

第5章

半导体二极管及其应用

5.1 任务 1：二极管基础知识认知

5.1.1 半导体二极管

半导体二极管简称二极管,是一种非线性半导体器件,它具有单向导电特性,广泛用于整流、稳压、检波、限幅等场合。

1. 结构

半导体二极管是由一个 PN 结加上管壳封装而成的,从 P 端引出的一个电极称为阳极,从 N 端引出另一个电极称为阴极。二极管的实物外形如图 5-1 所示。

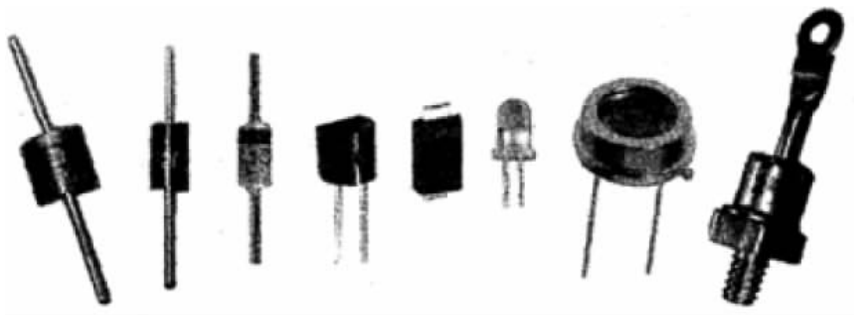


图 5-1 二极管的实物外形图

2. 类型

按制造二极管的材料分类,有硅二极管和锗二极管。按用途来分类,有整流二极管、开关二极管、稳压二极管等。按结构来分类,主要有点接触型、面接触型、平面型二极管。

点接触型二极管的 PN 结面积小,结电容也小,因而不允许通过较大的电流,但可在高频率下工作;而面接触型的二极管由于 PN 结面积大,可以通过较大的电流,但只在较高的频率下工作。二极管的内部结构及符号如图 5-2 所示。

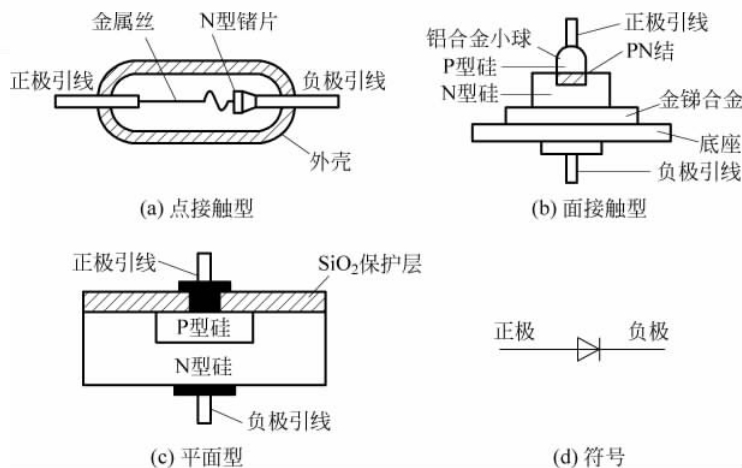


图 5-2 二极管的内部结构及符号

3. 特性

流过二极管的电流与其两端电压之间的关系曲线称为二极管的伏安特性,如图 5-3 所示。伏安特性表明二极管具有单向导电特性。

(1) 正向特性。当加在二极管两端的正向电压数值较小时,由于外电场不足以克服内电场,故多数载流子扩散运动不能进行,正向电流几乎为零,二极管不导通,把对应的这部分区域称为“死区”。死区电压的大小与材料的类型有关,一般硅二极管为 0.5V 左右;锗二极管为 0.1V 左右。

当正向电压大于死区电压时,外电场削弱了内电场,帮助多数载流子扩散运动,正向电流增大,二极管导通,这时正向电压稍有增大,电流会迅速增加,电压与电流的关系呈现指数关系。图 5-3 中曲线显示,管子正向导通后其管压降很小(硅管为 0.6~0.7V,锗管为 0.2~0.3V),相当于开关闭合。

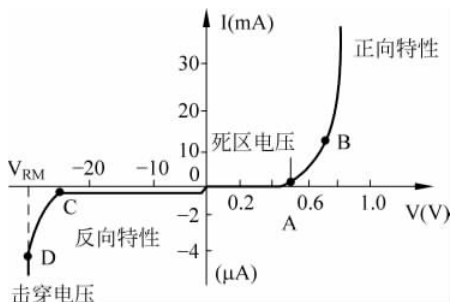


图 5-3 小功率硅二极管的伏安特性曲线

(2) 反向特性。当二极管加反向电压时,外电场作用增强了内电场对多数载流子扩散运动的阻碍作用,扩散运动很难进行,只有少数载流子在这两个电场的作用下通过 PN 结,形成很小的反向电流。由于少数载流子的数目很少,即使增加反向电压,反向电流仍基本保持不变,称此电流为反向饱和电流。所以如果给二极管加反向电压,二极管将接近于截止状态,这时相当于开关断开。

(3) 反向击穿特性。如果继续增加反向电压,当超过 U_B 时,反向电流急剧增大,这种现象称为反向击穿。 U_B 为反向击穿电压。反向击穿后,如果不对反向电流的数值加以限制,将会烧坏二极管,所以普通二极管不允许工作在反向击穿区。

4. 参数

为了正确、合理地使用二极管，必须了解二极管的指标参数。

(1) 最大整流电流 I_F 。最大整流电流是指二极管长期工作时，允许通过管子的最大正向平均电流。因为电流通过 PN 结要引起管子发热，电流太大，发热量超过限度，就会使 PN 结烧坏。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM} 。指允许加在二极管上的反向电压的最大值。一般手册上给出的最高反向工作电压约为击穿电压的一半，以确保管子安全工作。

