

第 1 章 常用二极管的使用

二极管 (Diode) 是模拟电路的基本组成部分, 了解二极管的基本特性, 正确理解二极管的工作原理, 熟悉二极管的电压传输特性和主要技术参数, 熟练掌握常用二极管的选型依据和正确使用方法, 是学好模拟电路理论课程的基础和前提。

1.1 常用二极管电路设计基础

二极管, 顾名思义有两个引脚, 是一种具有单向导电性的双端器件, 两个引脚分正、负两极。在本书中, 用字母 VD 表示二极管。

1.1.1 二极管的基本特性

二极管的伏安特性曲线如图 1.1 所示。

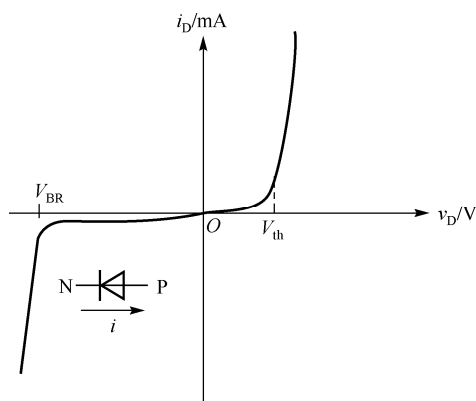


图 1.1 二极管的伏安特性曲线

由二极管的伏安特性曲线可以看出: 当流过二极管的正向工作电流十分微弱时, 二极管不导通, 此时二极管表现为一个大电阻; 当流过二极管的正向工作电流增大到一定值 (阈值电压 V_{th}) 时, 二极管开始进入正向导通状态。

若在二极管正向导通后继续增大流过二极管的正向工作电流, 则二极管两端的正向压降会随正向工作电流的增大而增大, 但相对于正向工作电流的变化量, 二极管两端的正向压降变化量很小, 因此, 二极管在正向导通后主要表现为一个阻值可变的小电阻。

当加在二极管两端的反向工作电压小于其反向击穿电压 V_{BR} 时, 其反向漏电流很小, 通常为微安级的, 可以认为此时二极管处于反向截止状态, 该反向漏电流基本趋于一个恒定值,

定义为反向工作电流 I_R 。当加在二极管两端的反向工作电压大于其反向击穿电压 V_{BR} 时，流过二极管的反向工作电流会急剧增大，二极管将失去单向导电性而发生反向击穿。

当二极管发生反向击穿后，只要其反向工作电流与其两端的反向压降的乘积不超过 PN 结的反向额定耗散功率，二极管就不会发生永久性损坏；撤掉反向工作电压后，二极管仍能恢复到正常的工作状态，人们利用二极管的这一特性将其制成稳压二极管。

当二极管发生反向击穿后，若其反向工作电流与其两端的反向压降的乘积超过 PN 结的反向额定耗散功率，则二极管会因过热而烧毁。烧毁后的二极管将处于不确定状态，当撤掉反向工作电压后，二极管不能恢复到正常的工作状态。

由二极管的伏安特性曲线还可以看出：无论是二极管两端的正向压降还是其反向压降，都只能在一个很小的范围内保持相对稳定，当二极管的工作电流发生变化时，二极管两端的压降也会随之发生微弱变化。

由于生产材料和制造工艺的制约，在实际使用中要求流过二极管的正向工作电流与其两端的正向压降的乘积不超过生产厂家产品数据手册上规定的正向额定功率，否则二极管会因过热而烧毁。因此，在使用二极管时，必须串联一个限流电阻，以调整和控制流过二极管的正向工作电流，保证流过二极管的正向工作电流小于其额定正向工作电流。

