

项目 5 装调直流稳压电源



项目目标

知识目标

- (1) 了解电阻器、电容器、二极管、晶闸管等元件的结构、参数与用途。
- (2) 掌握晶闸管可控整流电路工作原理。
- (3) 了解稳压二极管的原理，掌握稳压二极管电路的构成。
- (4) 掌握整流滤波电路的工作原理。
- (5) 识读集成稳压电源（CW7800/CW7900 系列及 CW317 系列典型电路）电路图，掌握其工作原理。

能力目标

- (1) 会检测电阻器、电容器、二极管、晶闸管等元件。
- (2) 绘制整流滤波电路图。
- (3) 会制作整流滤波电路，并对电路故障进行排除。
- (4) 绘制集成稳压电源电路原理图。
- (5) 会制作集成稳压电源电路，并对电路进行调试与维修。

素质目标

培养学生具有良好的道德品质、职业素养、竞争和创新意识。



项目描述

当今社会人们极大地享受着电子设备带来的便利，但是任何电子设备都需要一个共同的电路——电源电路。从平板计算机到普通音响，所有的电子设备都必须在电源电路的支持下才能正常工作。一般的电子设备内部电路所需的工作电压为直流电压，如+5V、+12V、+36V等，而市电为 220V 交流电，因此需要合适的电源电路将市电的交流电转换成合适、稳定的直流电。

在本项目中，我们将重点学习常用电子元器件的识别、直流稳压电源的构成、工作原理等，并制作调试整流滤波电路、集成稳压电源电路，把市电提供的 220V 交流电转换成稳定的直流电。

任务 1 识别常用电子元器件



任务目标

知识目标

- (1) 了解电阻器、电容器、二极管、晶闸管的特性，并识别与检测。
- (2) 掌握晶闸管可控整流电路工作原理。
- (3) 了解稳压二极管的原理，掌握稳压二极管电路的构成。
- (4) 理解整流滤波电路工作原理，能进行简单的计算。

能力目标

- (1) 认识并会检测电阻器、电容器、二极管。
- (2) 绘制整流滤波电路图。
- (3) 会制作整流滤波电路，并对电路故障进行排除。



任务分析

电子元器件是组成电路、构成电子产品的基本单元，要对电子产品进行设计、维修必须能正确识别并检测常用的电子元器件。了解元器件特性，能正确识别元器件，才能避免出现选错、接反和误损元器件的现象。



知识准备

一、元器件的识别与检测

1. 电阻器

利用导体的电阻特性制成具有一定阻值的实体元件，称为电阻器，它是各种电路中常用的基本元件之一。

1) 认识电阻器

固定电阻器：这类电阻器的阻值固定，一般有碳膜电阻器、金属膜电阻器等，常见固定电阻器实物如图 5-1-1 所示。

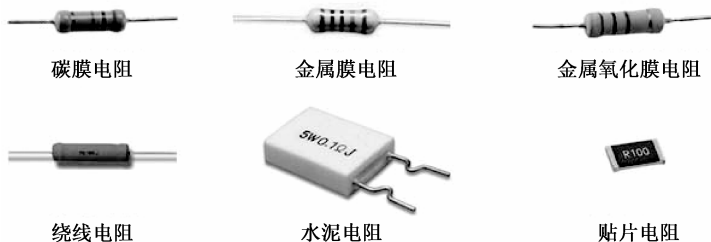


图 5-1-1 固定电阻器实物



可调电阻器：这类电阻器的阻值可在一定的范围内调节，通常有三个引脚，如图 5-1-2 所示。



图 5-1-2 可调电阻器实物

敏感电阻器：这类电阻器的阻值对温度、电压、光、机械力、湿度及气体浓度等表现敏感，根据对应表现敏感的物理量不同，可分为热敏、压敏、光敏、力敏、湿敏及气敏等类型。常见的敏感电阻器实物如图 5-1-3 所示。



图 5-1-3 敏感电阻器实物

2) 电阻器的主要指标

电阻器的主要指标有标称阻值、允许误差、额定功率等。一般都用数字或色环标注在表面。

标称阻值：电阻器上所标注的电阻值称为标称阻值。为了便于生产，同时考虑到满足使用需要，国家规定了一系列数值作为产品标准，这一系列数值称为电阻器的标称系列值。电阻器的标称系列值见表 5-1-1，电阻器的标称阻值应为表中所列数值的 10^n 倍，其中 n 为正整数、负整数或零。

表 5-1-1 电阻器的标称系列值

系 列	误 差	标称系列值								
E24	±5% (J)	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	
		2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	
		4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1	
E12	±10% (K)	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	
		4.7	5.6	6.8	8.2					
E6	±20% (M)	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8			

允许误差：指电阻器实际阻值相对于标称阻值所允许的最大误差范围，它标示着产品的精度，常用百分比或字母表示。表 5-1-1 中列出了三个等级精度，Ⅰ级精度是±5% (J)；Ⅱ级精度是±10% (K)；Ⅲ级精度是±20% (M)。

额定功率：指在额定环境温度下，电阻器长期安全连续工作所允许消耗的最大功率。

3) 电阻器色环标示方法

电阻器色环标示方法（色标法）是把电阻器的主要参数用不同颜色直接标示在产品上的一种方法。采用色环标注电阻器，颜色醒目，标示清晰，从各方位都能看清阻值和误差，有利于电子设备的装配、调试和检修，因此在国际上被广泛采用。固定电阻器的色标符号及其意义见表 5-1-2。

表 5-1-2 电阻器的色标符号及其意义

色环颜色	有效数字	倍乘	允许误差	色环颜色	有效数字	倍乘	允许误差
银	—	10^{-2}	$\pm 10\%$	绿	5	10^5	$\pm 0.5\%$
金	—	10^{-1}	$\pm 5\%$	蓝	6	10^6	$\pm 0.2\%$
黑	0	10^0	—	紫	7	10^7	$\pm 0.1\%$
棕	1	10^1	$\pm 1\%$	灰	8	10^8	—
红	2	10^2	$\pm 2\%$	白	9	10^9	$\pm 5\%$
橙	3	10^3	—	无标识	—	—	$\pm 20\%$
黄	4	10^4	—				