(3) 反向电流 I_R 。指在室温下，二极管两端加上规定反向电压时的反向电流。其数值越小，说明二极管的单向导电性越好。硅材料二极管的反向电流比锗材料二极管的反向电流要小。另外，二极管受温度的影响较大，当温度增加时，反向电流会急剧增加，在使用时需要加以注意。

表 5-1、表 5-2、表 5-3、表 5-4 列出了 2AP、2CZ、国外 1N 系列中 2AP1~2AP10 型号二极管的主要参数。

表 5-1 2AP1~2AP10 半导体二极管型号和主要参数

型号	最大整流电流/mA	反向击穿电压/V	最高反向工作电压/V	最高工作频率/MHz
2AP1	16	≥ 40	20	150
2AP2	16	≥ 45	30	150
2AP3	25	≥ 45	30	150
2AP4	16	≥ 75	50	150
2AP5	16	≥ 110	75	150
2AP6	12	≥ 150	100	150
2AP7	12	≥ 150	100	150
2AP8	35	≥ 20	10	150
2AP9	8	≥ 20	15	100
2AP10	8	≥ 35	30	100

表 5-2 2CZ 系列部分硅整流二极管型号和主要参数

型 号	最大整流电流/A	最高反向工作电压/V	正向电压降/V	反向漏电流/A	储存温度/℃
2CZ52A~M	0.1	25~1000	≤1.0	≤5	-40~+150
2CZ53A~M	0.3			≤10	
2CZ54A~M	0.5				
2CZ55A~M	1		≤0.8	≤20	140
2CZ56A~M	3				
2CZ57A~M	5				

表 5-3 2CZ 系列硅整流二极管最高反向工作电压分挡标志

最高反向工作电压/V	25	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
分挡标志	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M

表 5-4 国外 1N 系列普通二极管和主要技术参数

型 号	最高反向工作电压/V	最大整流电流/A	正向电压降/V	反向电流/A
1N4001	50	1	≤ 1	≤ 10
1N4002	100	1	≤ 1	≤ 10
1N4004	400	1	≤ 1	≤ 10
1N4007	1000	1	≤ 1	≤ 10
1N5401	100	3	≤ 1.2	≤ 10
1N5404	400	3	≤ 1.2	≤ 10
1N5407	800	3	≤ 1.2	≤ 10
1N5408	1000	3	≤ 1.2	≤ 10

5.1.2 特殊二极管

特殊二极管包括稳压二极管、发光二极管、光敏二极管、光电池等。

1. 稳压二极管

稳压二极管是一种能稳定电压的二极管，如图 5-4 所示为它的伏安特性及符号图。稳压二极管的正向特性曲线与普通二极管相似，反向特性段比普通二极管更陡些，稳压管能正常工作在反向击穿区 BC 段内，在此区段，反向电流变化时，管子两端电压变化很小，因此具有稳压作用。

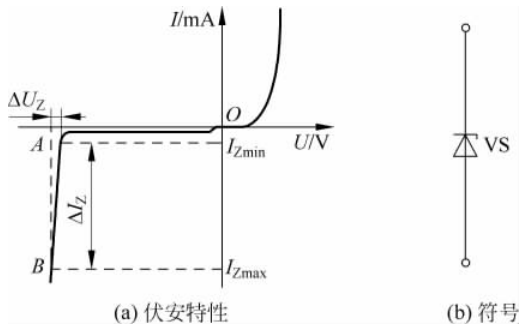


图 5-4 稳压二极管的伏安特性及符号

稳压二极管的主要参数如下。

稳定电压 U_z ——是指在规定测试条件下，稳压管工作在击穿区时的稳定电压值。例如，2CW53 型硅稳压二极管在测试电流 $I_z=10\text{mA}$ 时稳定电压 U_z 为 4.0~5.8V。

最小稳定电流 $I_{z\min}$ ——指稳压管进入反击穿区时的转折点电流。稳压管工作时，反向电流必须大于 $I_{z\min}$ ，否则不能稳压。

稳定电流 $I_{z\max}$ ——指稳压管长期工作时，允许通过的最大反向电流。例如，2CW53 型稳压管的 $I_{z\max}=41\text{mA}$ 。在使用稳压二极管时，工作电流不允许超过 $I_{z\max}$ ，否则可能会过热烧坏管子。

稳定电流 I_z ——指稳压管在稳定电压下的工作电流，其范围在 $I_{z\min} \sim I_{z\max}$ 之间。

耗散功率 P_{ZM} ——指稳压管稳定电压 U_z 与最大稳定电流 $I_{z\max}$ 的乘积。在使用中若超过这个数值，管子将被烧坏。

动态电阻 r_z ——是指稳压管工作在稳压区时，两端电压变化量与电流变化量之比，即

$r_z = \Delta U_z / \Delta I_z$, 动态电阻越小, 稳压性能越好。

2. 发光二极管

发光二极管(LED)是一种能把电能转换成光能的半导体器件, 它由磷砷化镓(GaAsP)、磷化镓(GaP)等半导体材料制成。当PN结加正向电压时, 多数载流子在进行扩散运动的过程相遇而复合, 其过剩的能量以光子的形式释放出来, 从而产生具有一定波长的光。发光二极管的实物图和符号如图5-5所示。



图 5-5 发光二极管的实物图和符号

3. 光敏二极管

光敏二极管的PN结与普通二极管不同, 其P区比N区薄得多, 为了获得光照, 在其管壳上设有一个玻璃窗口。光敏二极管在反向偏置状态下工作, 无光照时, 光敏二极管在反向电压作用下, 通过管子的电流很小; 受到光照时, PN结将产生大量的载流子, 反向电流明显增大。这种由于光照射而产生的电流称为光电流, 它的大小与光照度有关。光敏二极管的符号如图5-6所示。

4. 光电池

光电池又称为太阳能电池。它的PN结面积较大, 不需外加电源, 能够直接把光能变成电能。它的导通电流和光照基本上成正比, 可以用来做光控器件和光电转换器件。如能提高其转换效率、降低生产成本, 则太阳能电池是很有发展前途的。