二极管的电路符号及正向工作电路原理图如图 1.2 所示。



图 1.2 二极管的电路符号及正向工作电路原理图

在如图 1.2 (b) 所示的电路中，二极管的正向工作电流可以用下式计算

$$I = \frac{V_{CC} - V}{R}$$

式中， V 是二极管两端的正向压降。

二极管的功耗可以用下式计算

$$P = V \times I$$

二极管的导通电阻可以用下式计算

$$r_D = \frac{V}{I}$$

1.1.2 二极管的主要技术参数

二极管的技术参数是用来衡量二极管的性能好坏和适用范围的指标，是正确使用二极管

的主要依据。二极管的主要技术参数如下。

(1) 额定正向工作电流 I_F : 也称最大整流电流, 是指二极管在长时间连续工作时, 允许通过的最大正向平均电流。电流在流过二极管时会使二极管的温度升高, 当温度超过允许值时, 二极管会因过热而烧毁。因此, 在规定的散热条件下, 二极管的正向工作电流不应超过其额定正向工作电流。

(2) 额定正向管压降 V_F : 当流过二极管的工作电流为额定正向工作电流时, 二极管两端的正向压降。

(3) 反向击穿电压 V_{BR} : 当二极管发生反向击穿时, 加在二极管两端的反向压降。

(4) 额定反向工作电压 V_R : 为保证在正常使用时二极管不发生反向击穿, 生产厂家在产品数据手册上规定了其额定反向工作电压。通常情况下, 产品数据手册上规定的额定反向工作电压为其实际反向击穿电压的一半左右。

(5) 反向漏电流 I_R : 在规定的环境和额定反向工作电压条件下流经二极管两端的反向工作电流。二极管的反向漏电流受环境温度影响较大, 当环境温度升高时, 反向漏电流增大。因此, 在使用二极管时, 要特别注意环境温度变化对其反向漏电流的影响。

(6) 极间电容 C_d : 也称为结电容, 是指二极管 PN 结中存在的电容量。在高频或开关状态下使用二极管时, 必须考虑其极间电容对电路性能的影响。

(7) 反向恢复时间 T_{RR} : 当加在二极管两端的工作电压的极性突然发生翻转时, 由于存在极间电容, 因此二极管的工作状态不能在瞬间完成跳变, 特别是从正向偏置电压切换到反向偏置电压时, 偏置电压翻转的瞬间会出现较大的反向电流, 经过一小段时间后, 反向电流才能恢复到正常值, 从正向偏置电压开始发生翻转至反向电流恢复到正常值所需要的时间定义为反向恢复时间。

(8) 截止频率: 二极管正常工作时的上限频率。二极管的截止频率主要取决于二极管的极间电容。

1.2 常用二极管及其主要技术参数

根据生产材料、制造工艺、结构、封装、用途等不同, 二极管有多种分类方法, 本书依据二极管的主要功能, 简要介绍几种较为常用的二极管。

1.2.1 整流二极管

整流二极管 (Rectifier Diode) 主要用于将交流电转换为脉动的直流电。人们多选用额定正向工作电流大、反向漏电流小的二极管作为整流二极管, 如 1N4000 系列整流二极管。

如表 1.1 所示为飞利浦半导体公司 (Philips Semiconductor) 生产的 1N4000 系列整流二极管的主要技术参数。由于该系列整流二极管的极间电容较大, 反向恢复时间较长, 因此厂家并没有给出其极间电容和反向恢复时间。

表 1.1 1N4000 系列整流二极管的主要技术参数

型 号	最高反向工作电压/V	额定正向工作电流/A	最大浪涌电流/A	极 间 电 容	反向恢复时间
1N4001	50	1	30	—	—
1N4002	100	1	30	—	—
1N4003	200	1	30	—	—
1N4004	400	1	30	—	—
1N4005	600	1	30	—	—
1N4006	800	1	30	—	—
1N4007	1000	1	30	—	—

用整流二极管设计的半波整流电路结构简单,如图 1.3 (a) 所示。在不考虑整流效率的情况下,可以采用半波整流电路完成整流,其输入信号、输出信号波形如图 1.3 (b) 所示。