色环电阻的色环是按从左至右的顺序依次排列的，最左边为第一环。一般电阻器有四环，第一、第二色环代表电阻器的第一、二位有效数字，第三色环代表倍乘（即 10^n ），第四色环代表允许误差。例如，阻值是 $36\text{k}\Omega$ 、允许误差为 $\pm 5\%$ 的电阻器，其色环标示如图 5-1-4（a）所示。精密电阻器用三位有效数字表示，所以它一般有五环。例如，阻值为 $1.87\text{k}\Omega$ 、允许误差为 $\pm 1\%$ 的精密电阻器，其色环标示如图 5-1-4（b）所示。

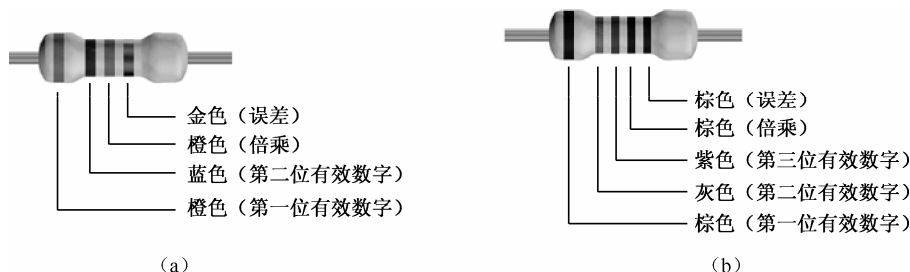


图 5-1-4 电阻器的色环标示

4) 电阻器选用

电阻器应根据其规格、性能指标，以及在电路中的作用和技术要求来选用。具体原则：电阻器的标称阻值与电路的要求相符；额定功率要比电阻器在电路中实际消耗的功率大 1.5~2 倍；允许误差应在要求的范围之内。

5) 电阻器的检测

电阻器阻值可以用万用表的电阻挡进行检测：测量未知阻值电阻器时，先不用调零，倍率挡任意；可先粗测电阻，看指针偏转范围，若指针偏转角度较小（在 100 格左侧），说明该电阻器阻值较大，应提高倍率挡；反之，若指针偏转角度较大（在 0 格附近），说明该电阻器阻值小，应降低倍率挡。倍率挡合适之后，再进行电阻调零，然后测量阻值，读取数据。

万用表电阻调零，即把红、黑表笔短接，同时调节电阻调零旋钮，使指针对准电阻挡刻



度线零位置，如图 5-1-5 所示。

倍率挡 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 、 $\times 1k$ 由表内 1.5V 电池供电； $\times 10k$ 由表内 9V 电池供电。当选择电阻挡时，万用表黑表笔与表内电池的正极连接；红表笔与电池负极连接。

测量电阻时，选择合适量程的准则：读数时尽量使指针偏转在万用表的中间或偏右的范围内。

2. 电容器

1) 认识电容器

电容器是电子设备中大量使用的电子元件之一，广泛应用于隔直、耦合、旁路、滤波、调谐等电路中。按照介质材料的不同，电容器可分为电解电容、独石电容、聚酯薄膜电容、陶瓷电容等；按极性可分为有极性电容、无极性电容。常见的电容器如图 5-1-6 所示。

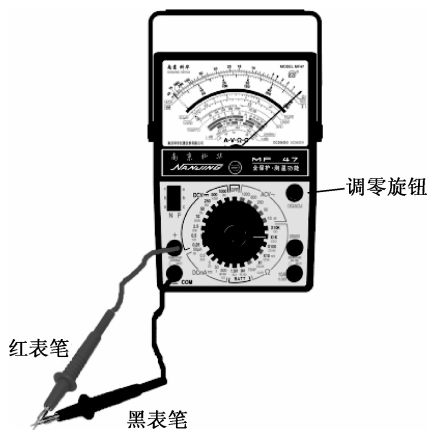


图 5-1-5 万用电阻挡调零



图 5-1-6 常见的电容器

(1) 电容器的型号：各国电容器的型号命名并不统一，国产电容器的型号命名一般由四部分组成（不适用于压敏、可变、真空电容器），如图 5-1-7 所示。

第一部分：名称，用字母表示，电容器用 C 表示。

第二部分：材料，用字母表示。A——钽电解、B——聚苯乙烯等非极性薄膜、C——高频陶瓷、D——铝电解、E——其他材料等。

第三部分：分类，一般用数字表示，个别用字母表示。

第四部分：序号，用数字表示。

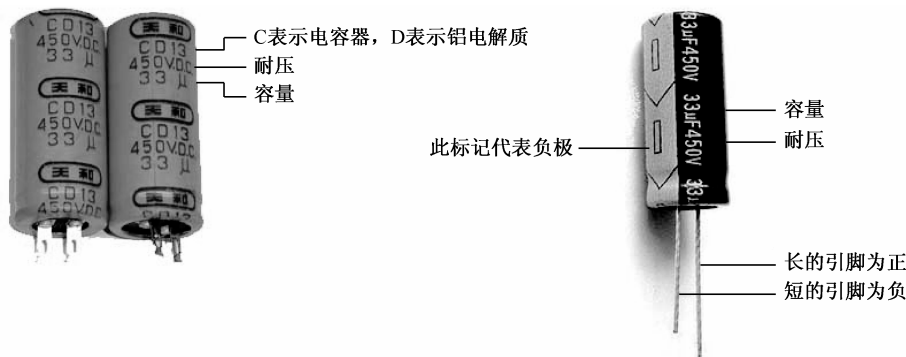


图 5-1-7 电容器的标识

(2) 容量标识: 电容器的容量标识常采用直标法及数字计数法。

直标法, 即将容量用数字和单位符号直接标出。如 $33\mu\text{F}$ 表示 $33\mu\text{F}$, 如图 5-1-7 所示。有些电容用“R”表示小数点, 如 R56 表示 $0.56\mu\text{F}$ 。

数学计数法, 如陶瓷电容, 标值 272, 容量就是 $27 \times 10^2 \text{pF} = 2700 \text{pF}$ 。如果标值 473, 即为 $47 \times 10^3 \text{pF} = 47000 \text{pF}$ (后面的 2、3 表示 10 的多少次方, 单位为 pF)。又如: 标值 332 = $33 \times 10^2 \text{pF} = 3300 \text{pF}$ 。

