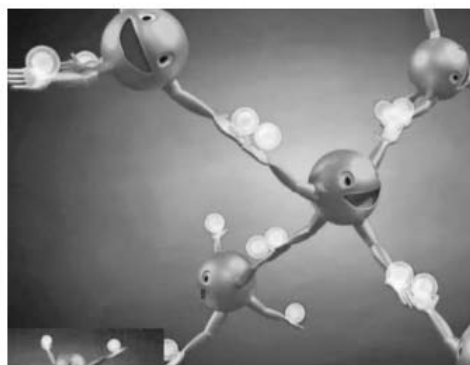
1. PN 结的形成

物质按导电性分为导体、绝缘体和半导体。容易传导电流的物质为导体，如铜、铝、银等金属物质，其电阻率很小，只有 $10^{-6} \sim 10^{-4} \Omega \cdot m$ 。能够可靠地隔绝电流的物质为绝缘体，它几乎不导电，如橡胶、塑料、木材等，其电阻率很大，一般在 $10^8 \Omega \cdot m$ 以上。半导体的导电能力介于导体与绝缘体的导电能力之间，如半导体材料硅和锗，其电阻率为 $10^2 \sim 10^6 \Omega \cdot m$ 。

用于制造半导体器件的纯硅和纯锗都是晶体，其原子最外层轨道上有 4 个电子，这些电子称为价电子。如图 3-7 (a) 所示，4 个圆球为带负电的电子，笑脸的 4 只手为带正电的空穴，电子与空穴一一对应。半导体材料由无穷多个原子组成，原子与原子之间以共价键的结构相连接，如图 3-7 (b) 所示。原子最外层的价电子为相邻原子所共有，形成共价键结构。该结构相对比较稳定，以硅元素为例，如纯硅晶体通电，少部分电子会吸收能量，从而挣脱出来形成自由电子，因此纯硅具有弱导电性。



(a) 单个原子与最外层价电子示意图



(b) 原子间共价键形成示意图

图 3-7 半导体材料原子结构示意图

在半导体材料中掺入少量其他元素，可以改变其导电性。如果在半导体材料中掺入价电子数为 5 的磷元素，则每掺入 1 个磷原子，就会多出 1 个电子在系统中自由移动。把掺杂价电子数为 5 的磷元素的半导体称为 N 型半导体，其自由电子比较多。如果在半导体材料中掺入价电子数为 3 的硼元素，则每掺入 1 个硼原子，系统中就多出现 1 个空穴，与之相邻的电子随时可以填充这个空穴。把掺杂价电子数为 3 的硼元素的半导体称为 P 型半导体，其空穴比较多。在一块纯硅材料的一边掺杂硼元素，形成 P 型半导体；另一边掺杂磷元素，形成 N 型半导体，此材料会形成一个 PN 结，这个 PN 结封装后引出两个引脚，就是一个二极管。如图 3-8 所示，当将 P 型半导体和 N 型半导体放置在一起时，由于 P 型半导体的空穴比较多、N 型半导体的自由电子比较多，因此 N 型半导体中的自由电子大量扩散到 P 型半导体中，与 P 型半导体中的空穴复合。扩散运动使得 N 区失去自由电子而带正电，P 区得到自由电子而带负电，PN 结内部中间位置形成一个内电场，该电场方向为由 N 区指向 P 区。内电场阻碍 N 区自由电子的扩散运动，并促进在 PN 结交界处少子（N 区的空穴比较少，因此叫少子）的漂移运动，随着内电场的增强，N 区自由电子的扩散运动减弱，少子的漂移运动增强，最终两种运动达到平衡，内电场不再增强，形成一个相对稳定的 PN 结。

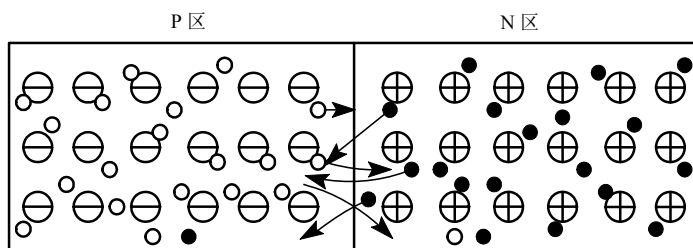


图 3-8 自由电子的扩散运动和空穴的漂移运动

如图 3-9 所示，当自由电子（多子）的扩散运动与空穴（少子）的漂移运动达到动态平

衡时，PN 结的内电场达到稳定，空间电荷区（也叫耗尽层）也相对稳定。PN 结内部虽然有内电场存在，但是对外的 P、N 两极并不带电。

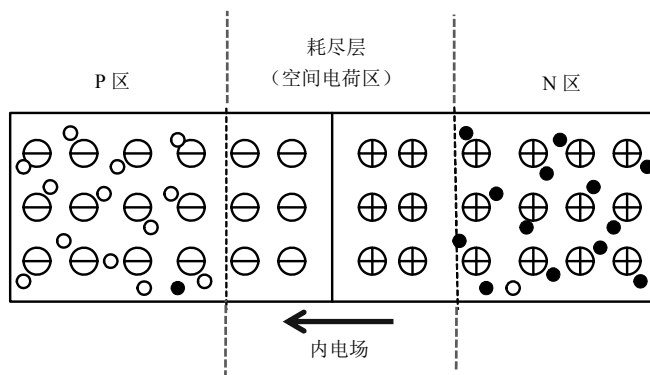


图 3-9 PN 结的内电场形成图

由于 PN 结特殊的内部结构，其具有单向导电性。如图 3-10 所示，在 PN 结两端加正向电压，即 P 区接电源正极，N 区接电源负极，电源产生的外电场与 PN 结的内电场的方向相反，内电场被削弱，使耗尽层变薄，扩散运动增强，即多子的扩散运动强于少子的漂移运动，形成较大的扩散电流，即正向电流。此时，PN 结的正向电流迅速增大，称 PN 结正向导通，也叫正向偏置。

如图 3-11 所示，在 PN 结两端加反向电压，即 N 区接电源正极，P 区接电源负极，这时外电场与内电场方向一致，增强了内电场，使耗尽层变厚，即削弱了多子的扩散运动，增强了少子的漂移运动，由于少数数量小，从而形成微弱的漂移电流，即反向电流。此时，PN 结呈现的阻力很大，PN 结处于反向截止状态，也称反向偏置。

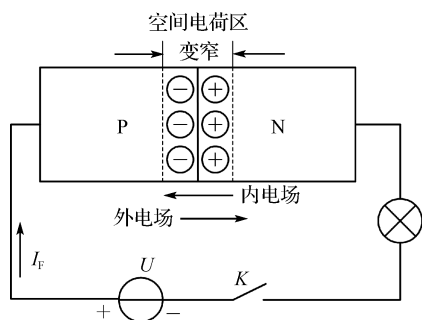


图 3-10 PN 结加正向电压

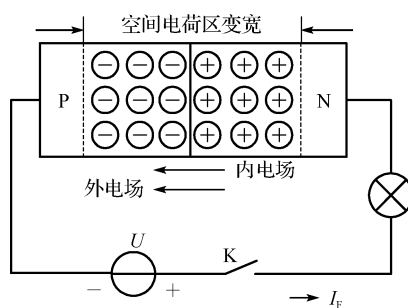


图 3-11 PN 结加反向电压

2. 二极管的特性

(1) 二极管的伏安特性。

二极管的伏安特性是指加载在二极管两端的电压与流过其两端的电流之间的关系，如图 3-12 所示，具体分析如下。

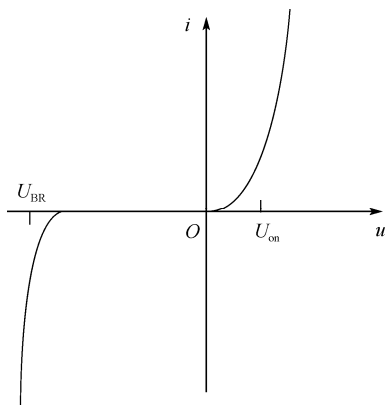


图 3-12 二极管的伏安特性

① 正向特性 ($U > 0$): 当为二极管加正向电压, 即 P 极接高电位、N 极接低电位时, 图 3-12 中的 U_{on} 叫开启电压, 硅管的开启电压为 $0.5V$, 导通电压为 $0.6 \sim 0.7V$; 锗管的开启电压为 $0.2 \sim 0.3V$ 。当加载在二极管两端的电压 U 高于或等于开启电压, 即 $U \geq U_{on}$ 时, PN 结导通, 否则 PN 结截止。