5. 红外接收发射头

常用的红外遥控系统一般分发射和接收两个部分。发射部分的主要元件为红外发光二极管。它实际上是一只特殊的发光二极管; 由于其内部材料不同于普通发光二极管, 因而在其两端施加一定电压时, 它便发出的是红外线而不是可见光。

接收部分的红外接收管是一种光敏二极管。在实际应用中要给红外接收二极管加反向偏压, 它才能正常工作, 亦即红外接收二极管在电路中的应用时是反向运用, 这样才能获得较高的灵敏度。红外发光二极管一般有圆形和方形两种。



图 5-6 光敏二极管的符号

5.2 任务2: 二极管的识别与检测

5.2.1 半导体分立器件的型号命名方法

1. 国产半导体器件的命名方法

根据GB 249—1974规定, 国产半导体器件的型号由五部分组成, 如图5-7所示。各部

分的符号意义见表 5-5 所示。

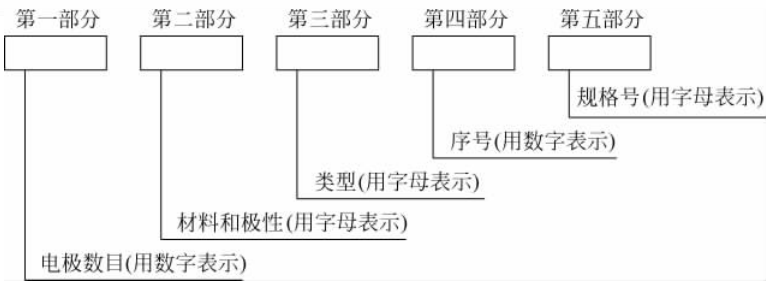
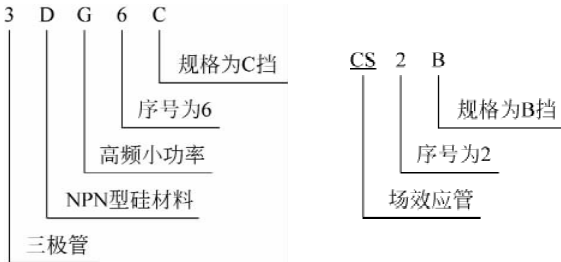


图 5-7 国产半导体器件的命名方法

表 5-5 我国半导体器件型号组成部分的符号及其意义

第一部分 (用数字表示器件的电极数目)		第二部分 (用汉语拼音字母表示器件的材料和极性)		第三部分 (用汉语拼音表示器件的类型)				第四部分 (用数字表示器件序号)	第五部分 (用汉语拼音字母表示规格号)
符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义		
2	二极管	A B C D	N 型, 锗材料 P 型, 锗材料 N 型, 硅材料 P 型, 硅材料	P	普通管	D	低频大功率管	反映了直流参数、交流参数和极限参数等的差别	反映了承受反向击穿电压的程度。如规格号为: A、B、C、D……。其中 A 承受的反向击穿电压最低, B 次之……
				V	微波管	A	高频大功率管		
				W	稳压管	T	半导体闸流管 (可控整流管)		
				C	参量管	Y	体效应器件		
3	三极管	A B C D E	PNP 型, 锗材料 NPN 型, 锗材料 PNP 型, 硅材料 NPN 型, 硅材料 化合物材料	Z	整流管	B	雪崩管		
				L	整流堆	J	阶跃恢复管		
				S	隧道管	CS	场效应器件		
				N	阻尼管	BT	半导体特殊器件		
				U	光电器件	FH	复合管		
				K	开关管	PIN	PIN 管		
				X	低频小功率管 ($f_a < 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)	JG	激光器件		
				G	高频小功率管 ($f_a \geq 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)				

国产半导体器件命名方法示例：



一些特殊半导体器件如场效应管器件、半导体特殊器件、复合管、PIN 型管、激光器件的型号命名只有三、四、五部分。

2. 日产半导体器件的命名方法

日本电子工业标准(JIS—C—7012)规定,日本半导体分立器件型号命名由五部分组成,第一部分用数字表示半导体器件有效数目和类型,1 表示二极管,2 表示三极管;第二部分用 S 表示已在日本工业协会登记的半导体器件;第三部分用字母表示该器件使用材料、极性和类型;第四部分表示该器件在日本电子工业协会的登记号;第五部分表示同一型号的改进型产品。此外,有时还附加后缀字母及符号,以便进一步说明该器件的特殊用途。如 H 是日立公司专门为通信工业制造的高可靠性半导体器件,Z 是松下公司专门为通信设备制造的高可靠性器件等。后缀第二个字母作为器件的某些参数和分档标志,如日立公司用 A、B、C、D 等说明该器件 β 值的分档情况。其型号命名方法如表 5-6 所示。

表 5-6 日本半导体分立器件型号命名方法

第一部分 (用数字表示 器件有效电 极数目或类型)		第二部分 (日本电子工 业协会(JEIA) 注册标志)		第三部分 (用字母表示 器件使用材 料极性 or 类型)		第四部分 (器件在日本 电子工业协 会的登记号)		第五部分 (同一型号的改 进型产品标志)			
符 号	含 义	符 号	含 义	符 号	含 义	符 号	含 义	符 号	含 义		
0	光电二极管或三极管及上述器件的组合管	S	已在日本电子工业协会登记的半导体器件	A	PNP 高频晶体管	多位数字	这一器件在日本电子工业协会注册的多位数字不同厂家生产的性能相同器件可以使用同一个登记号	A B C D	表示这一器件是原型号产品的改进产品		
1	二极管			B	PNP 低频晶体管						
2	三极管或具有 3 个电极的其他器件			C	NPN 高频晶体管						
3	具有 4 个有效电极			D	NPN 低频晶体管						
n	具有 $n+1$ 个有次电极的器件			F	P 控制极晶闸管						
				G	N 控制极晶闸管						
				H	N 基极单结晶体管						
				J	P 沟道场效应管						
				K	P 沟道场效应管						
				M	双向晶闸管						