(3) 耐压标识: 每一个电容器都有它的耐压值, 即电容器的额定电压值, 这是电容器的重要参数之一。普通无极性电容器的标称耐压值有 63V、100V、160V、250V、450V、600V、1000V 等, 有极性电容器的标称耐压值有 4V、6.3V、10V、16V、25V、35V、50V、63V、80V、100V、220V、400V 等。选用电容器时, 应使额定电压高于实际工作电压, 并要预留一定的余量, 以应对电压的波动。一般情况下, 额定电压应高于实际工作电压的 10%~20%, 对于工作电压稳定性较差的电路, 可酌情预留更大的余量。

(4) 正、负标识: 普通电解电容器外面有一条很粗的白线, 白线里面有一行负号, 表示负极, 另一边为正极。直插式电容器的正、负极在一般的情况下都是长的引脚是正极, 短的引脚是负极, 如图 5-1-7 所示。

2) 电解电容器的识别

电解电容器是最为常见的电容器之一, 一般为有极性电容, 在应用时, 一定要保证电解电容器正极电位高于负极电位。如果接反, 会导通较大电流, 导致电容器热膨胀爆炸, 在应用时务必注意。

常用电解电容器容量范围一般为几微法至几千微法, 甚至更大的容量。耐压规格有 6.3V、10V、16V、25V、35V、50V、160V、250V、450V 等。

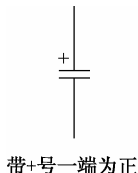
(1) 电路图符号。

电解电容器的图形符号如图 5-1-8 所示。

(2) 电解电容器质量判别。

电解电容器质量判别主要有感观判别和万用表判别两种方法。

感观判别: 损坏特征较明显的电容器, 如爆裂、电解质渗出、引脚锈蚀等情况, 可以直接观察到损坏特征, 如图 5-1-9 所示。



带+号一端为正

图 5-1-8 电解电容器的图形符号



图 5-1-9 已爆裂的电解电容器

万用表判别: 在相同的电压下给电容器充电, 容量大的起始充电电流大, 容量小的起始充电电流小。根据这个原理, 用万用表的电阻挡, 通过观察指针偏转角度大小可判别起始充电电流的大小。



万用表判别方法的操作：取一只新的电解电容器，它应与待检电容器规格相同，用这只新电容器作为基准。选择万用表电阻挡 $\times 100$ （或 $\times 1k$ ，视容量大小而定），先将新的电解电容器放电（无论原来是否充电），然后黑表笔接电容器正极，红表笔接电容器负极，可看到指针发生偏转（起始偏转角度最大，随充电进行指针回落至无穷大附近，这是充电电流逐渐减小直至零的过程），粗略记下指针偏转最大位置；再将待检电容器先放电（检测电容器之前必须先放电），然后黑表笔接电容器正极，红表笔接电容器负极，可看到指针发生偏转。与前一次进行比较，如果偏转最大位置基本一样，说明待检电容器的容量足够；如果偏转角度小于前者，则说明待检电容器容量下降，可考虑更换；如果指针基本不偏转，说明待检电容器容量消失，应更换。

注意：给容量较大、电路工作电压较高的电解电容器放电时，不可直接短路放电，因直接短路放电会产生很大的放电电流，容易损坏电解电容器。可采用功率较大的电阻器，或借用电烙铁电源插头（加热芯电阻）连接两引脚使电容器放电。

3. 二极管

二极管是用半导体材料制成的，通常又叫晶体二极管，其核心是一个 PN 结，被广泛应用于各种电路中。

1) PN 结及其特性

在 P 型半导体上采用一定的工艺，再生成 N 型半导体，P 型半导体的多数载流子是空穴，N 型半导体的多数载流子是电子，P 型半导体与 N 型半导体之间产生一个交结区，这个交结区就称为 PN 结，如图 5-1-10 所示。

PN 结最基本的特性就是单向导电，即通过 PN 结的电流在正常情况下只能沿单一方向流动。

2) 二极管的外形

在 PN 结的 P 区和 N 区各接一个电极，再进行外壳封装并印上标记，就制成了一个二极管。常见的几种二极管外形如图 5-1-11 所示。

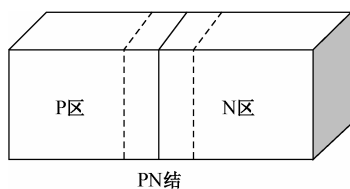


图 5-1-10 PN 结



图 5-1-11 常见的几种二极管外形

二极管的两个电极分别称为阳极（也叫正极）、阴极（也叫负极）。阳极从 P 区引出，阴极从 N 区引出。从二极管的外形，可辨别二极管的阳极和阴极。圆柱形二极管常在外壳一端用色环或色点表示阴极（负极），没有标记的另一端就是阳极（正极）。对于无色标，但两引脚一长一短的，长引脚为阳极（正极），短引脚为阴极（负极）。

3) 二极管的图形符号

二极管的种类与用途较多，在绘制电路图时对不同种类二极管规定了不同的图形符号，如图 5-1-12 所示。其中，横线一端为阴极，另一端为阳极。



图 5-1-12 二极管的图形符号

4) 二极管的特性

二极管由 PN 结构成, PN 结加正向电压 (P 区的电位高于 N 区的电位) 能导通电流, PN 结加反向电压 (N 区的电位高于 P 区的电位) 就难以导通电流, 这表明 PN 结具有单向导电特性。