② 反向特性 ($U < 0$): 当为二极管加反向电压, 即 P 极接低电位、N 极接高电位时, PN 结截止。

③ 击穿特性: 当为二极管加反向电压, 且所加反向电压高于或等于其击穿电压时, 普通二极管容易击穿损坏, U_{BR} 为二极管的击穿电压。但特殊二极管, 如稳压二极管 (稳压管) 工作在反向击穿区。稳压管的特性将在后面介绍。

④ 温度特性: 随着温度的升高, 二极管内部的自由电子和空穴的活动都增强, 其正向电流和反向电流都会增大。

(2) 二极管的主要参数。

① 最大整流电流 I_F : 二极管长期工作时, 允许通过的最大正向平均电流。在选用二极管时, 二极管的最大整流电流必须大于电路的工作电流。

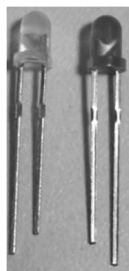
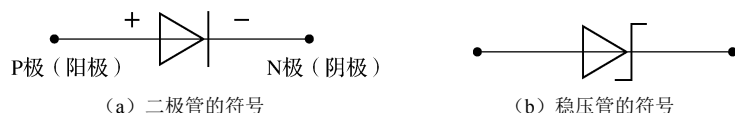
② 最高反向工作电压 U_{RM} : 二极管工作时所能承受的最大反向电压峰值, 即通常所说的耐压值。为了防止二极管反向击穿损坏, 通常标定的最高反向工作电压为二极管击穿电压的一半。

③ 反向电流 I_R : 二极管承受最高反向工作电压时的反向电流。此值越小, 二极管的单向导电性越好。由于温度升高后, 反向电流会急剧增大, 因此在二极管的使用中, 要注意温度的影响。

(3) 二极管的符号及实物图。

图 3-13 (a) 所示为二极管的符号, 接高电位 (或接 “+”) 的叫 P 极, 也称为阳极; 接低电位 (或接 “-”) 的叫 N 极, 也称为阴极; 图 3-13 (b) 所示为稳压管的符号; 图 3-13 (c)

所示为发光二极管实物图；图 3-13 (d) 所示为整流二极管实物图；图 3-13 (e) 所示为检波二极管实物图；图 3-13 (f)、(g) 所示为贴片二极管实物图；图 3-13 (h) 所示为大功率二极管实物图。



(c) 发光二极管实物图



(d) 整流二极管实物图



(e) 检波二极管实物图



(f) 贴片二极管实物图 1



(g) 贴片二极管实物图 2



(h) 大功率二极管实物图

图 3-13 二极管的符号及实物图

3. 二极管的应用

二极管根据结构不同分为点接触型二极管和面接触型二极管。点接触型二极管的极间电容小，常用于高频检波和脉冲数字电路。面接触型二极管的极间电容大，常用于频率在 3kHz 以下的信号的整流。

(1) 二极管整流电路。

图 3-14 (a) 所示为二极管半波整流电路，二极管 D 用于半波整流；TR2 为变压器，用于把高压交流电源 u_1 降为低压交流电源 u_2 ，经过二极管 D 进行半波整流，仅有大于零的半波加载到负载电阻 R_L 上。如图 3-14 (b) 所示，上面的波形图为 u_2 随 ωt 成正弦规律变化的波形图，该正弦交流电压经过二极管 D 整流后，输出到负载电阻 R_L 的电压波形为下面的波形图。因为二极管 D 有单向导通的特点，所以当 $u_2 < 0$ 时，加载到二极管 D 的电压为反向电压，二极管 D 截止，没有电流流过，即此时 R_L 上的电流为 0，因此 R_L 两端的电压 U_o 也为 0。在图 3-14 中，为方便分析，把二极管 D 的导通电压近似为零。

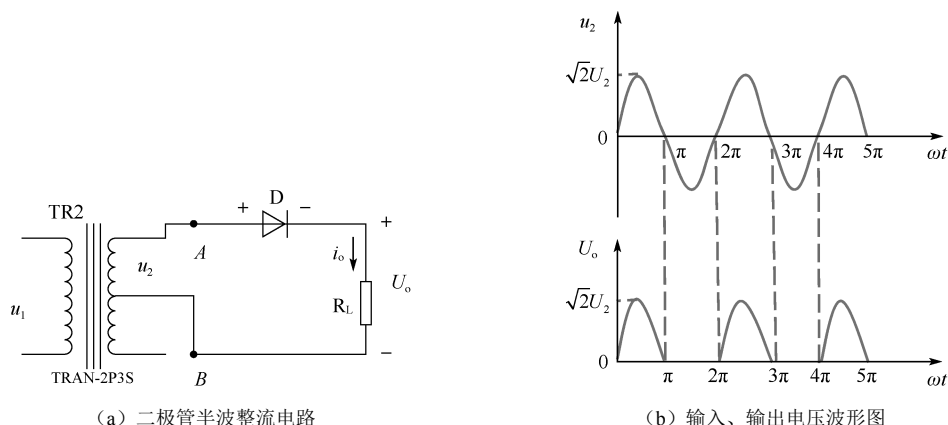


图 3-14 二极管半波整流电路及其输入、输出电压波形图

图 3-15 (a) 所示为桥式整流电路, 4 个二极管 D1、D2、D3、D4 组成桥式整流, 也叫全波整流。该电路中的 TC 为变压器, 该变压器把 220V 的高压交流电源降为低压交流电源。在图 3-15 (b) 中, 上面的波形图为 u_2 随 ωt 成正弦规律变化的波形图。 u_2 加载在由 D1、D2、D3、D4 组成的桥式整流电路中。下面分两种情况分析, 为方便分析, 把 D1、D2、D3、D4 的导通电压均看作 0。

第一种情况, 当 $u_2 > 0$ 时, 即 A 点电位高于 B 点电位, 电路中的电流从 A 点出发, 先经过 D1 到 R_L , 再经过 D2 回到 B 点, 形成一个闭合回路, 此时流过 R_L 的电流是从上到下的, 为正电压。

第二种情况, 当 $u_2 < 0$ 时, 即 B 点电位高于 A 点电位, 电路中的电流从 B 点出发, 先经过 D3 到 R_L , 再经过 D4 回到 A 点, 形成一个闭合回路, 此时流过 R_L 的电流还是从上到下的, 也为正电压。