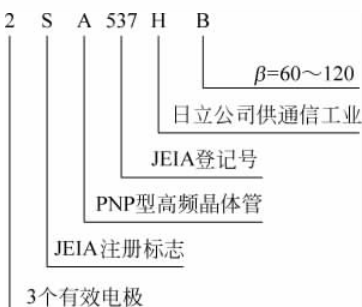
3. 美国半导体器件的命名方法

美国电子工业协会半导体分立器件命名型号由五部分组成,第一部分为前缀,第五部分为后缀,中间部分为型号基本部分,这五部分符号及意义见表 5-7 所示。

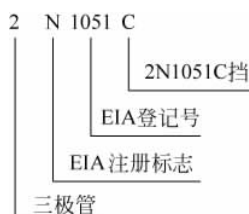
表 5-7 美国半导体分立器件型号命名方法

第一部分 (用符号表示 器件类别)		第二部分 (用数字表示 PN 结数目)		第三部分 (美国电子工业 协会注册标志)		第四部分 (美国电子工业 协会登记号)		第五部分 (用字母表示 器件分档)	
符 号	含 义	符 号	含 义	符 号	含 义	符 号	含 义	符 号	含 义
JAN 或 J 无	军用品 非军用品	1 2 3 n	二极管 三极管 三个 PN 结器件 n 个 PN 结器件	N	该件已在美国电子工业协会(EIA)注册登记	多位数字	该器件已在美 国电子工业协 会(EIA)的登 记号	A B C D	同一型号器件 的不同档次

日产半导体器件命名方法示例：



美国半导体器件命名方法示例：



5.2.2 二极管的检测

1. 二极管的选用及检测

(1) 二极管的选用。二极管因结构工艺的不同可分为点接触二极管和面接触二极管。点接触二极管工作频率高,承受高电压和大电流的能力差,一般用于检波、小电流整流、高频开关电路中;面接触二极管适应工作频率较低,工作电压、工作电流、功率均较大的场合。选用二极管时应根据不同使用场合从正向电流、反向饱和电流、最大反向电压、工作频率、恢复特性等几方面进行综合考虑。

(2) 二极管的检测。将万用表置于 $R \times 100$ 挡或 $R \times 1k$ 挡(一些有特殊要求的二极管,可选用其他挡位),用红、黑表笔分别接二极管的电极引线,应测得一大一小两个阻值,其中阻值小的一次,黑表笔所接是二极管正极,红表笔所接是二极管负极;而阻值大的一侧黑表笔所接为二极管的负极,红表笔所接为二极管的正极。正、反向电阻相差越大说明其单向导电性能越好。若测得正、反向电阻相差不大,说明二极管单向导电性能变差;若正、反向电阻都很大,说明二极管已开路失效;若正、反向电阻都很小,说明二极管已击穿失效。当管子出现上述三种情况时,须更换二极管。其检测示意图如图 5-8 所示。

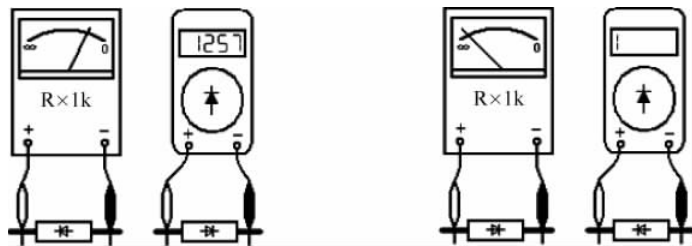


图 5-8 普通二极管检测示意图

2. 专用二极管的检测

(1) 普通单色发光二极管的检测

发光二极管(LED)工作在正向区域,其正向导通工作电压高于普通二极管,约为 1.5~2.5V。外加正向电压越大,LED 发光越亮,但实际应用中应注意,外加正向电压不能使发光二极管超过其最大工作电流,以免烧坏管子。发光二极管的检测,要用万用表的 $R \times 10k\Omega$ 挡(由万用表内的 9V 电池供电),测量方法及其性能的好坏判断与普通二极管相同,但发光二极管的正、反向电阻均比普通二极管大得多。在测量发光二极管的正向电阻时,可能会看到该二极管有微微的发光现象。

(2) 稳压二极管的检测

稳压二极管是一种工作在反向击穿区,具有稳定电压作用的二极管,其极性与性能好坏的检测与普通二极管的检测方法相似。不同之处在于:当使用万用表的 $R \times 1k\Omega$ 挡测量稳压二极管时,测得其反向电阻很大;此时,将万用表转换到 $R \times 10k\Omega$ 挡,会出现万用表指针向右偏转较大的角度,即反向电阻值减小很多。这一特性也可用于普通二极管与稳压二极管的区分,即:如果挡位转换时,反向电阻基本不变,则说明该二极管是普通二极管,如果反向电阻发生变化则为稳压二极管。

(3) 普通光电二极管的检测

光电二极管工作在反向工作区。无光照时,光电二极管与普通二极管一样,反向电流很小(一般小于 $0.1\mu A$),反向电阻很大(几十兆欧以上);有光照时,反向电流明显增加,反向电阻明显下降(几千欧到几十千欧),即反向电流(称为光电流)与光照成正比。

光电二极管的检测方法与普通二极管的检测方法基本相同。不同之处是:有光照和无光照两种情况下,反向电阻相差很大。若测量结果相差不大,说明该光电二极管已损坏或该二极管不是光电二极管。对光电二极管正、负极的判别,要求在无光照条件下测正、反向电阻。