二极管伏安特性: 二极管的伏安特性是研究给二极管加上电压时, 流过二极管电流的情况。二极管的伏安特性包括正向特性及反向特性。

二极管的伏安特性如图 5-1-13 所示, R_p 是电位器, 改变 R_p 就可以改变二极管两端电压, R 是限流电阻, 起到保护二极管的作用。

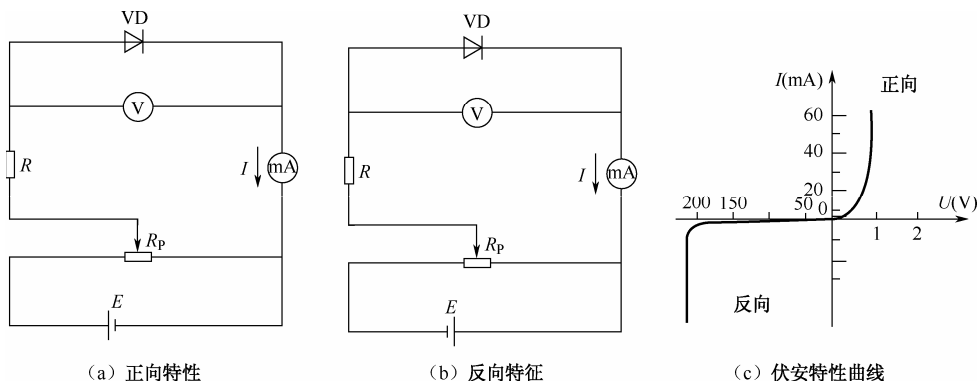


图 5-1-13 二极管的伏安特性

正向特性: 如图 5-1-13 (a) 所示, 调节 R_p , 二极管两端正向电压低于 0.5V 时, 二极管几乎不导通, 电流为零, 电压从 0.5V 逐渐增大, 电流也随之逐渐增大, 当电压达到 0.7V 时电流增加速度明显加快, 继续调节 R_p , 二极管两端电压基本不再变化, 但电流却迅速增大。经过定量测量就可得出正向伏安特性曲线。

反向特性: 给二极管加反向电压, 如图 5-1-13 (b) 所示调节 R_p , 使反向电压从零逐渐增大, 开始时流过二极管的电流几乎为零, 当反向电压增大到某一数值时, 流过二极管的反向电流迅速增大, 此时二极管处于反向击穿状态。经定量测量可得到反向伏安特性曲线。

由以上可知, 二极管加正向电压超过 0.5V 时, 二极管开始导通, 达到 0.7V 时 (硅管), 二极管正向电压基本不再变化, 我们将这一电压 (约 0.7V) 称为二极管的正向导通压降。若二极管是锗材料制成的, 则称为锗二极管的正向导通压降 (为 0.2~0.3V)。二极管加反向电压时, 电压从零到某一电压值之前, 二极管几乎无电流通过, 达到某一值时电流突然增大, 这表明二极管反向击穿了, 流过的电流为反向电流, 这一电压称为击穿电压。

结论: 二极管加正向电压 (硅管超过 0.5V; 锗管超过 0.2V) 时, 二极管导通, 导通压降 0.7V (硅管 0.7V; 锗管 0.3V)。二极管导通时, 有电流流过二极管; 二极管加反向电压 (未超过击穿电压) 时, 二极管截止。二极管截止时, 没有电流流过二极管。



5) 认识二极管

二极管种类很多,按照制造材料的不同可分为硅二极管和锗二极管;按照用途可分为整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管等,本项目中将应用以下两种二极管。

(1) 整流二极管。

整流二极管是对 PN 结单向导电特性的典型应用。由于工作频率不同,整流二极管又分为普通整流二极管和快速恢复整流二极管。

为了满足负载对电流的需要,二极管应能通过足够的电流而不损坏,而且当电路出现反向电压时不至被击穿,所以整流二极管的主要参数包括最大整流电流 I_{DM} 、最高反向工作电压 U_{RM} 等。

最大整流电流 I_{DM} : 在保证二极管长期正常工作的前提下,允许流过二极管的最大电流。不同型号的二极管,有不同的最大整流电流值,可通过查阅二极管参数手册获得。

最高反向工作电压 U_{RM} : 整流二极管工作过程中,二极管能够承受的最高反向电压。不同型号的二极管,最高反向工作电压 U_{RM} 的值是不同的,部分常用整流二极管的主要参数见表 5-1-3。

表 5-1-3 部分常用整流二极管的主要参数

参数名称		正向 电流	正向 电压	反向 电流	最高反向 工作电压	参数名称		正向 电流	正向 电压	反向 电流	最高反向 工作电压
参数符号		I_{DM}	U_F	I_R	U_{RM}	参数符号		I_{DM}	U_F	I_R	U_{RM}
单位		A	V	μA	V	单位		A	V	μA	V
型 号	1N4001	1	0.7	5	50	型 号	PS2010	2	1.2	15	1000
	1N4002	1	0.7	5	100		1N5400	3	1	5	50
	1N4003	1	0.7	5	200		1N5401	3	1	5	100
	1N4004	1	0.7	5	400		1N5402	3	1	5	200
	1N4005	1	0.7	5	600		1N5403	3	1	5	300
	1N4006	1	0.7	5	800		1N5404	3	1	5	400
	1N4007	1	0.7	5	1000		1N5405	3	1	5	500
	P600A	6	0.7	25	50		1N5406	3	1	5	600
	P600B	6	0.7	25	100		1N5407	3	1	5	800
	P600D	6	0.7	25	200		1N5408	3	1	5	1000
	P600G	6	0.7	25	400		1N5391	1.5	1.4	10	50
	P600J	6	0.7	25	600		1N5392	1.5	1.4	10	100
	P600K	6	0.7	25	800		1N5393	1.5	1.4	10	200
	P600L	6	0.7	25	1000		1N5394	1.5	1.4	10	300
	PS200	2	1.2	15	50		1N5395	1.5	1.4	10	400
	PS201	2	1.2	15	100		1N5396	1.5	1.4	10	500
	PS202	2	1.2	15	200		1N5397	1.5	1.4	10	600
	PS204	2	1.2	15	400		1N5398	1.5	1.4	10	800
	PS206	2	1.2	15	600		1N5399	1.5	1.4	10	1000
	PS208	2	1.2	15	800						

(2) 稳压二极管。

稳压二极管应用了 PN 结反向击穿特性，稳压管中的 PN 结反向击穿时，反向电流最大，PN 结两端的反向电压稳定，且反向电压消失后，PN 结不会损坏。因为它有稳压特点，因此称为稳压二极管。稳压二极管工作在反向击穿状态。