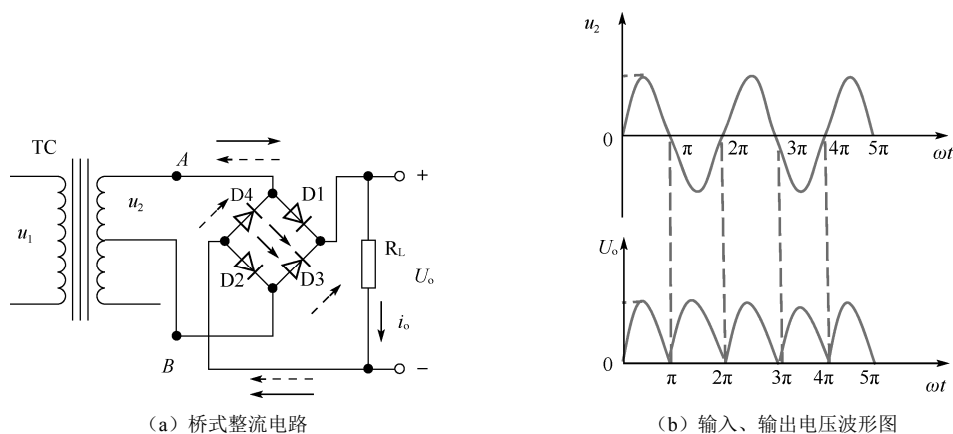


图 3-15 桥式整流电路及其输入、输出电压波形图

由上面的分析得知, 无论 $u_2 > 0$, 还是 $u_2 < 0$, 负载电阻 R_L 两端都有电流流过, 且电流方

向都是从上到下,即加载在电阻 R_L 两端的电压都是正电压。桥式整流电路把输入的交流电压整流为直流脉动电压。桥式整流电路电源的使用效率约为 90%, 约是半波整流电路电源的使用效率的 2 倍。

(2) 直流电源的制作。

直流电源使用非常广泛,如用于血压测量仪、手电筒、智能垃圾桶等,我国市电电源为正弦交流 220V 电压,那么,如何把 220V 交流电转换为直流电呢?这需要通过如下 4 步来实现(以制作 5V 直流电压为例)。

① 降压电路,如图 3-16 中的虚线框①所示,该部分电路包含一个变压器,用于把 220V 交流电压降为 12V 左右的交流电压,对应的波形图如图 3-17 中的①所示,为有效值是 12V 的交流电压波形图。

② 桥式整流电路,如图 3-16 中的虚线框②所示,该部分电路包含一个桥式整流电路,由 4 个整流二极管构成,用于把 12V 的正弦交流电压整流为 11V 左右的直流脉动电压,其波形图如图 3-17 中的②所示。

③ 电容滤波电路,如图 3-16 中的虚线框③所示,该部分电路包含一个 $100\mu\text{F}$ 的电容,该电容起滤波作用。电路工作时,电容两端电压充电到最高电压后,交流电压开始逐渐降低,这时电容开始放电,使得电压降低幅度不会太大,电压脉动减小,从而使电压整体脉动减小,达到滤波效果。图 3-17 中的③所示为脉动明显减小的直流电压波形图。

④ 稳压电路,如图 3-16 中的虚线框④所示,该部分电路包含一个三端稳压器 7805,用于把输出电压稳定为 5V,对应的波形图如图 3-17 中的④所示。可见,波形为一条直线,表示输出稳定的直流电压。7805 的最高输入电压为 35V,最低输入电压为 7V,输出电压稳定为 5V。78 系列稳压器有 7809、7812、78015 等,其输出电压分别稳定为 9V、12V、15V。

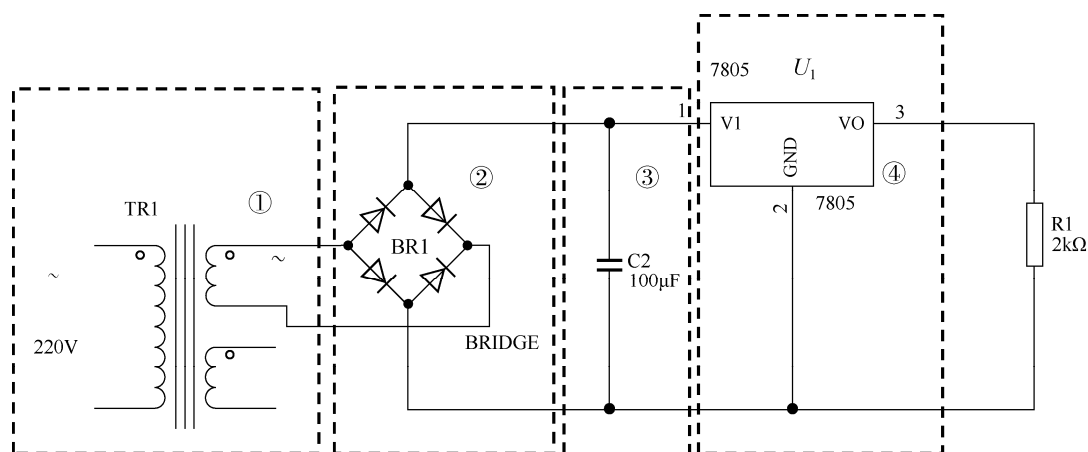


图 3-16 直流稳压电源电路

(3) 二极管限幅电路。

如图 3-18 (a) 所示, u_i 为输入交流电压, 其波形图如图 3-18 (b) 上面的波形图所示。 u_i 经过电阻 R 输出电压, 输出电压并联了一条支路, 该支路由二极管 D 串联直流电源组成。在该支路中, 设二极管为硅型管, 如果有电流流过二极管 (硅管的导通电压为 $0.7V$), 则 a 点电位高出 b 点电位 $0.7V$, 又由于 b 点接电源正极, 因此 b 点电位高出 c 点电位 $6V$, 故 a 点电位高出 c 点电位 $6.7V$, 即 $U_{ac} = 6.7V$ 。

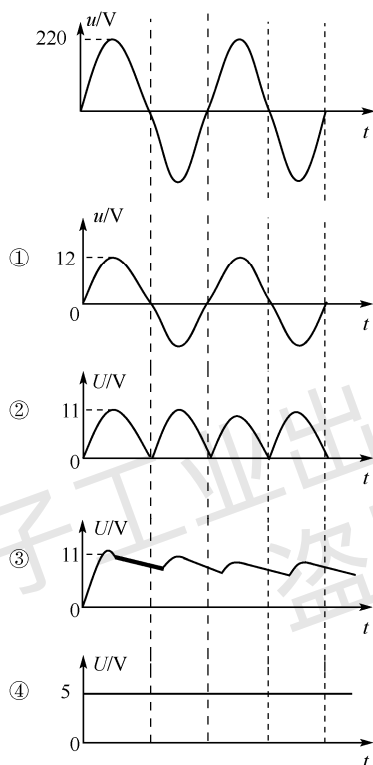
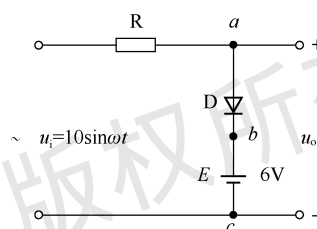
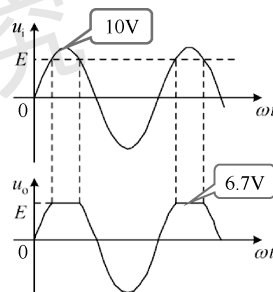


图 3-17 直流电压源电路各部分输出电压波形图



(a) 限幅电路



(b) 输入、输出电压波形图

图 3-18 二极管限幅电路及其输入、输出电压波形图

由于二极管的单向导电性, 支路的电流只能从上到下, 即从 a 点流到 b 点, 再到 c 点。且该支路的最高电压仅为 $6.7V$ 。由于输出电压 u_o 与该支电路并联, 因此, 由并联电路电压相等的原则得出输出电压的最大值为 $6.7V$ 。为了分析输出波形, 也可以把输入电压分以下两种情况来考虑。

如图 3-19 (a) 所示, 当 $u_i \geq 6.7V$ 时, 电流经过 abc 支路, 输出电压 u_o 与 abc 支路并联, 由于支路有电流经过, 因此 u_{ab} 为 $0.7V$, u_{ac} 为 $6.7V$, u_o 为 $6.7V$, 高出的电压消耗在电阻 R 上, $u_R = RI$ 。