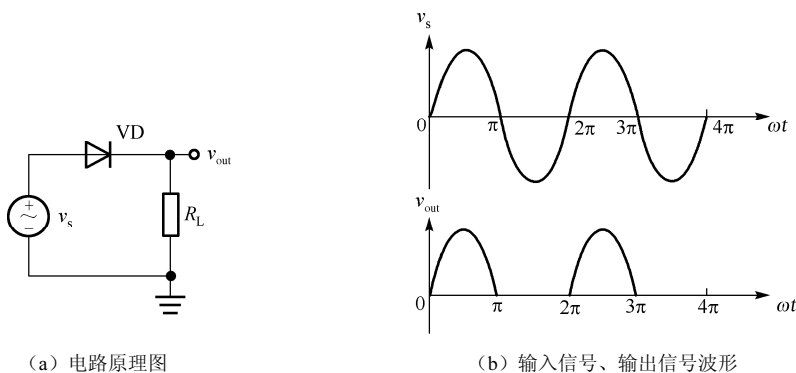


图 1.3 半波整流电路原理图及其输入信号、输出信号波形

用整流二极管设计的桥式全波整流电路的整流效率高,在实际应用中较为常见。桥式全波整流电路原理图及其输入信号、输出信号波形如图 1.4 所示。

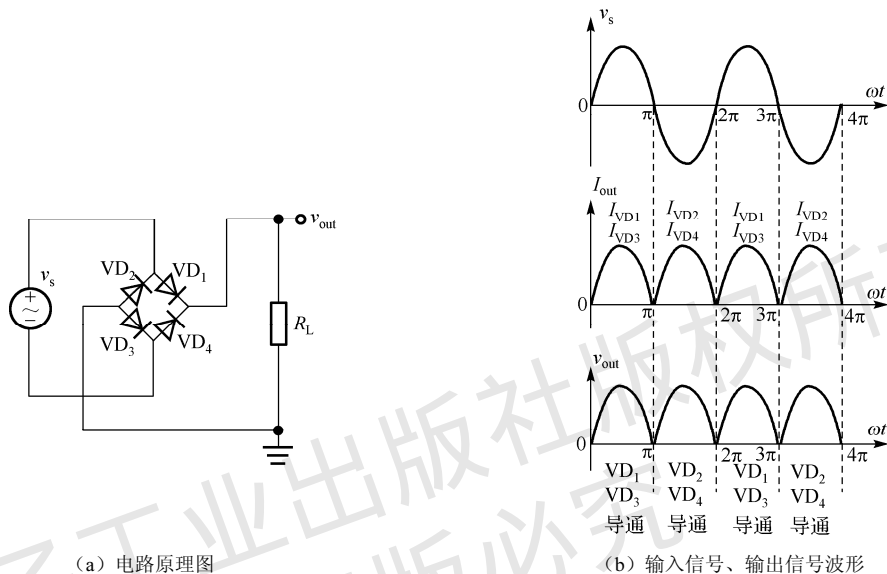


图 1.4 桥式全波整流电路原理图及其输入信号、输出信号波形

有些电子元器件生产厂家将4个整流二极管封装在一起，做成专门用于完成桥式全波整流的整流桥块（Bridge Rectifier）。这种已经封装好的整流桥块使用起来更加方便。

常用整流二极管和整流桥块的外形图如图1.5所示，其中图1.5（a）是普通整流二极管的外形图，图1.5（b）、图1.5（c）、图1.5（d）是已经封装好的整流桥块的外形图。

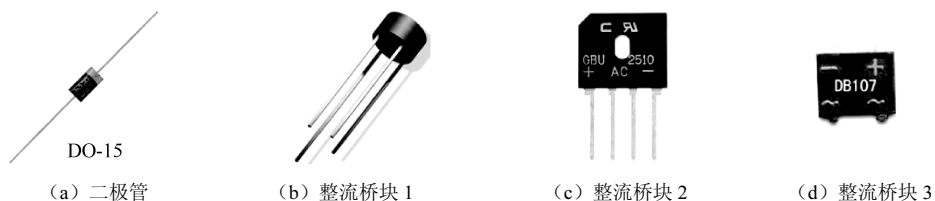


图1.5 常用整流二极管和整流桥块的外形图

在选用整流二极管时，主要应考虑其额定正向工作电流和额定反向工作电压，有时也需要考虑其额定正向管压降、反向漏电流、截止频率、反向恢复时间等参数。例如，对50Hz的交流电进行整流，通常可以不考虑整流器件的截止频率和反向恢复时间，常用的1N4000系列整流二极管就可以满足设计要求。在设计对工作频率要求较高的脉冲整流电路、开关电源等时，则必须考虑所选用的整流二极管的截止频率和反向恢复时间等参数能否满足设计要求。