3. 实训

(1) 查阅资料,认识二极管的型号,填写表 5-8。

表 5-8 二极管各部分的含义

型 号	最高反向工作电压(V)	最大整流电流(mA)	反向电流(μA)
2AP9			
2CZ52C			
1N4001			

(2) 判别二极管的极性。

- ① 外观判别二极管的极性。
 - ② 用万用表测量二极管的极性及质量好坏。
- 将判别、测量结果记录表 5-9 中。

表 5-9 二极管判别、测量表

电阻值(Ω) 型号		R $\times 1k$ 挡		R $\times 100$ 挡		R $\times 10$ 挡		质量判别	
		正向	反向	正向	反向	正向	反向	好	坏
二极管测量	2AP9								
	2CZ52C								
	1N4001								

③ 用数字万用表来判别二极管极性与好坏。数字万用表在电阻测量挡内,设置了“二极管、蜂鸣器”挡位,该挡具有两个功能,第一个功能是测量二极管的极性正向压降,方法是 将红、黑表笔分别接二极管的两个引脚,若出现溢出,说明侧的是反向特性,交换表笔后再测 时,则应出现一个三位数字,此数字是以小数表示的二极管正向压降,由此可判断二极管的 极性和好坏。显示正向压降时红表笔所接引脚为二极管的正极,并可根据正向压降的大小 进一步区分是硅材料还是锗材料。第二个功能是检查电路的通断,在确信电路不带电的情 况下,用红、黑两个表笔分别检测两点,蜂鸣器有声响时表明电路是通的,无声响时则表示电 路不通。

5.2.3 质量考核

质量考核要求及评分标准如表 5-10 所示。

表 5-10 质量评价表

考核项目	考核要求	分值	评分标准	扣分	得分
二极管的识别	15min 内完成二极管型号识别和正、负极识别	30	规定时间以外识别元件,扣 5 分/个		
二极管的检测	万用表测量二极管正、反向电阻,根据阻值判别其正、负极	50	元件判断错误或损伤元件,扣 5 分/处;万用表使用错误,扣 10 分/次		
安全文明操作	严格遵守电业安全操作规程,工作台工具、器件摆放整齐	10	违反安全操作规程,扣 1~10 分;工具、器件不整齐,扣 1~5 分		
时间	90min	10	提前正确完成每 5min 加 2 分;超过定额时间每 5min 扣 2 分		
开始时间:		结束时间:		实际用时:	

5.3 任务 3：二极管电路的应用

5.3.1 整流电路

电子设备需要稳定的直流电源供电,才能正常工作,而电网供给的都是交流电,因此必须 将交流电变换成直流电,这一过程称为整流。本节主要介绍单相半波整流电路和单相桥 式整流电路。

1. 单相半波整流电路

(1) 电路组成及工作原理

图 5-9 所示为单相半波整流电路,设变压器副边电压为

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin(\omega t)$$

在 u_2 的正半周($0 \sim \pi$)期间,变压器副边绕组的极性是上正下负,二极管 D 承受正向电 压,导通,此时有电流 i_o ($i_o = i_D$) 流过负载 R_L ,其压降为 $i_L = i_o R_L$,如果忽略 D 的管压降,则 $u_L = u_2$,负载上的电压 u_L 与 u_2 基本相等。

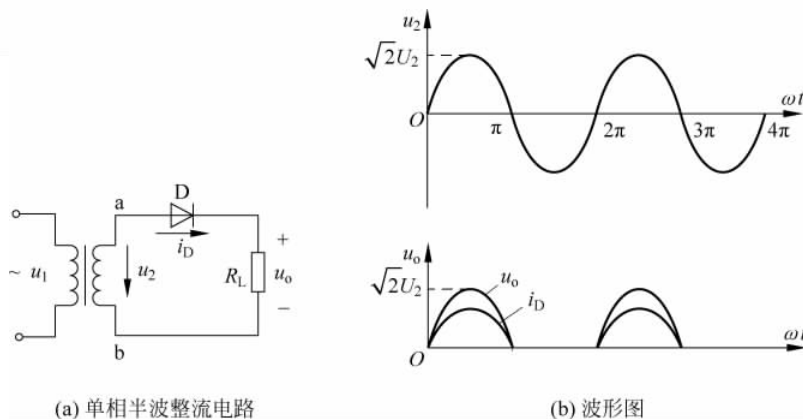


图 5-9 单相半波整流电路及波形

在 u_2 的负半周($\pi \sim 2\pi$)期间,变压器副边绕组的极性是上负下正,二极管 D 承受反向电压,截止,此时有电流 $i_o = 0$,负载上的电压 $u_L = 0$,变压器上的电压 u_2 全部加到二极管上。

从电流的第二个周期开始又重复上述过程。尽管电源变压器提供的是交流电压 u_2 ,但经二极管变换后,负载 R_L 上的电压极性始终不变(上正下负),也就是负载得到的电压是直流电压。由于在一个周期内,二极管导电半个周期,负载 R_L 只获得半个周期的电压,故称为半波整流。

(2) 参数计算

负载上获得的是脉动直流电压,其大小用平均值 U_o 来衡量。

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}U_2 \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45U_2$$

流过负载电流的平均值为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{0.45U_2}{R_L}$$

流过二极管的平均电流与负载电流相等,故

$$I_D = I_o = \frac{0.45U_2}{R_L}$$

二极管反向截止期承受的最高反向电压等于变压器副边电压的最大值,即

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

单相半波整流电路简单,元件少,但输出电流脉动很大,变压器利用率低。因此,半波整流仅适用于要求不高的场合。

2. 单相桥式整流电路

(1) 电路组成及工作原理

图 5-10 为单相桥式整流电路的三种画法。它由变压器、四个整流二极管和负载电阻组成。

在 u_2 的正半周($0 \sim \pi$)时,二极管 D_1 、 D_3 承受正向电压导通, D_2 、 D_4 承受反向电压而截止,电流 i_o 从变压器副边 a 端经 D_1 、 R_L 、 D_3 回到 b 端,电流在 R_L 上产生压降 u_o 。如果忽略