稳压二极管的参数如下。

稳定电压 U_Z ：稳压二极管击穿时，二极管上保持的反向电压值称为稳压二极管的稳定电压。

稳定电流 I_Z ：稳压二极管在长期正常工作状态下的反向击穿电流称为稳压电流。

最大工作电流 I_{ZM} ：稳压二极管在长期正常工作状态下的最大反向击穿电流称为最大工作电流。超出此电流稳压二极管就会损坏。

允许耗散功率 P ：允许耗散功率约等于稳定电流与稳定电压的乘积，选择稳压二极管时可由此估算。常见稳压二极管的主要参数见表 5-1-4。

表 5-1-4 常见稳压二极管的主要参数

国产代换型号	稳压值 U_Z (V)			允许功耗 P (mW)
	最小值	最大值	测试条件	
			I_Z (mA)	
2CW50	1.88	2.12	20	400
2CW104	5.8	6.6	20	400
2CW109	10.4	11.6	10	400
2CW116	22.5	24.85	5	400
2CW17	24.26	27.64	5	400
2CW103	5	5.2	5	500
2CW103	5.8	6	5	500
2CW104	6	6.3	5	500
2CW105	7.34	7.7	5	500
2CW107	8.9	9.3	5	500
2CW110	12.12	12.6	5	500
2CW110	12.4	13.1	5	500
2CW111	13.5	14.1	5	500
2CW112	14.4	15.15	5	500
2CW113	17.55	18.45	5	500
2CW103	5.2	5.7	5	500
2CW105	6.3	6.9	5	500
2CW105	6.7	7.2	5	500
2CW109	9.5	11.5	5	500
2CW111	11.6	14.3	5	500
2CW109	11.13	11.71	5	500
2CW110	11.2	13.1	15	500
2CW111	12.4	14.1	15	500
2CW104	5.88	6.12	15	500



续表

国产代换型号	稳压值 U_Z (V)		允许功耗	
	最小值	最大值	测试条件	P (mW)
			I_Z (mA)	
2CW101	27.2	28.6	0.1	500
2CW101	2.5	2.9	5	500

6) 二极管的判别

二极管具有动态电阻特性，正向导通时电阻很小，反向截止时电阻很大。根据这一特点，可以用万用表测量二极管正、反向电阻值，以此为依据判别二极管故障及引脚极性。二极管正、反向电阻的测量如图 5-1-14 所示。

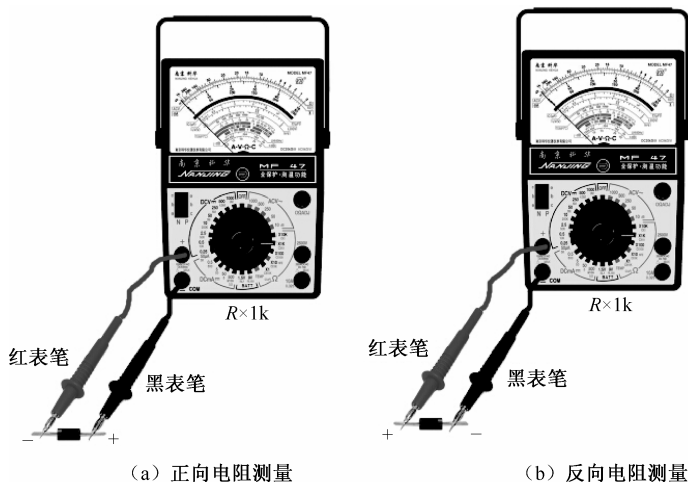


图 5-1-14 二极管正、反向电阻的测量

正常的硅二极管，正向电阻约为 $5k\Omega$ ，反向电阻为无穷大。若一只二极管正、反向电阻均为正常值，就说明这只二极管是正常的，否则可能已经损坏。

锗材料二极管如 2AP9、2AP30、2AN1 等，它们的正向电阻正常值约为 $1k\Omega$ ，反向电阻正常值约为 $500k\Omega$ 。

注意：测量时所用万用表不同，测出二极管正、反向电阻值也不同；测量时选用的万用表倍率挡不同，测出的结果也不一样。一般来讲，其正向电阻越小，同时反向电阻越大，质量就越好。以上测量方法只对普通二极管有效，对于变容二极管等特殊二极管测量时须另行对待。

(1) 二极管的常见故障。

击穿故障：用万用表测量正、反向电阻，如果都接近 0Ω ，说明二极管已击穿。二极管击穿的原因一般是由于二极管承受的反向电压超过 U_{RM} 。

开路故障：用万用表测量正、反向电阻，正、反向电阻都为无穷大，说明二极管内部开路。开路故障的原因一般是由于流过二极管的电流过大，导致 PN 结烧断或由于受潮或机械振动使 PN 结内部与电极断开。

二极管变质故障：这是一种介于短路与开路之间的情形，这种故障多在正、反向电阻上

有所表现,即二极管的正向电阻过大,而反向电阻偏小,失去了单向导电作用,不能继续使用,必须更换。

(2) 极性的判断。

在进行二极管的正、反向电阻测量时,当测得的电阻值较小时,红表笔(实际接表内电池的负极)与之相接的引脚就是二极管的负极,与黑表笔(实际接表内电池正极)相接的引脚为二极管的正极。反之,当测得的电阻值较大时,与红表笔相接的引脚为二极管的正极,与黑表笔相接的引脚就是负极。

4. 晶闸管

晶闸管又称为可控硅。自 20 世纪 50 年代问世以来已经发展成一个大的家族,包括单向晶闸管、双向晶闸管、光控晶闸管、逆导晶闸管、可关断晶闸管、快速晶闸管等。

1) 晶闸管的结构

通常所说的普通晶闸管即为单向晶闸管,其结构如图 5-1-15 所示。

它由四层半导体材料组成,有 3 个 PN 结,对外有三个电极:第一层 P 型半导体引出的电极称为阳极 A,第三层 P 型半导体引出的电极称为控制极 G,第四层 N 型半导体引出的电极称为阴极 K。

2) 晶闸管的外形

晶闸管的外形、图形符号如图 5-1-16 所示。其电路符号与二极管相似,只是在其阴极处增加了一个控制极。

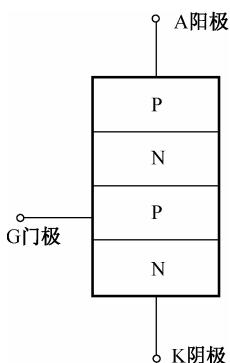


图 5-1-15 晶闸管的结构



(a)



(b)

图 5-1-16 晶闸管的外形、图形符号

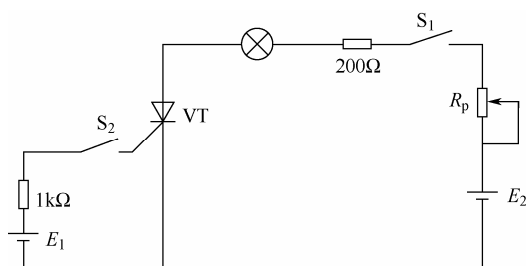


图 5-1-17 晶闸管单向导电性的实验电路

晶闸管可以理解为一个受控制的二极管,也具有单向导电性,不同之处在于除了阳极与阴极之间的正向偏置电压外,还必须给控制极加一个足够大的控制电压,在这个控制电压的触发作用下,晶闸管就会像二极管一样导通,一旦晶闸管导通,控制电压即使取消,也不会影响其正向导通的工作状态。