如图 3-19 (b) 所示, 当 $u_i < 6.7V$ 时, 由于二极管的单向导电性, 支路电流为 0 , 即支

路无电流流过，电流经电阻 R 直接到输出电路。也就是说，低于 6.7V 的电压直接输出；高于或等于 6.7V 的电压仅输出 6.7V ，其他电压在电阻 R 消耗了，如图 3-18 (b) 下面的波形图所示，此电路也称为限幅电路。

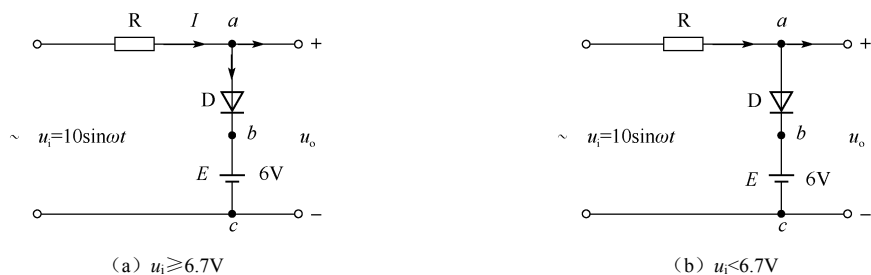


图 3-19 输入电压分两种情况分析图

例 3-3 如图 3-20 (a) 所示， $u_i = 10\sin\omega t$ ， $E = 6\text{V}$ ，试画出 U_o 的波形图。其中，二极管 D 为理想二极管，导通时其两端压降为 0 。

【解】 输入电压 u_i 为最大值是 10V 的正弦交流电压，通过二极管 D 到输出电压 U_o ，输出电压 U_o 与 abc 支路并联， abc 支路串联了一个电阻和一个直流 6V 电源。首先把二极管 D 看作断路，即 u_i 与 U_o 断开，此时电阻 R 上无电流流过，即 $I = 0$ ，因此 R 两端的压降为零， a 点电位等于 b 点电位， $U_{ac} = 6\text{V}$ ，从而 $U_o = 6\text{V}$ 。现在把二极管 D 接入，分以下两种情况讨论。

当输入电压 $u_i < 6\text{V}$ 时，由于二极管的阴极电位高于阳极电位，因此二极管截止，输出电压 $U_o = 6\text{V}$ 。

当输入电压满足 $10\text{V} \geq u_i \geq 6\text{V}$ 时，二极管的阳极电位高于阴极电位，二极管导通，且 D 为理想二极管，压降为 0 ，因此输入电压 u_i 直接输出到 U_o ，即 $U_o = u_i$ 。

由此可知该电路为低压限幅电路，输入、输出电压波形图如图 3-20 (b) 所示。

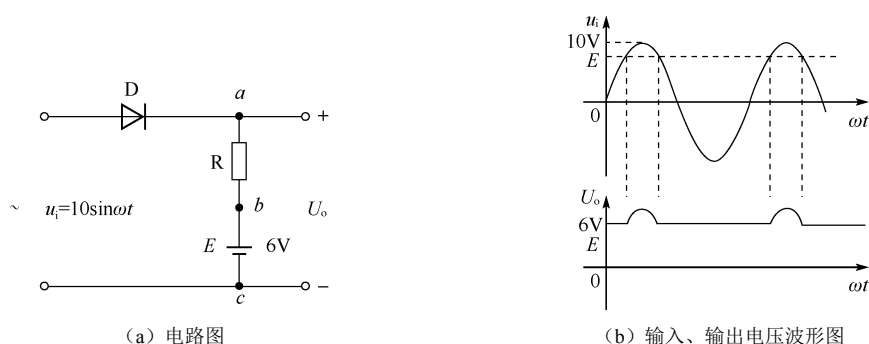


图 3-20 例 3-3 图

例 3-4 如图 3-21 所示，假设二极管是理想的，则在下面几种情况下， Y 点电位各是多少？

- ① $U_A=U_B=0$ 。
- ② $U_A=U_B=3V$ 。
- ③ $U_A=0, U_B=3V$ 。
- ④ $U_A=3V, U_B=0$ 。

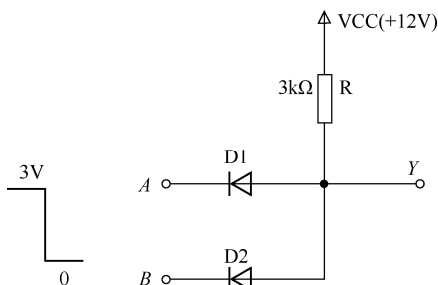


图 3-21 例 3-4 图

【解】该电路中两个二极管 D1、D2，它们的阳极接在一起后接到 Y 点；12V 电源串联一个 $3k\Omega$ 电阻后接到二极管的公共阳极，也接到了 Y 点；两个二极管的阴极分别接 A、B 两点。A、B 两点间的输入电压有两种情况：0 或 3V。

① 分析第 1 种输入组合，当 $U_A=U_B=0$ 时，假设 D1、D2 断开，由于 R 上无电流流过，因此根据欧姆定律，电阻 R 两端压降为零，Y 点电位就是电源 VCC 的电位，即 D1、D2 的阳极电位均为 12V，高于阴极电位，D1、D2 导通，由于二极管是理想的，因此二极管压降为零，即 $U_Y=0$ 。

② 第 2 种输入组合，当 $U_A=U_B=3V$ 时，假设 D1、D2 断开，Y 点电位就是电源 VCC 的电位，因此 D1、D2 的阳极电位均为 12V，高于阴极电位，D1、D2 导通，由于二极管是理想的，即二极管压降为零，即 $U_Y=U_A=U_B=3V$ 。

③ 第 3 种输入组合，当 $U_A=0, U_B=3V$ 时，假设 D1、D2 断开，Y 点电位就是电源 VCC 的电位，因此 D1、D2 的阳极电位均为 12V，A 点电位低于 B 点电位，D1 优先导通，D1 导通后，Y 点电位为 0；D2 的阴极电位为 3V，高于阳极电位，D2 截止，即 $U_Y=0$ 。

④ 第 4 种输入组合，当 $U_A=3V, U_B=0$ 时，情况与③基本一样，不同的是，D2 优先导通，D1 截止， $U_Y=0$ 。

由以上分析可知，图 3-21 所示的电路可以完成两个变量的相与操作，只有当两个输入均为 3V（高电位）时，输出 Y 才为 3V（高电位），对于其他组合的输入，输出均为 0（低电位），因此该电路是简单的与门电路。

4. 二极管电路分析技巧

在进行二极管电路分析时，常先把二极管移开（或断开），再分析二极管两端的电位，如果阳极电位高于阴极电位（如果没有特别说明，则二极管为理想二极管，需要考虑二极管

的开启电压), 则二极管导通, 否则二极管截止。判断完二极管的通断状态后, 进行其他电路分析。以上实例如果不太好理解, 则可以仿真测试一下。



3.3 稳压管电路

稳压二极管又称齐纳二极管, 简称稳压管, 它是一种用特殊工艺制造的面接触型半导体二极管。稳压管在一定的电流范围内 (或者说在一定的功率损耗范围内), 其两端电压几乎不变, 表现出稳压特性, 因而广泛应用于稳压电源与限幅电路。图 3-22 所示为稳压管的符号。其中, 图 3-22 (a) 所示为稳压管常用符号。