1.2.2 小功率二极管

比较常用的小功率二极管有1N91×系列、1N4148、1N4448等。部分小功率二极管的主要技术参数如表1.2所示，与中、大功率二极管相比，1N91×系列和1N4×××系列小功率二极管的额定正向工作电流小，最高反向工作电压低，最大浪涌电流小，不适合在大电流或高电压的电路中使用。小功率二极管的极间电容相对较小，反向恢复时间较短，在满足工作电流要求的条件下，小功率二极管适合在信号调理、检波等小电流、高频率的电路中使用。

表1.2 部分小功率二极管的主要技术参数

型号	最高反向工作电压/V	额定正向工作电流/mA	最大浪涌电流/A	极间电容@1MHz/pF	反向恢复时间/ns
1N914	75	200	1	4	4
1N914A	75	200	1	4	4
1N914B	75	200	1	4	4
1N916	75	200	1	2	4
1N916A	75	200	1	2	4
1N916B	75	200	1	2	4
1N4148	75	200	1	4	4
1N4448	75	200	1	2	4

小功率二极管多采用红色玻璃管封装，常见的两种小功率二极管的封装形式如图1.6所示。



图1.6 常见的两种小功率二极管的封装形式

1.2.3 肖特基二极管

肖特基二极管 (Schottky Barrier Diode) 也称金属半导体二极管或肖特基势垒二极管, 是一种低功耗、大电流、具有较短反向恢复时间的高速半导体二极管。

由表 1.2 和表 1.3 可以看出, 与 1N91×系列和 1N4×××系列小功率二极管相比, 额定正向工作电流较大的 1N58××系列肖特基二极管的极间电容较大, 反向恢复时间较长, 在满足工作电流要求的条件下, 小功率二极管的极间电容和反向恢复时间特性更好。与其他额定正向工作电流相同的二极管相比, 肖特基二极管的额定正向管压降较小, 反向恢复时间较短, 开关速度快, 工作频率高, 开关损耗小。因此, 肖特基二极管特别适合用在低压、高频、大电流输出的电路中, 如用在高频检波电路、混频电路、高速逻辑电路中作为钳位二极管, 用在开关电源中作为高速开关等, 是高频开关电路的理想器件。

表 1.3 肖特基二极管的主要技术参数

型 号	最高反向工作电压/V	额定正向工作电流/A	最大浪涌电流/A	极间电容@1MHz/pF	反向恢复时间/ μ s
1N5812	50	20	400	300	35
1N5814	100	20	400	300	35
1N5816	150	20	400	300	35
1N5817	20	1	25	110	35
1N5818	30	1	25	110	35
1N5819	40	1	25	110	35

与 1N4000 系列整流二极管相比, 肖特基二极管的反向击穿电压较低, 反向漏电流较大, 容易因过热而发生反向击穿; 并且肖特基二极管的反向漏电流具有正温度特性, 在某一温度范围内, 肖特基二极管的反向漏电流极易随结温的升高而急剧增大。因此, 在实际使用时, 要特别注意肖特基二极管的热失控问题。