3) 晶闸管的特性分析

晶闸管单向导电性的实验电路如图 5-1-17 所示。



开关 S_1 闭合、 S_2 断开时，指示灯不亮；交换 E_1 的极性，指示灯仍不亮；开关 S_1 、 S_2 闭合，指示灯亮；指示灯亮后，断开 S_2 ，指示灯仍亮；交换 E_2 的极性重做，指示灯不亮。

结论：无控制信号时，指示灯均不亮，即晶闸管不导通（阻断）；当阳极、控制极均加上正偏压时，指示灯亮，即晶闸管导通；若阳极、控制极电压有一个反偏时，指示灯不亮，即晶闸管不导通；指示灯亮后，如果撤掉控制电压，指示灯仍亮，即晶闸管维持导通，而控制极失去控制作用。晶闸管导通和关断条件见表 5-1-5。

表 5-1-5 晶闸管导通和关断条件

状 态	条 件	说 明
从关断到导通	1. 阳极电位高于阴极电位 2. 控制极有足够的正向电压和电流	两者缺一不可
维持导通	1. 阳极电位高于阴极电位 2. 阳极电流大于维持电流	两者缺一不可
从导通到关断	1. 阳极电位低于阴极电位 2. 阳极电流小于维持电流	任意一个条件即可

4) 晶闸管的主要参数

额定通态平均电流 I_F ：晶闸管允许通过的工频正弦半波电流的平均值。

通态平均管压降 U_F ：晶闸管正向导通状态下阳极和阴极两端的平均电压降，一般为 0.6~1.2V。

维持电流 I_H ：维持晶闸管导通状态所需的最小阳极电流。

最小触发电压 U_G ：指晶闸管正向偏置情况下，为使其导通而要求控制极所加的最小触发电压，一般为 1~5V。

晶闸管导通后，由于某种原因使阳极电流小于维持电流 I_H 时，晶闸管就会关断，即由导通转为阻断状态；晶闸管关断后，必须重新触发才能再次导通。

5) 单向晶闸管的检测

万用表选用电阻 $\times 1$ 挡，用红、黑两表笔分别测任意两引脚间正、反向电阻，直至找出读数为数十欧姆的一对引脚，此时黑表笔接的引脚为控制极 G，红表笔接的引脚为阴极 K，另一空脚为阳极 A。将黑表笔接已判断了的阳极 A，红表笔仍接阴极 K，此时万用表指针应不动。用短接线瞬间短接阳极 A 和控制极 G，此时万用表指针应向右偏转，阻值读数为 10 Ω 左右。如阳极 A 接黑表笔，阴极 K 接红表笔时，万用表指针发生偏转，说明该单向晶闸管已击穿损坏。

二、直流稳压电源

1. 直流稳压电源的组成

直流稳压电源是能为负载提供稳定直流电源的电子装置，不论用分立元器件构成稳压器，还是用集成稳压器，一个完整的直流稳压电源均可分为变压、整流、滤波和稳压四个部分。其框图及对应的特征波形如图 5-1-18 所示。

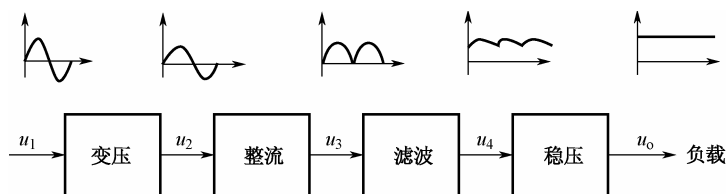


图 5-1-18 直流稳压电源框图及对应的特征波形

电源变压器：将交流电网电压 u_1 变为合适的交流电压 u_2 。

整流电路：将交流电压 u_2 变为脉动的直流电压 u_3 。

滤波电路：将脉动直流电压 u_3 转变为平滑的直流电压 u_4 。

稳压电路：清除电网波动及负载变化的影响，保持输出电压 u_0 的稳定。

2. 整流电路分析

整流电路按组成的器件可分为不可控电路、半控电路、全控电路三种。不可控整流电路完全由不可控二极管组成，其直流整流电压和交流电源电压值的比是固定不变的；半控整流电路由可控器件和二二极管混合组成，在这种电路中，负载电源极性不能改变，但平均值可以调节；在全控整流电路中，所有的整流器件都是可控的（SCR、GTR、GTO 等），其输出直流电压的平均值及极性可以通过控制器件的导通状况而得到调节。

1) 单相桥式整流电路

单相桥式整流电路采用了 4 只二极管，互相接成桥式，故称为桥式整流电路，如图 5-1-19 所示。

整流过程中，4 只二极管两两轮流导通，因此正、负半周内都有电流流过 R_L ，从而使输出电压的直流成分提高，脉动系数降低。在 u_2 的正半周（假定为上正下负）VD₁、VD₃ 导通，VD₂、VD₄ 截止；负半周（上负下正），VD₂、VD₄ 导通，VD₁、VD₃ 截止。无论在正半周还是负半周，流过 R_L 的电流方向是一致的。单相桥式整流电路波形如图 5-1-20 所示。