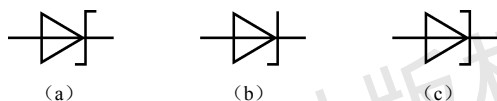


图 3-22 稳压管的符号

稳压管工作在反向击穿区, 图 3-23 (a) 所示为稳压管的伏安特性图。在图 3-23 (a) 中, 稳压管工作时, 其电流变化为 ΔI , 其两端电压变化为 ΔU , ΔU 的变化非常小, 如果忽略不计, 则认为 $\Delta U \approx 0$, 即稳压管两端电压不变。图 3-23 (b) 所示为稳压管应用电路图, D_Z 串联一个电阻 R , 反向接入输入电压 U_i , 并与负载电阻 R_L 并联, 负载电阻 R_L 两端的电压即稳压管 D_Z 两端的电压。

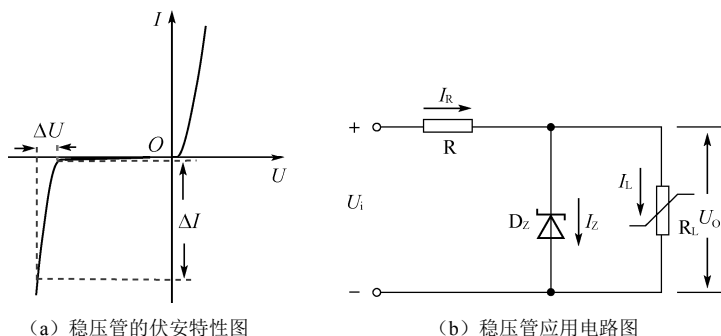


图 3-23 稳压管的伏安特性图和应用电路图

下面通过例题来学习稳压管电路分析方法。

例 3-5 如图 3-24 所示, 电路中稳压管的稳定电压 $U_Z=6V$, 最小稳定电流 $I_{Zmin}=5mA$, 最大稳定电流 $I_{Zmax}=25mA$ 。

(1) 分别计算 U_i 为 10V、15V、35V 时输出电压 U_o 的值。

(2) 若 $U_i=35V$ 时负载 R_L 开路, 则会出现什么现象? 为什么?

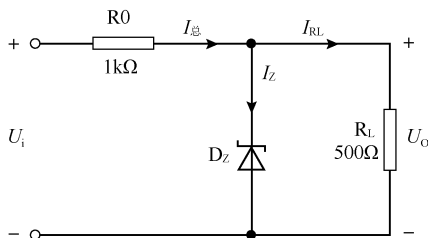


图 3-24 例 3-5 图

【解】图 3-24 所示为稳压管的经典接线电路，稳压管 D_z 串联电阻 R_0 接入输入电压，负载电阻 R_L 并联在稳压管两端。

(1) 具体分析如下。

① 当 $U_i=10V$ 时，若 $U_o=U_z=6V$ ，则 R_0 两端的压降为 $10V-6V=4V$ ， $I_{总}=4V/1k\Omega=4mA$ ，因为 $4mA<5mA$ ，所以流过电阻 R_0 的电流小于稳压管的最小稳定电流，稳压管不工作（此支路断路），未稳压， $U_z\approx 0$ 。

U_i 经 R_0 加至 R_L 两端，输出电压为 R_L 两端的压降：

$$U_o = [U_i / (1000 + 500)] \times 500 = 10 \div 3 \approx 3.33 \text{ (V)}$$

② 当 $U_i=15V$ 时，若 $U_o=U_z=6V$ ，则 R_0 两端的压降为 $15V-6V=9V$ ，总电流 $I_{总}=9V \div 1k\Omega=9mA$ ，假设稳压管正常工作，则 R_L 两端的电压为 $6V$ ， $I_{RL}=6V/500\Omega=12mA$ ，现在 $I_{总}=9mA<12mA$ ，因此稳压管不工作，输出电压也约为 $3.33V$ 。

③ 当 $U_i=35V$ 时，若 $U_o=U_z=6V$ ，则 R_0 两端的压降为 $35V-6V=29V$ ， $I_{总}=29V/1k\Omega=29mA$ ，分流到 R_L 的电流为 $12mA$ ，故流入稳压管的电流为 $29mA-12mA=17mA$ ，稳压管正常工作， $U_o=6V$ 。

(2) 若 $U_i=35V$ 时负载开路，则 $I_{总}=I_z$ ，这时， $29mA$ 的电流全部加载到稳压管上，大于其所能承受的最大稳定电流 $25mA$ ，故长时间通电稳压管会被烧坏。



3.4 示波器的结构与使用

示波器是一种用途非常广泛的电子测量仪器。它能把肉眼看不见的电信号变换成肉眼看得见的图像，便于人们研究各种电现象的变化过程。本实验以 UTD2052CL 示波器为例，介绍示波器的使用方法。UTD2052CL 示波器是 $50MHz$ 双通道示波器，图 3-25 所示为其面板图。UTD2052CL 示波器有两个模拟信号输入口，分别为 X、Y 通道（也称输入通道 CH1、CH2），当输入信号经输入通道输入后，可按运行控制按键，示波器将自动选择合适的水平

控制挡位和垂直控制挡位，即每一横格代表的时间（秒/格）、每一竖格代表的电压（伏/格），在显示区域显示比较理想的信号波形。示波器常用来测量信号的峰峰值和周期。

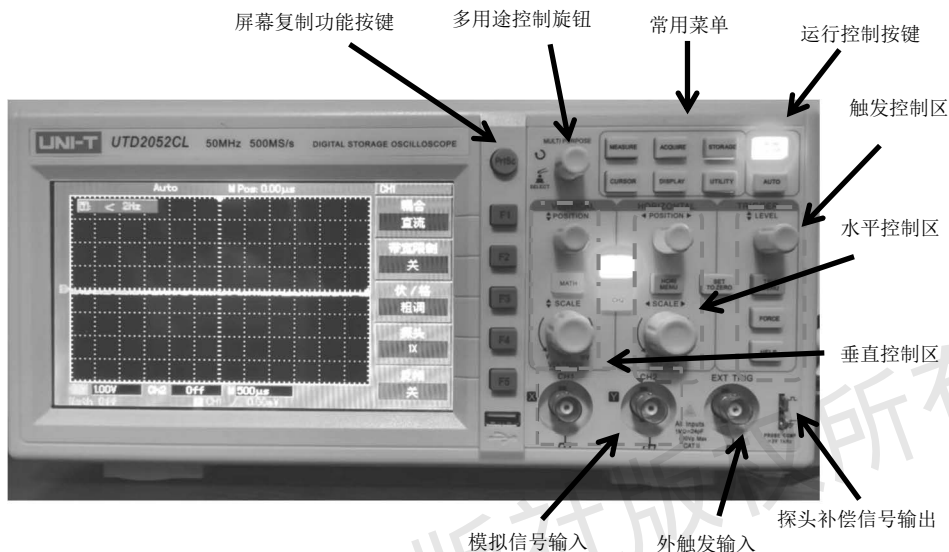


图 3-25 UTD2052CL 示波器的面板图

图 3-26 所示为示波器的显示区域，CH1（通道 1）信号显示为蓝色，CH2（通道 2）信号显示为黄色，右边面板为 CH1 信号设置项，如果需要设置 CH2 信号相关项，则可按 CH2 按键，此时，右边面板会显示 CH2 信号设置项。显示区域底端还可以显示通道垂直刻度系数和主时基设置。