在选用肖特基二极管时, 应根据实际需要, 重点考虑肖特基二极管的额定正向工作电流、额定反向工作电压、极间电容、反向恢复时间、截止频率等参数。

肖特基二极管的电路符号如图 1.7 (a) 所示, 两种比较常用的引脚封装如图 1.7 (b) 和图 1.7 (c) 所示。

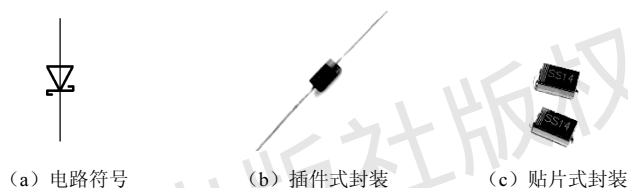


图 1.7 肖特基二极管的电路符号和引脚封装图

1.2.4 发光二极管

发光二极管 (Light Emitting Diode) 的符号为 LED。

和普通二极管一样，发光二极管也具有单向导电性。

发光二极管可以把电能转化为光能，属于电流驱动型半导体器件，其发光亮度与其正向工作电流有关，正向工作电流越大，发光亮度越高。但在实际使用中我们会发现，当发光二极管的正向工作电流增大到一定值时，继续增大正向工作电流，其发光亮度不再有明显的变化。因此，在实际使用发光二极管时，应根据环境亮度要求来设定其正向工作电流，不可以盲目追求高发光亮度。在使用发光二极管时还必须注意，发光二极管的正向工作电流不可以超过其额定正向工作电流，否则发光二极管会因过热而烧毁。

在相同正向工作电流驱动下，不同颜色的发光二极管的正向管压降不同，随着光波频率的升高，发光二极管的正向管压降逐渐升高。在可见光范围内，红色发光二极管的正向管压降最低，蓝紫色发光二极管的正向管压降最高。

与普通二极管相比，发光二极管的额定正向工作电流较小，通常应小于 20mA。

随着发光二极管制造技术的不断进步和生产工艺的不断提高，如今很多发光二极管在小于 1mA 的正向工作电流驱动下也能正常发光，并且能够满足显示亮度的设计要求。

常用发光二极管的主要技术参数如表 1.4 所示，相对于其他种类的二极管，发光二极管的额定正向管压降较大，额定正向工作电流较低，额定反向击穿电压也较低，在使用时应特别注意。

表 1.4 常用发光二极管的主要技术参数

发光颜色	光波波长/nm	驱动电流为 20mA 时的正向管压降/V	反向击穿电压/V
无色（红外光）	850~940	1.5~1.7	5
红色	633~660	1.7~1.8	5
黄色	585~620	1.8~2.0	5
绿色	555~570	2.0~3.0	5
蓝色	430~470	3.0~3.8	5

发光二极管的发光亮度与其正向工作电流不为线性关系。当发光二极管的发光亮度较低时，增大其正向工作电流，其发光亮度会有明显提高。但当发光亮度提高到一定程度后，继续增大其正向工作电流，发光二极管的发光亮度不再有明显提高。并且，如果发光二极管长时间工作在大电流条件下，其使用寿命会明显缩短。因此，在发光亮度或发射功率已经满足设计要求的情况下，应使发光二极管尽量在较小电流的条件下工作。

为保证发光二极管不被烧坏，在使用发光二极管时，必须串联一个阻值合适的限流电阻，以限制发光二极管的正向工作电流，调节发光二极管的发光亮度。

发光二极管的电路符号如图 1.8 (a) 所示，其外形封装如图 1.8 (b) 所示，其工作电路原理图如图 1.8 (c) 所示。

在如图 1.8 (c) 所示的电路中，发光二极管的工作电流 I_{LED} 可以用下式计算

$$I_{LED} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{R}$$

目前发光二极管已经可以用很小的正向工作电流驱动。在使用时，应根据生产厂家提供

的产品数据手册及发光亮度和发射功率等具体设计要求，通过改变限流电阻的阻值来设定发光二极管的正向工作电流。



图 1.8 发光二极管的电路符号、外形封装和工作电路原理图

从能量损耗的角度出发，在保证发光二极管可以正常发光，或者发射功率已经满足设计要求的前提下，发光二极管的正向工作电流设置得越小越好。

发光二极管的额定反向工作电压较低，一般不超过 5V。当发光二极管的反向管压降超过其额定反向工作电压时，发光二极管极易因过热而烧毁。

在选用发光二极管时，除要考虑普通二极管的基本参数以外，还要考虑以下光学参数。

(1) 波长：光谱特性参数，可以体现发光二极管发出的光的单色性是否优良，颜色是否纯正。

(2) 光强分布：发光二极管在不同空间角度发光强度的分布情况。光强分布参数会影响发光二极管显示装置的最小观察视角。

(3) 发光效率：发光二极管的节能特性，用光通量与电功率之比表示。

(4) 半强度辐射角：当发光强度为最大发光强度的 50%时所对应的辐射角。

与白炽灯相比，发光二极管具有体积小、重量轻、消耗能量低、响应时间快、环境适应能力强等优点。随着发光二极管产业的飞速发展，发光二极管的发光效率在不断提高，价格也在逐渐下降。行业的发展和技术的进步使发光二极管在照明领域的应用越来越广泛。