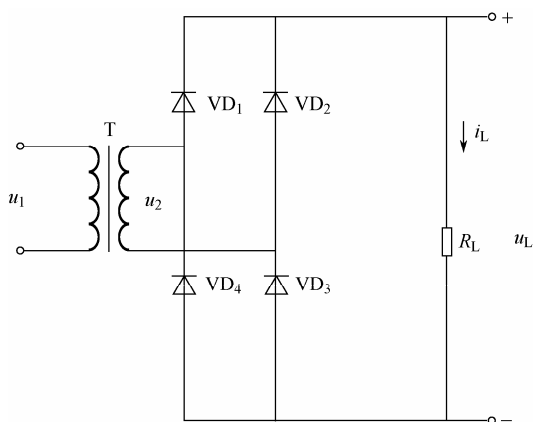


图 5-1-19 单相全波（桥式）整流电路

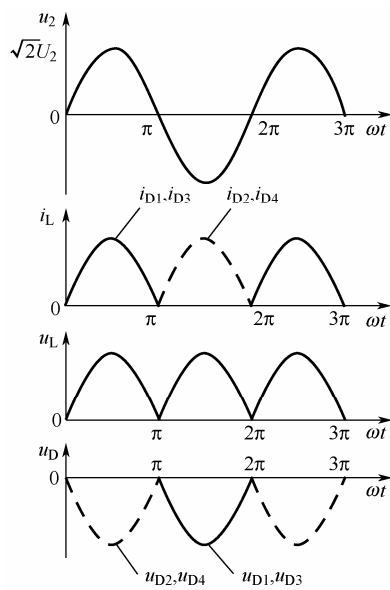


图 5-1-20 单相桥式整流电路波形



桥式整流电路的输出电压 U_L :

$$U_L = 0.9U_2$$

流过二极管的平均电流 I_D :

$$I_D = \frac{1}{2} I_L$$

截止的二极管承受的反向电压 U_{RM} :

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2$$

2) 单相可控半波整流电路

当负载为电阻性负载时,其电路及其电压与电流波形如图 5-1-21 所示,导通角 $\theta=180^\circ-\alpha$,控制角 α 的调整范围为 $0^\circ\sim 180^\circ$ 。

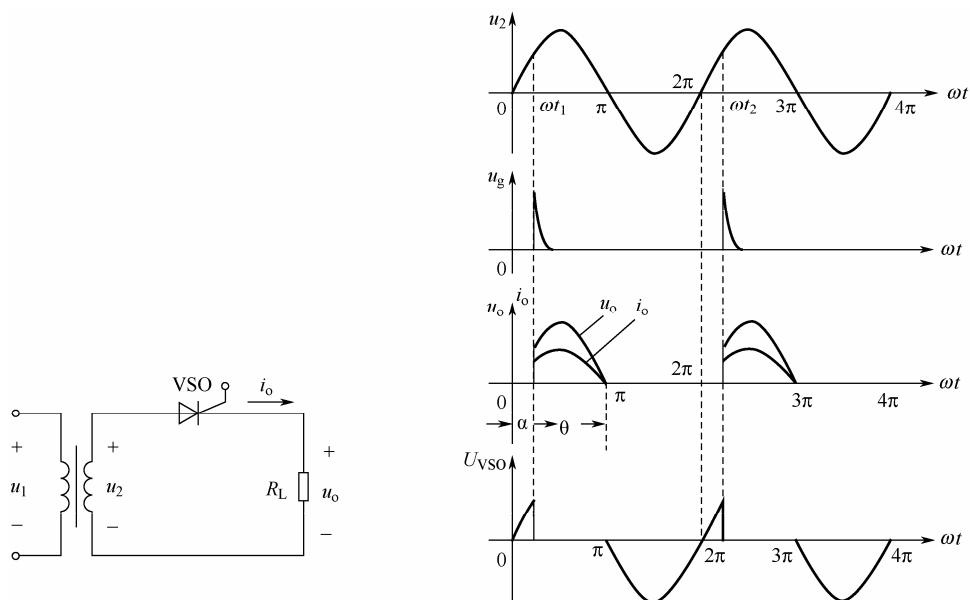


图 5-1-21 接电阻性负载的单相可控半波整流电路及其电压与电流波形

输出电压的平均值:

$$U_o = 0.45U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

输出电流的平均值:

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \frac{H \cos \alpha}{2}$$

晶闸管承受的最高正向电压:

$$U_{FM} = \sqrt{2}U_2$$

晶闸管承受的最高反向电压:

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2$$

晶闸管中电流的平均值:

$$I_{VSO} = I_o$$

变压器副边电流的有效值:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_L} \sqrt{\frac{1}{4\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{2\pi}}$$

3) 单相半控桥式整流电路

单相半控桥式整流电路及其电压与电流波形如图 5-1-22 所示。

输出电压的平均值:

$$U_o = 0.9U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

输出电流的平均值:

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

晶闸管承受的最高正向电压:

$$U_{FM} = \sqrt{2}U_2$$

晶闸管承受的最高反向电压:

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2$$

晶闸管中电流的平均值:

$$I_{VSO} = \frac{1}{2} I_o$$

变压器副边电流的有效值:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_L} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

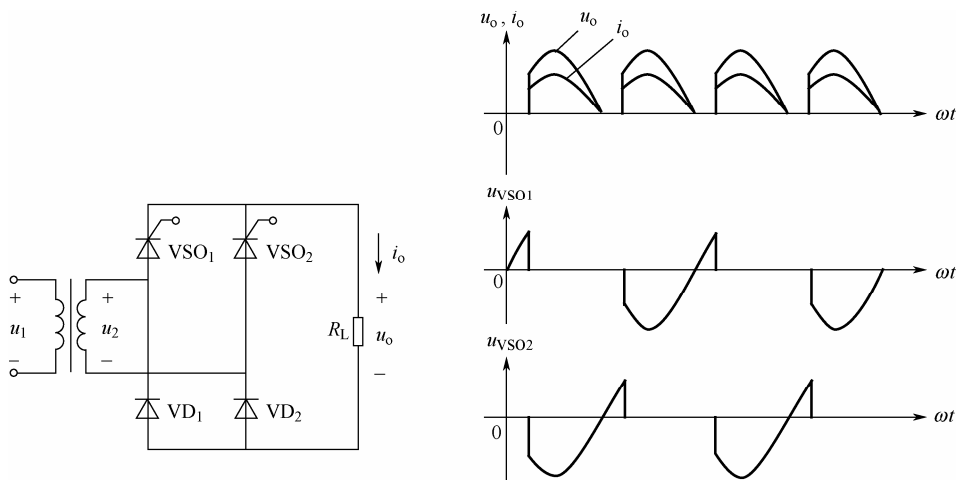


图 5-1-22 接电阻性负载的单相半控桥式整流电路及其电压与电流波形

3. 滤波电路分析

无论哪种整流电路, 它们的输出电压都含有较大的脉动成分。除了一些特殊场合可以直接用作电源外, 通常都要采取一定的措施, 一方面尽量降低输出电压中的脉动成分, 另一方面又要尽量保留其中的直流成分, 使输出电压接近于理想的直流电压。这样的措施就是滤波。电容是常见的滤波元件。