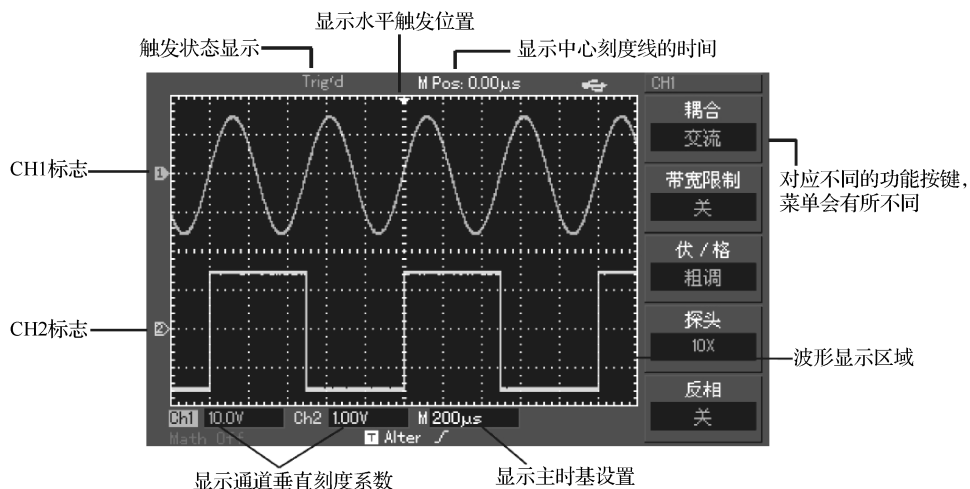


图 3-26 示波器的波形显示区域

1. 数字存储示波器接入信号

UTD2000/3000 系列数字存储示波器为双通道输入形式，还有一个外触发输入通道。请将数字存储示波器探头连接到 CH1 输入端，并将探头上的衰减倍率开关设定为“10×”（测试信号衰减 10 倍后接入示波器），如图 3-27 所示。



图 3-27 示波器探头设置

把探头的探针和接地夹连接到示波器自带方波输出位置（见图 3-25 中的探头补偿信号输出位置），按一下 AUTO 按键，几秒后，方波显示如图 3-28 所示。该信号水平方向一个周期占 2 格，每格是 $500\mu\text{s}$ ，因此信号的周期 $T=2\times 500\mu\text{s}=1\text{ms}$ ；频率是周期的倒数，于是 $f=1/T=1/1\text{ms}=1\text{kHz}$ 。对于该信号的电压，如图 3-28 所示，最高横线到最低横线共占了 6 格，每格是 500mV ，因此信号电压为 $6\times 500\text{mV}=3\text{V}$ 。由上面的计算可知，示波器自带方波是 1kHz 、 3V 的方波信号。

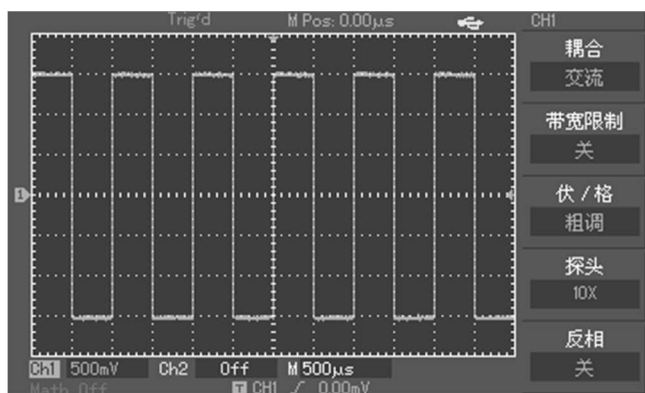


图 3-28 示波器自带方波信号图

2. 垂直控制区

垂直控制区如图 3-29 所示。

(1) POSITION 旋钮是改变波形上下显示位置（垂直位置）的旋钮。

(2) VOLTS/DIV 旋钮用于改变示波器每格在垂直方向上表示的电压，通过该旋钮，可以改变显示波形垂直方向的高度。

(3) CH1、CH2、MATH 为显示选择按键，按下显示该通道波形，再次按下关闭该通道波形显示。[CH1：显示通道 1 波形；CH2：显示通道 2 波形；MATH：显示 FFT（快速傅里叶变换）数学运算信号。]

3. 水平控制区

水平控制区如图 3-30 所示。

(1) POSITION 旋钮是改变波形左右显示位置（水平位置）的旋钮。

(2) SEC/DIV 旋钮用于改变示波器每格在水平方向上表示的时间。通过该旋钮，可以改变显示波形水平方向的疏密。

(3) HORIZ MENU 为显示菜单。在此菜单下，按 F3 按键可以开启视窗扩展功能，再按 F1 按键可以关闭视窗扩展功能而回到主时基模式。在这个菜单下，还可以设置触发释抑时间。

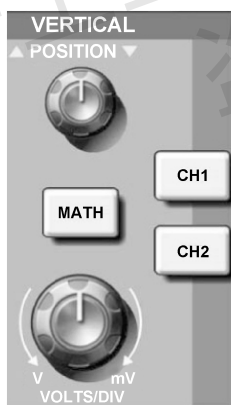


图 3-29 垂直控制区



图 3-30 水平控制区

4. 触发系统介绍

图 3-31 所示为触发控制区，使用触发电平旋钮改变触发电平，可以在显示区域坐标轴的右侧看到一个箭头随旋钮的转动而上下移动，如图 3-32 所示。当触发信号的频率是被测信号的整数倍时，波形能稳定显示，否则波形不稳定。一般将输入信号作为触发信号，或者使用示波器的默认触发信号，触发信号没有特别要求，一般不需要调。



图 3-31 触发控制区

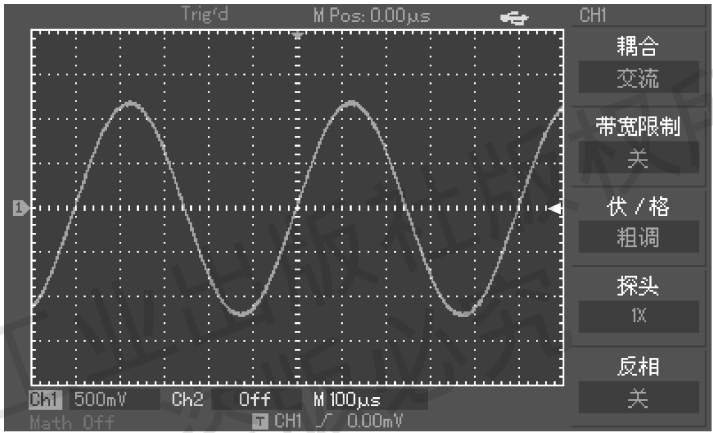


图 3-32 显示区域

在图 3-32 中，右侧各菜单项的配置说明如表 3-1 所示。

表 3-1 右侧各菜单项的配置说明

菜单项	设定	说明
耦合	交流	阻挡输入信号的直流成分
	直流	通过输入信号的交流和直流成分
	接地	断开输入信号
带宽限制	打开	限制带宽至 20MHz，以减少显示噪声
	关闭	满带宽
伏/格	粗调	粗调按 1-2-5 进制设定垂直偏转系数
	细调	细调在粗调设置范围内进一步细分，以改善垂直分辨率
探头	1×	根据探头衰减系数选取其中一个值，以保持垂直偏转系数的读数正确
	10×	
	100×	
	1000×	
反相	开	打开波形反相显示功能
	关	波形正常显示