1.2.5 稳压二极管

稳压二极管也称齐纳二极管 (Zener Diode)，简称稳压管。在本书中用 VD_Z 表示稳压二极管。

稳压二极管的伏安特性曲线如图 1.9 所示。在规定的反向工作电流范围内，即在 (I_{Zmin}, I_{Zmax}) 的反向工作电流的驱动下，稳压二极管的反向击穿电压基本保持为 V_Z 不变。

稳压二极管的技术参数与普通二极管的不同，其主要技术参数的具体定义如下。

(1) 最大工作电流 I_{Zmax} ：保证稳压二极管能正常输出标称稳定电压所允许通过的最大反向工作电流。在允许范围内，稳压二极管的反向工作电流越大，其稳压效果越好，同时稳压二极管自身所消耗的功率也越大。当流经稳压二极管的反向工作电流超过其最大工作电流时，其自身消耗的功率将超过额定功率，稳压二极管会因过热而烧毁。

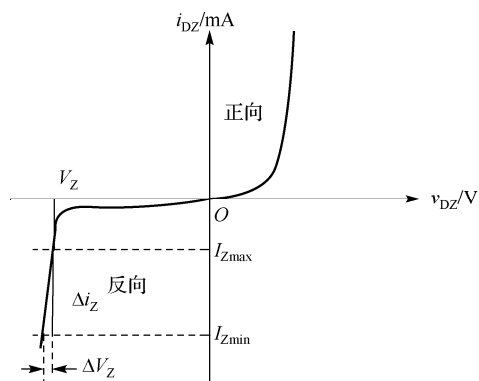


图 1.9 稳压二极管的伏安特性曲线

(2) 最小工作电流 I_{Zmin} : 保证稳压二极管能输出稳定电压值所必需的最小反向工作电流。稳压二极管是电流驱动型器件, 所以需要一定的驱动电流来维持其正常稳压功能。当流经稳压二极管的反向工作电流低于其最小工作电流时, 稳压二极管将失去稳压作用。

(3) 标称稳压值 V_Z : 在最大工作电流作用下, 稳压二极管所产生的反向管压降。由于生产材料和制造工艺等方面的制约, 即使是同一种型号、同一个批次生产出来的稳压二极管, 其标称稳压值也存在一定的离散性。因此, 禁止并联使用稳压二极管。

(4) 额定功率 P_{ZM} : 其数值等于标称稳压值 V_Z 与最大工作电流 I_{Zmax} 的乘积。在购买稳压二极管时, 通常需要知道其额定功率和标称稳压值。

(5) 动态电阻: 稳压二极管的反向管压降变化量与工作电流变化量的比值。

(6) 电压温度系数: 在一定工作条件下, 稳压二极管的反向管压降受温度变化影响的系数, 即温度每变化 1°C , 稳压二极管的反向管压降变化的百分比。

稳压二极管的电压温度系数有正、负之分, 通常情况下, 标称稳压值低于 4V 的稳压二极管, 其电压温度系数为负值; 标称稳压值高于 6V 的稳压二极管, 其电压温度系数为正值; 标称稳压值为 $4\sim 6\text{V}$ 的稳压二极管, 其电压温度系数为正值或负值。在要求较高的应用场合中, 可以将正、负两种温度系数的稳压二极管串联使用以实现温度补偿。

稳压二极管和普通二极管一样有两个引脚, 其电路符号如图 1.10 (a) 所示, 其实物图如图 1.10 (b) 所示, 其工作电路原理图如图 1.10 (c) 所示。