D_1 、 D_3 的管压降, 则 $u_o = u_2$ 。

在 u_2 的负半周($\pi \sim 2\pi$)时, 二极管 D_1 、 D_3 承受反向电压截止, D_2 、 D_4 承受正向电压而导通, 电流 i_o 从变压器副边 b 端经 D_2 、 R_L 、 D_4 回到 a 端。忽略 D_2 、 D_4 的管压降, 则 $u_o = u_2$ 。

可见, 在 u_2 的一个周期内, D_1 、 D_3 和 D_2 、 D_4 轮流导通, 流过负载 R_L 的电流 i_o 的方向始终不变, 负载的电压为单方向的脉动直流电压。波形如图 5-11 所示。

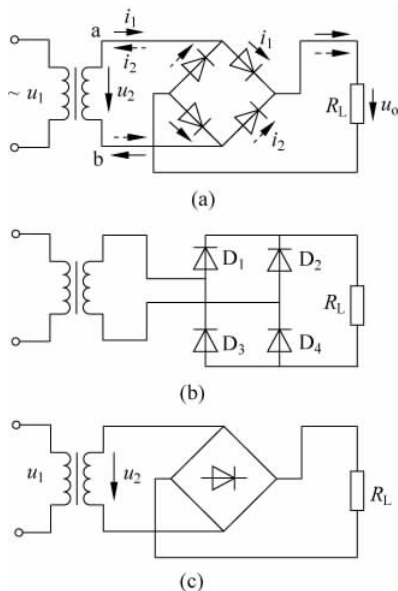


图 5-10 桥式整流电路的三种画法

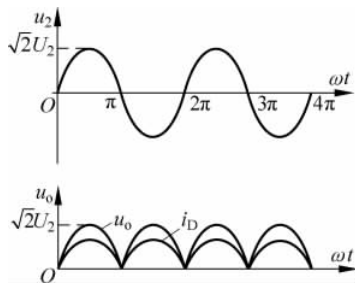


图 5-11 桥式整流电路波形图

(2) 参数计算

负载的平均电压为

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi 2\sqrt{2}U_2 \sin\omega t d(\omega t) \approx 0.9U_2$$

负载的平均电流为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L}$$

在每个周期内, 两组二极管轮流导通, 各导电半个周期, 所以每只二极管的平均电流应为负载电流的一半, 即

$$I_V = \frac{1}{2} I_o = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

在一组二极管正向导通期间, 另一组二极管反向截止, 其承受的最高反向电压为变压器副边电压的峰值:

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

桥式整流比半波整流电路复杂, 但输出电压脉动只是半波整流的 50%, 变压器的利用率也较高, 因此桥式整流电路得到了广泛的应用。

【思考】 在桥式整流电路中, 如果有一只二极管击穿短路, 分析将会出现什么现象?

例 5-1 已知单相桥式整流电路中的负载电阻 $R_L = 200\Omega$, 变压器副边电压有效值 $U_2 =$

36V,试求:(1)负载上的平均电压和平均电流;(2)二极管承受的最高反向电压和通过的平均电压,并选择二极管。

解:(1)负载上的平均电压

$$U_o \approx 0.9U_2 = 0.9 \times 36 = 32.4\text{V}$$

负载上的平均电流

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{32.4}{200} = 0.162\text{A}$$

(2)二极管承受的最高反向电压

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \times 36 \approx 50.9\text{V}$$

二极管的平均电流

$$I_V = \frac{1}{2}I_o = \frac{1}{2} \times 0.162 = 0.081\text{A}$$

选择整流二极管 1N4002,其参数为 $I_F=1\text{A}$, $U_{RM}=100\text{V}$,满足要求。

5.3.2 滤波电路

整流电路把交流电变成脉动的直流电。这种直流电波动很大,主要是含有许多不同幅值和频率的交流成分。为了获得平稳的直流电,必须利用滤波器将交流成分滤掉。常用滤波电路有电容滤波电路、电感滤波电路和复合式滤波电路等。

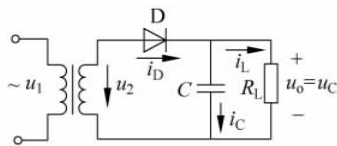
1. 电容滤波电路

利用电容器对直流开路、对交流短路的特点,将电容与负载并联,交流成分被电容滤掉,负载便得到平滑的直流电压。图 5-12 所示为带电容滤波的单相半波整流电路及波形。

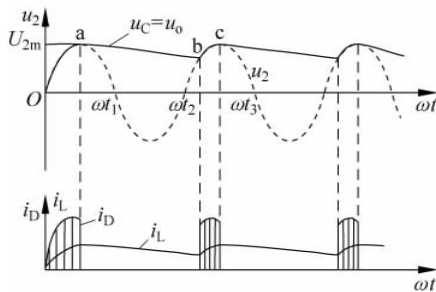
当 u_2 在正半周从零开始上升时,二极管 D 正向导通,电源流过二极管对电容充电,电容的电压 u_c 逐渐上升。当电源电压达到最大值时,电容电压也充电到最大值。随后电源电压开始下降,由于电容电压不能突变,结果 u_2 小于 u_c ,二极管 D 承受反向电压而截止。这时已充电的电容便向负载电阻放电,电容电压逐渐下降。在整个负半周期间,二极管 D 仍加反压而截止,电容继续放电。当 u_2 的第二个周期正半周开始时, u_2 小于 u_c ,二极管 D 仍未导通。随着电容放电, u_c 逐渐下降,到曲线 B 点后, u_2 大于 u_c ,D 重新导通。如此不断重复,负载上就得一个比较平稳的直流电压。