1) 桥式整流滤波电路工作原理

电容滤波电路如图 5-1-23 所示, 在负载电阻 R_L 上并联一只电容, 就构成了电容滤波电路。电容滤波电路的波形图如图 5-1-24 所示。

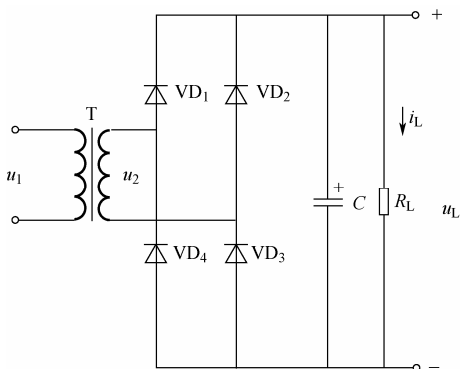


图 5-1-23 电容滤波电路

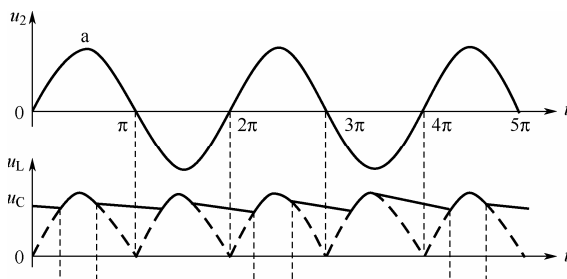


图 5-1-24 电容滤波电路的波形图

当 u_2 为正半周并且数值大于电容两端电压 u_C 时, 二极管 VD_1 和 VD_3 导通, VD_2 和 VD_4 截止, 电流一路流经负载电阻 R_L , 另一路对电容 C 充电。当 $u_C > u_2$ 时, 导致 VD_1 和 VD_3 反向偏置而截止, 电容通过负载电阻 R_L 放电, u_C 按指数规律缓慢下降。

当 u_2 为负半周幅值变化到恰好大于 u_C 时, VD_2 和 VD_4 因加正向电压变为导通状态, u_2 再次对 C 充电, u_C 上升到 u_2 的峰值后又开始下降; 下降到一定数值时 VD_2 和 VD_4 变为截止, C 对 R_L 放电, u_C 按指数规律下降; 放电到一定数值时 VD_1 和 VD_3 变为导通, 重复上述过程。

2) 结论

根据以上分析, 对电容滤波可以得到下面几个结论。

(1) 输出电压的关系式:

$$U_L = 1.2 \sim 1.4 U_2$$

(2) 加了滤波电容以后, 输出电压中的脉动成分降低了。

(3) 电容放电时间常数 ($\tau = R_L C$) 越大, 放电过程越慢, 输出电压越高, 脉动成分越少, 即滤波效果越好。

(4) 由于电容滤波电路的输出电压 u_L 随着输出电流 i_o 变化, 所以电容滤波适用于负载电流变化不大的场合。

注意: 由于滤波电容容值比较大, 约几十至几千微法, 一般选用电解电容器。接入电路时, 注意电容器的极性不可接反。电容器的耐压应该大于 $\sqrt{2}U_2$ 。

4. 稳压电路分析

1) 稳压二极管

稳压二极管利用其反向击穿时的伏安特性实现稳压, 如图 5-1-25 所示。在反向击穿区, 当流过稳压管的电流在一个较大的范围内变化时 (变化量为 ΔI), 稳压管两端相应的变化量 ΔU 却很小。因此如果将稳压二极管和负载并联, 就能在一定条件下保持输出电压基本稳定。

2) 稳压二极管电路

整流滤波所得的直流电压作为稳压电路的输入电压 U_1 , 稳压二极管 DZ 与负载电阻 R_L 并联, 如图 5-1-26 所示。稳压二极管要处于反向接法, 限流电阻 R 也是稳压电路不可缺少

的组成元件,当输入电压波动时,通过调节 R 两端的电压来保持输出电压基本不变。

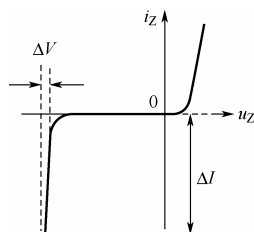


图 5-1-25 稳压二极管特性

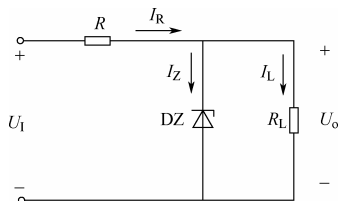
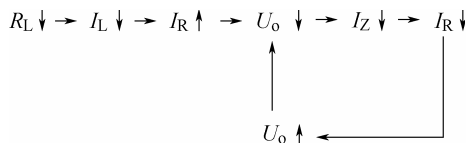


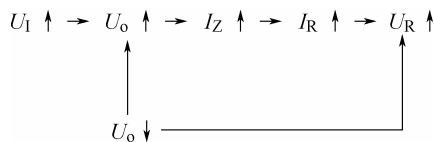
图 5-1-26 稳压二极管电路

稳压二极管电路的稳压原理分析如下。

(1) 假设输入电压 U_i 不变、负载电阻 R_L 减小、 I_L 增大时,由于电流在电阻 R 上的电压升高,输出电压 U_o 下降。而稳压管并联在输出端,由其伏安特性可见,当稳压管两端电压略有下降时,电流 I_Z 急剧减小,也就是由 I_Z 的急剧减小来补偿 I_L 的增大,最终使 I_R 基本保持不变,因而输出电压也维持基本稳定。上述过程可简明表示如下:



(2) 假设负载电阻 R_L 保持不变,输入电压 U_i 升高时,输出电压 U_o 也将随之上升,但此时稳压管的电流 I_Z 急剧增加,则电阻 R 上的电压增大,以此来抵消 U_i 的升高,从而使输出电压基本保持不变。上述过程可简明表示如下:



任务实施

制作桥式整流滤波电路

一、工具及元器件

1. 工具

主要工具有电烙铁、万用表、示波器和万能板,如图 5-1-27 所示。



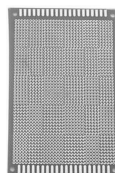
电烙铁及焊锡等



万用表



示波器



万能板

图 5-1-27 所需工具