5. 测量范例

(1) 用示波器测试信号的步骤（以电容充/放电电路为例）。

① 接入输入信号。如图 3-33 所示，信号由 CH1 接入，由于电容充/放电信号为低频信号，不需要考虑高频抗干扰等，因此输入采用鳄鱼夹直接接入信号。

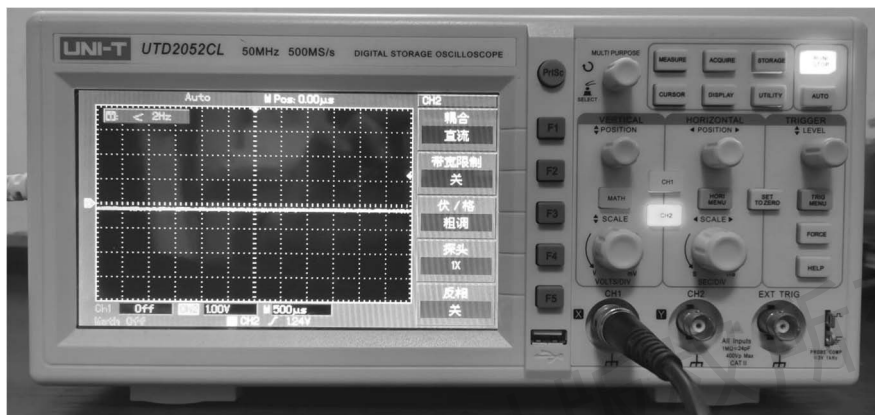


图 3-33 鳄鱼夹接口接 CH1

② 红色鳄鱼夹接被测电路，即电容的正极，黑色鳄鱼夹接地，如图 3-34 所示。

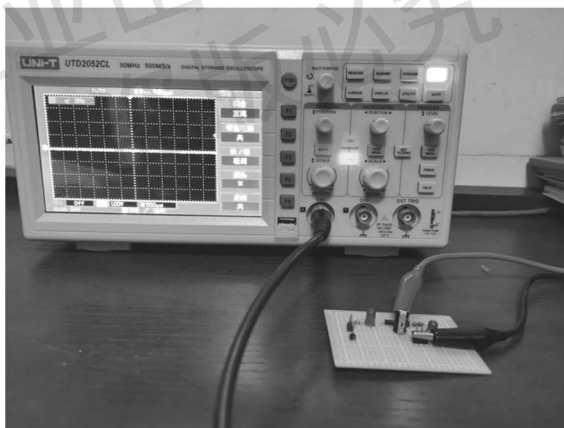


图 3-34 探头另一端鳄鱼夹接被测电路

③ 为被测电路接上 5V 直流电压，按 AUTO 按键（见图 3-35），即能在显示区域显示所测信号波形。

(2) 自动测量信号的电压和时间参数。

数字存储示波器可对大多数信号进行自动测量，要测量信号的频率和峰峰值，请按如下步骤进行操作。

① 按 MEASURE 按键，以显示自动测量菜单。

② 按 F1 按键，进行测量菜单种类选择。

- ③ 按 F3 按键，选择电压类。
- ④ 先按 F5 按键，翻至 2/4 页；再按 F3 按键，选择测量类型（峰峰值）。
- ⑤ 先按 F2 按键，进行测量菜单种类的选择；再按 F4 按键，选择时间类。
- ⑥ 按 F2 按键即可选择测量类型（频率）。

此时，峰峰值和频率的测量值分别显示在显示区域的右侧，如图 3-36 所示。

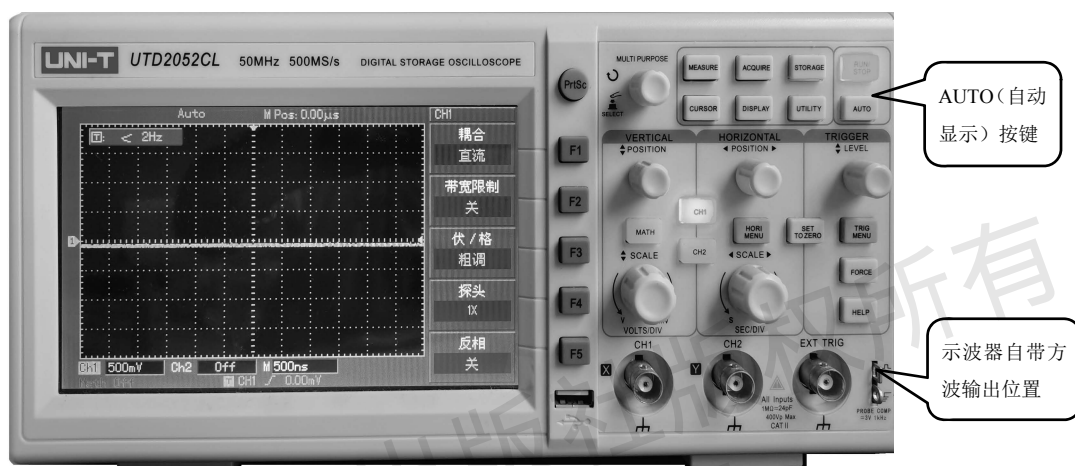


图 3-35 示波器面板

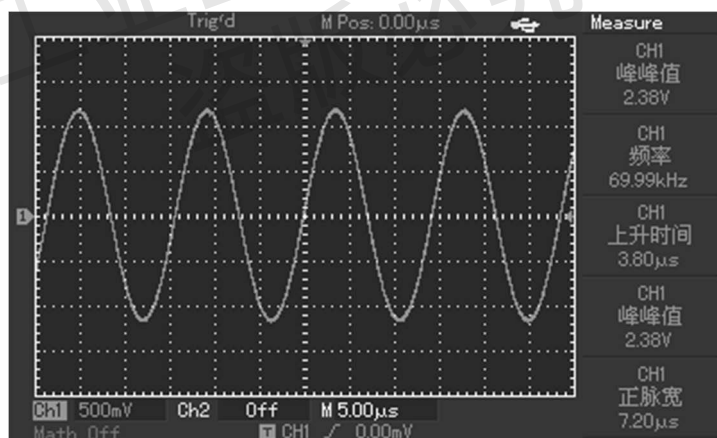


图 3-36 示波器自动测量

3.5 正弦交流电路

正弦交流信号是常见信号，其大小和方向随时间成正弦规律变化。常见信号波形图如图 3-37 所示。其中，图 3-37 (a) 所示为正弦交流信号波形图。

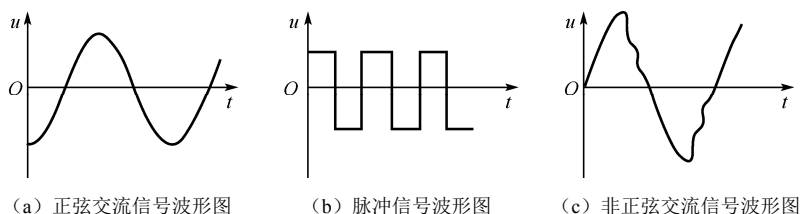


图 3-37 常见信号波形图

下面介绍正弦交流电压的数学表示法。图 3-38 所示为正弦交流电压的函数表达式。其中， U_m 为最大值，也叫振幅，其大小影响波形垂直方向的高度； ω 为角频率，有时也用频率 f 或周期 T 来表示，其大小表示波形变化的快慢程度，在示波器上显示时，影响波形的显示疏密度； θ 为初相位，其大小影响波形的起始位置。振幅、频率、初相位被称为正弦交流信号的三要素。用示波器测量正弦交流电压波形时，可以测出其周期和 2 倍的振幅。

$$U = U_m \sin(\omega t + \theta)$$

最大值

角频率

初相位

图 3-38 正弦交流电压的函数表达式

正弦交流电压是随时间周期变化的，如何用一个量来表示正弦交流电压呢？下面介绍有效值的概念，如果一个交流电压与一个直流电压在相同通电时间内，对相同大小电阻所做的功相等，则把这个直流电压称为该交流电压的有效值。正弦交流电压表测量的是交流电压的有效值，用“ U ”表示。最大值 U_m 是有效值的 $\sqrt{2}$ 倍，即

$$U_m = \sqrt{2}U$$



任务 电容充/放电电路的焊接与调试

1. 项目焊接

电容充/放电电路原理图如图 3-39 所示，此电路中的 K1、K2 为开关，焊接时用 2 针排针代替，开关合上时，用短接帽把两针短接到一起；开关断开时，拔掉短接帽。D1、D3 为发光二极管，当电容 C1 充电时，D1 有电流流过而发亮；当电容 C1 充满电时，电容不再充电，D1 无电流流过，此时 D1 不亮。当电容放电时，D3 有电流流过而发亮。D2 为整流二极管或检波二极管，其作用是正向导通、反向截止。R1、D1、C1 构成电容充电电路，C1、R2、D3 构成电容放电电路。