显然,时间常数 $R_L C$ 越大,放电越慢,负载得到的电压越平稳,滤波效果越好。因此,实用上通常选择容量较大的电解电容作为滤波电容。滤波电容按以下公式估算:

$$R_L C \geq (3 \sim 5)T$$



(a) 电容滤波电路



(b) 电容滤波电路波形

图 5-12 电容滤波电路及波形

式中 T 为交流电的周期。电路接入滤波电容后,输出的平均电压增大,通常按下式估算

$$U_o = U_2$$

图 5-13 所示为桥式整流电容滤波电路。它的工作原理与半波整流相同。差别在于桥式电路每半个周期电容有一次充放电过程,因此,输出电压的脉动更小、更平滑。滤波电容和输出电压按下式估算

$$R_L C \geq (3 \sim 5) T$$

$$U_o = 1.2 U_2$$

电容滤波电路虽然简单,但输出直流电压的平滑程度与负载有关。当负载减小时,时间常数 $R_L C$ 减小,输出电压的纹波增大,所以它不适用于负载变化较大的场合。电容滤波也不适用于负载电流较大的场合,因为负载电流大(R_L 较小),这时只有增大电容的容量,才能取得较好的滤波效果。但电容容量太大,会使电容体积增大,成本上升,而且大的充电电流也易引起二极管损坏。

例 5-2 已知单相桥式整流电容滤波电路中的负载电阻 $R_L = 100 \Omega$, 输出电压 $U_o = 12V$, 交流电源频率 $f = 50Hz$, 试确定整流变压器的副边电压, 并选择整流二极管和滤波电容。

解: 由 $U_o = 1.2 U_2$ 得变压器副边电压有效值

$$U_2 = \frac{U_o}{1.2} = \frac{12}{1.2} = 10V$$

二极管的平均电流

$$I_V = \frac{1}{2} I_o = \frac{12}{2 \times 100} = 60mA$$

二极管承受的最高反向电压

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \times 10 = 14V$$

选用 1N4001, 其参数为 $I_F = 1A, U_{RM} = 50V$ 。

滤波电容由式 $R_L C \geq (3 \sim 5) T/2$ 估算, 取 5 倍系数

$$C = \frac{5T}{2R_L} = \frac{5}{2 \times 100 \times 50} = 500\mu F$$

选择电容值为 $680\mu F$, 耐压为 $50V$ 的电解电容。

2. 电感滤波电路

利用电感线圈交流阻抗很大、直流电阻很小的特点, 将电感线圈与负载电阻 R 串联, 就组成电感滤波电路, 如图 5-14 所示。整流电路输出的脉动直流电压中的直流成分在电感线圈上形成的压降很小, 而交流成分却几乎全都落在电感上, 负载电阻上得到平稳的直流电压。电感量越大, 电压越平稳, 滤波效果越好。但电感量大会引起电感的体积过大, 成本增加, 输出电压下降。

电感滤波适用于输出电流大、负载经常变动的场合, 其缺点是体积大、易引起电磁干扰。

3. 复式滤波电路

将电容滤波和电感滤波组合起来, 可获得比单个滤波器更好的滤波效果, 这就是复式滤

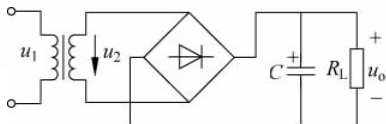


图 5-13 桥式整流电容滤波电路

波器。常见有 Γ 型和 π 型两类复合滤波器,如图 5-15 所示。

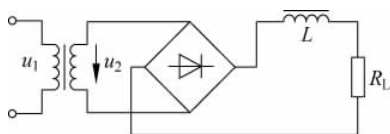
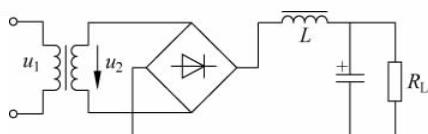
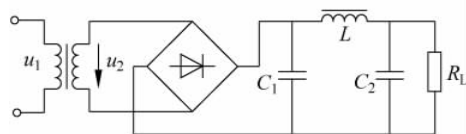


图 5-14 电感滤波电路



(a) Γ 型滤波器



(b) π 型滤波器

图 5-15 复式滤波器

(1) Γ 型滤波器

为了减小负载电压的脉动程度,在电感线圈后面再接电容,如图 5-15(a)所示,这样先经过电感滤波,去掉大部分交流成分,然后再经电容滤波,滤除剩余的交流成分,使负载电阻得到一个更平滑的直流电压,这种电路性能与电感滤波电路基本相同。

(2) π 型滤波器

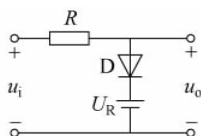
图 5-15(b)为 π 型滤波器,它是在电感的前后各并联一个电容。整流器输出的脉动直流电先经过 C_1 滤波,再经过电感 L 和电容 C_2 滤波,使交流成分大大降低,在负载上得到平滑的直流电压。

【思考】 在桥式整流电容滤波电路中,如果滤波电容被击穿短路,分析将会出现什么现象?

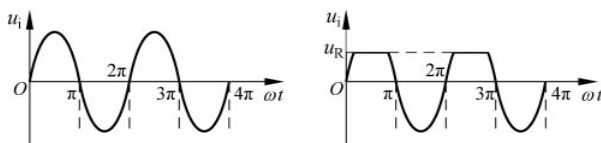
5.3.3 限幅电路

限幅电路顾名思义就是限制输出幅度的电路,通常用于有选择地输出任意波形的一部分,或用来保护某些电路元件。

图 5-16(a)为二极管限幅电路,其中 U_R 是根据限幅要求而加入的参考电压。下面我们分析一下它的原理。设 D 是理想二极管,当输入电压 $u_i < U_R$ 时, D 截止, $u_o = u_i$; 当输入电压 $u_i > U_R$ 时, D 导通, $u_o = U_R$,即输出波形被限幅,波形图如图 5-16(b)所示。



(a)



(b)

图 5-16 限幅电路与波形图

5.3.4 稳压电路

一般电子设备要求有稳定的直流电源,所以在整流、滤波之后还通常配合有稳压电路。稳压电路的种类很多,这里介绍最简单的稳压电路。

利用稳压二极管,可组成图 5-17 所示的最简单的稳压电路。图中的 R 是必不可少的限流电阻,用于防止稳压管过流烧毁。同时它也将不稳定的源电压与输出隔离,通过它的压降变化来保证输出电压的稳定。