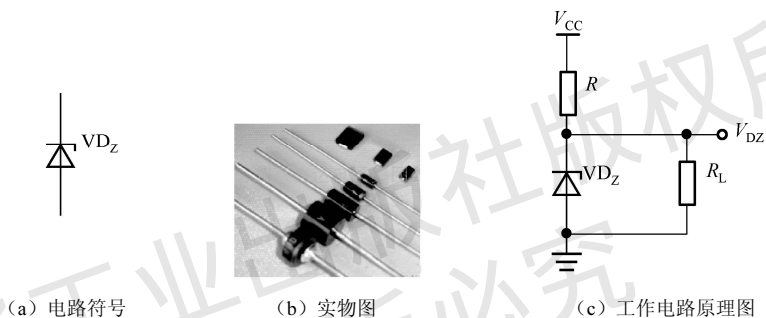


图 1.10 稳压二极管的电路符号、实物图和工作电路原理图

在使用稳压二极管时，也必须串联一个阻值合适的限流电阻，如图 1.10 (c) 所示，以调整稳压二极管的反向工作电流并保护稳压二极管，将稳压二极管的反向工作电流设定在规定的范围内，可以保证稳压二极管长时间工作在反向击穿状态下而不被烧毁。

在如图 1.10 (c) 所示的电路中，稳压二极管的反向工作电流 I_{DZ} 可以用下式计算

$$I_{DZ} = \frac{V_{CC} - V_{DZ}}{R} - \frac{V_{DZ}}{R_L}$$

式中， V_{DZ} 是稳压二极管输出的稳压值。

稳压二极管的反向工作电流必须设定在 I_{Zmin} 和 I_{Zmax} 之间，在此范围内，稳压二极管的输出电压会稳定在 V_Z 附近，基本保持不变。当反向工作电流低于 I_{Zmin} 时，稳压二极管将进入反向截止状态而不再稳压；当反向工作电流高于 I_{Zmax} 时，稳压二极管会因过热而烧毁。在如图 1.10 (c) 所示的电路中，当改变限流电阻的阻值 R 或者改变负载电阻的阻值 R_L 时，稳压二极管的反向工作电流 I_{DZ} 都会发生变化。因此，在用稳压二极管设计电路时，除了要考虑空载时稳压二极管的反向工作电流，还必须考虑带负载后稳压二极管的反向工作电流变化是否满足器件参数的设计要求。

多数额定功率为 0.5W 的稳压二极管与通用小功率二极管 1N4148 一样，采用红色玻璃管封装。若不知道所选用的器件的型号，则单纯用肉眼很难分辨通用小功率二极管和稳压二极管。

在用稳压二极管设计电路时，应根据稳压二极管的主要技术参数和实际电路设计指标来确定其反向工作电流。如果设定的反向工作电流偏小，那么稳压二极管的稳压能力会降低；如果设定的反向工作电流偏大，那么稳压二极管自身的功耗会偏大。所以在设计电路时，应综合考虑各方面因素。

在选用稳压二极管时，其标称稳压值应等于或略高于设计要求的稳压值，其最大工作电流应高于最大负载电流的 50%。当负载电流变化范围较大时，还应考虑当负载电流变化到最大值和最小值时的极端情况下稳压二极管能否正常工作。

在选用稳压二极管时，除了要知道其标称稳压值，还必须知道其额定功率。在正常使用情况下，稳压二极管自身所消耗的功率不可以超过产品数据手册上规定的额定功率。在设计时，为了保证稳压二极管可以长时间稳定工作，其实际消耗的功率应小于额定功率，否则稳压二极管会因长时间过热而烧毁。在使用稳压二极管时，应查阅相关生产厂家提供的产品数据手册。

推荐产品数据手册免费下载网址：<http://www.alldatasheet.com/>。

如表 1.5 所示为仙童半导体公司 (Fairchild Semiconductor) 生产的 1N5200 系列部分常用稳压二极管的主要技术参数。

表 1.5 1N5200 系列部分常用稳压二极管的主要技术参数

型 号	稳 压 值/V	额 定 功 率/mW	反向工作电流为 20mA 时的动态电阻/ Ω	反向工作电流为 0.25mA 时的动态电阻/ Ω
1N5221B	2.4	500	30	1200
1N5222B	2.5	500	30	1250
1N5223B	2.7	500	30	1300
1N5224B	2.8	500	30	1400
1N5225B	3.0	500	29	1600