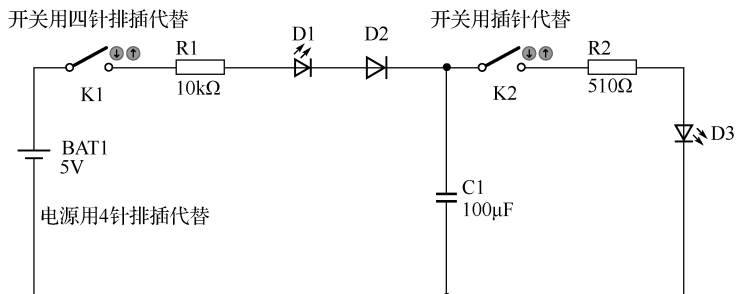


图 3-39 电容充/放电电路原理图

2. 项目测试

按照图 3-39 在印制电路板上焊接元器件并连线，焊接完成并检查无误后，接上 5V 直流电源，开始进行电路测试。合上开关 K1，观察电路变化，当 D1 熄灭后，断开开关 K1 并闭合开关 K2，观察电路变化情况。重复以上操作 2 遍以上，观察现象，并回答下面的问题。

问题 1：电路刚接上电源，闭合 K1 时，D1 亮一会儿就慢慢变暗了，最后不亮，为什么？

问题 2：电容充电完成后，断开 K1，闭合 K2，D3 亮一会儿就灭了，怎样可以使它亮的时间久一些呢？

问题 3：R1 和 R2 能否互换？为什么？

问题 4：如果在 C1 旁并联一个 100μF/16V 的电容，会有什么不一样的现象出现？为什么？

问题 5：在完成以上任务后，学生可以用示波器观测电容 C1 两端电压的变化，并用语言描述测试中出现的现象。

3. 所需元器件

本任务所需元器件如表 3-2 所示。

表 3-2 本任务所需元器件

元 器 件	型号或规格	数 量
印制电路板	—	1 块
电烙铁、镊子、焊锡丝等焊接工具	—	1 套
电阻	10kΩ	1 个
	510Ω	1 个
排针	1 个 4 针、2 个 2 针	7 针
发光二极管	3 寸或 5 寸 (1 寸 ≈ 3.33cm)	2 只
整流二极管	IN5819	1 只
电容	100μF/16V	2 个
短接帽	—	1 个
直流稳压电源	可调直流稳压电源	1 个



任务小结

- ◆ 掌握电容容量识别，电容的应用。
- ◆ 掌握 PN 结的形成、单向导电性。
- ◆ 熟悉二极管的应用。
- ◆ 熟悉示波器的基本使用方法。
- ◆ 掌握电容充/放电电路运行过程的工作原理分析。



学习心得

课后练习

- 稳压管的稳压区是指二极管工作在（ ）区。
 - 正向导通
 - 反向截止
 - 反向击穿
 - 以上都有
- 电路如图 3-40 (a) 所示, 其输入电压 U_A 和 U_B 的波形如图 3-40 (b) 所示, 二极管导通电压 $U_D=0.7V$ 。此时, 输出电压 U_Y 的波形正确的是 ()。

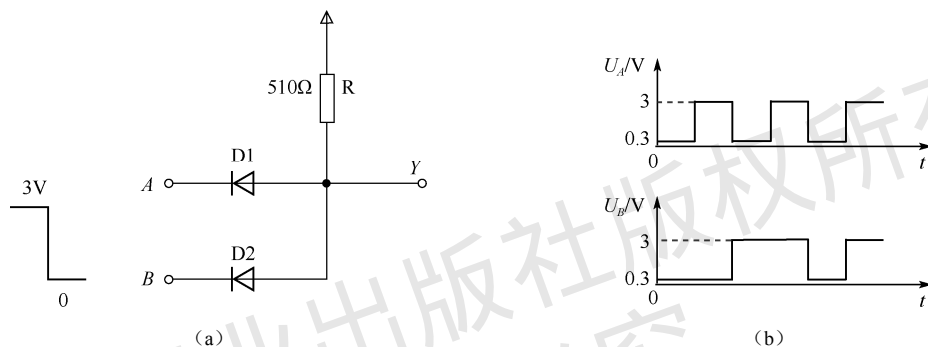
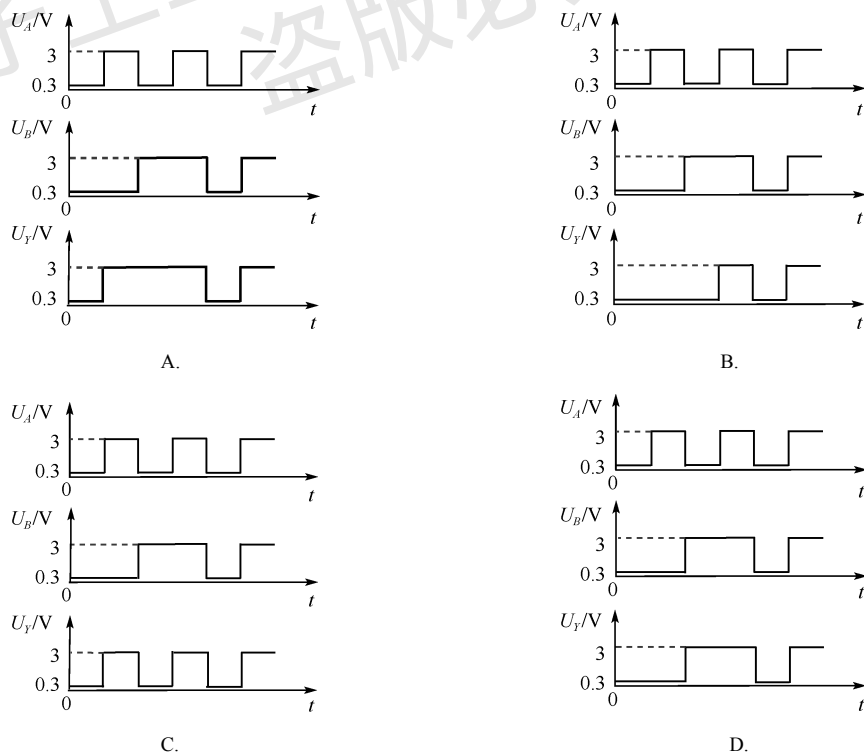


图 3-40 练习题 2 图



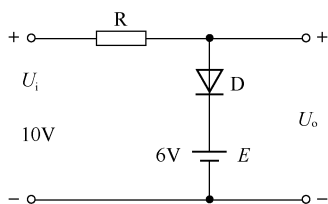
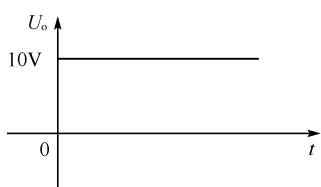
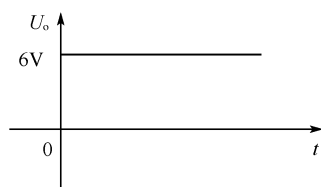


图 3-43 练习题 9 图



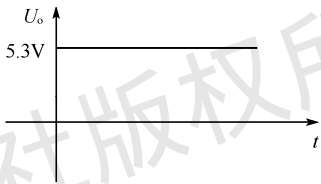
A.



B.



C.



D.