现在定性地说明它的稳压过程:在 U_i 和负载一定的情况下,选择稳压值符合输出要求的稳压管,再根据 I_z 和 I_L 的大小,选择合适的电阻 R ,使得 $U_i - U_o = R(I_z + I_L)$ 。

如果负载不变, U_i 有波动时,比如 U_i 升高,将使 I_z 增大,则 R 上的压降增大,保证 U_o 基本不变。

如果 U_i 一定,负载变动,比如 I_L 增大,这时 I_z 减小,保证 R 上压降不变,从而使 U_o 稳定。

这里电阻 R 值的选择是至关重要的。具体说就是, R 值不能太小,以保证使 I_z 小于其最大允许电流 $I_{z\max}$,否则管子安全难以保证;另一方面 R 值也不能太大,以保证使 I_z 大于 $I_{z\min}$,否则稳压管不能击穿,起不到稳压作用。

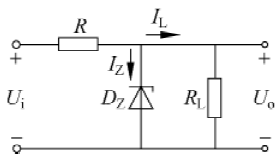


图 5-17 稳压电路

5.3.5 二极管逻辑信号电路

如图 5-18(a)所示是一个逻辑信号电路,设输入逻辑信号 U_1 和 U_2 只有两种可能,一种是低电位,另一种是电源电压 V_{CC} 。

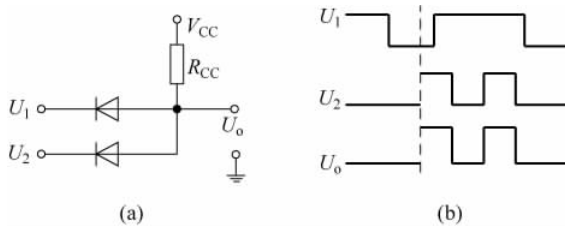


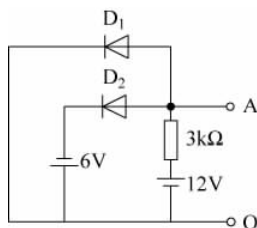
图 5-18 逻辑信号识别电路

二极管是单方向导电的半导体器件,根据图 5-18(a)中给出的电路结构,只有当 U_1 和 U_2 两个信号为高电平时,输出 U_o 才能处于高电平,只要有一个输入为低电平(地电位),系统输出就等于二极管的管压降(0.7V)。因此电路具有逻辑信号识别的行为特性,可以从图 5-18(b)所示的波形图中看出。这种电路称为“与门”电路。同时,二极管还具有输入信号隔离的作用,当两个输入信号电平不一致时,由于二极管反向截止,不会使信号源短路。

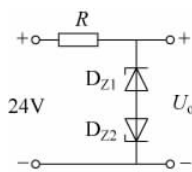
自 测 题

一、填空题

1. 在本征半导体中掺入五价元素,构成_____型杂质半导体,其多数载流子是_____,少数载流子是_____。
2. 晶体二极管具有_____导电性。当外加正向偏置电压时,它处于_____状态;外加反向电压时,处于_____状态。
3. 理想二极管的电路如自测题图 5-1 所示,则 U_{AO} 为_____ V。
4. 稳压管电路如自测题图 5-2 所示,两稳压管的稳压值 U_Z 均为 6.3V,正向导通电压为 0.7V,则其输出电压为_____。



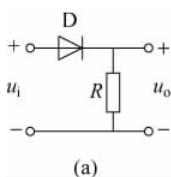
自测题图 5-1



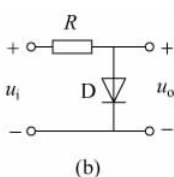
自测题图 5-2

二、分析与计算

1. 在自测题图 5-3 所示的电路中,已知 $u_i = 30\sin\omega t$ V,二极管的正向压降可忽略不计,试分析画出输出电压 u_o 的波形。
2. 电路如自测题图 5-4 所示,稳压管为硅管,其正向导通电压为 0.6V,且稳定电压 $U_Z = 8$ V,设 $u_i = 15\sin\omega t$ V,试分析并画出 u_o 的波形。

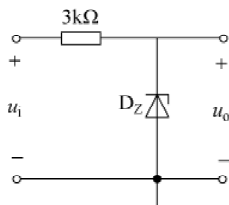


(a)



(b)

自测题图 5-3

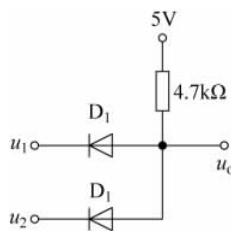


自测题图 5-4

3. 二极管开关电路如自测题图 5-5 所示。当输入电压 u_1 和 u_2 为 0V 和 5V 时,利用二极管理想模型分析, u_1 和 u_2 在不同取值组合情况下,输出电压 u_o 的值。

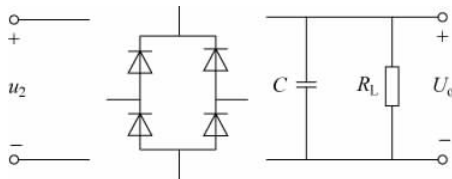
4. 一单相桥式整流电容滤波电路如自测题图 5-6 所示,设负载电阻 $R_L = 1.2$ kΩ,要求输出直流电压 $U_o = 30$ V。已知交流电源频率为 50Hz。试分析:

- (1) 将电路连接完整;
- (2) 流过每个整流二极管的平均电流;



自测题图 5-5

- (3) 二极管所承受的最大反向电压；
(4) 应如何选择滤波电容。



自测题图 5-6

5. 设计一个输出电压为 6V 的稳压器, 输入电压为 $10\sim 12\text{V}$, 负载电阻 $1\sim 5\text{k}\Omega$, 选用 $2\text{DW}7$ 稳压管, 其击穿电压为 6V , 最小稳压电流为 2mA , 而最大电流为 50mA 。