续表

型 号	稳 压 值/V	额 定 功 率/mW	反向工作电流为 20mA 时的动态电阻/ Ω	反向工作电流为 0.25mA 时的动态电阻/ Ω
1N5226B	3.3	500	28	1600
1N5227B	3.6	500	24	1700
1N5228B	3.9	500	23	1900
1N5229B	4.3	500	22	2000
1N5230B	4.7	500	19	1900
1N5231B	5.1	500	17	1600
1N5232B	5.6	500	11	1600
1N5233B	6.0	500	7.0	1600
1N5234B	6.2	500	5.0	1000
1N5235B	6.8	500	5.0	750
1N5236B	7.5	500	6.0	500
1N5237B	8.2	500	8.0	500
1N5238B	8.7	500	8.0	600

如表 1.6 所示为摩托罗拉半导体公司 (MOTOROLA Semiconductor) 生产的额定功率为 1W 的 1N4700A 系列部分常用稳压二极管的主要技术参数。

表 1.6 1N4700A 系列部分常用稳压二极管的主要技术参数

型 号	稳压特性及动态参数			动 态 参 数	
	稳 压 值/V	测 试 电 流/mA	动 态 电 阻/ Ω	测 试 电 流/mA	动 态 电 阻/ Ω
1N4728A	3.3	76	10	1	400
1N4729A	3.6	69	9	1	400
1N4730A	3.9	64	9	1	400
1N4731A	4.3	58	8	1	400
1N4732A	4.7	53	8	1	500
1N4733A	5.1	49	7	1	550
1N4734A	5.6	45	5	1	600
1N4735A	6.2	41	2	1	700
1N4736A	6.8	37	3.5	1	700
1N4737A	7.5	34	4	0.5	700
1N4738A	8.2	31	4.5	0.5	700
1N4739A	9.1	28	5	0.5	700
1N4740A	10	25	7	0.25	700
1N4741A	11	23	8	0.25	700
1N4742A	12	21	9	0.25	700
1N4743A	13	19	10	0.25	700
1N4744A	15	17	14	0.25	700
1N4745A	16	15.5	16	0.25	700
1N4746A	18	14	20	0.25	750

从表 1.5 和表 1.6 可以看出, 稳压二极管的主要技术参数除包括稳压值和额定功率以外, 还包括测试电流和动态电阻, 并且对于测试电流和动态电阻都给出了两组数据, 其中较大的测试电流对应稳压二极管的最大工作电流 I_{Zmax} , 较小的测试电流对应稳压二极管的最小工作电流 I_{Zmin} 。稳压二极管的反向工作电流应设定在最大工作电流 I_{Zmax} 和最小工作电流 I_{Zmin} 之间。

从表 1.5 和表 1.6 还可以看出, 当稳压二极管的驱动电流较小时, 其动态电阻较大。稳压二极管作为一种稳压器件, 若动态电阻较大 (相当于其内阻较大), 则稳压效果相对较差。

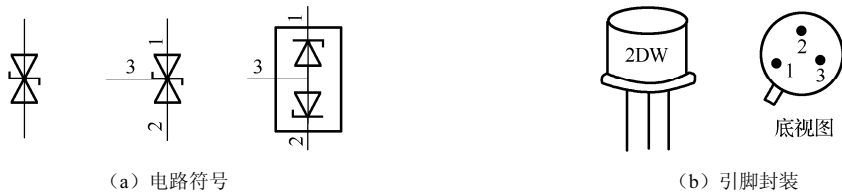
1.2.6 双向稳压二极管

双向稳压二极管是由两个反向的稳压二极管串联并封装在一起构成的器件, 其外部有 3 个引脚, 其内部有两种接法: 一种是两个正极连接在一起作为公共端; 另一种是两个负极连接在一起作为公共端。因此, 在使用双向稳压二极管前, 必须先确定其引脚的连接形式。

在正常工作时, 双向稳压二极管中的一个稳压二极管反向稳压, 另外一个稳压二极管正向导通, 若直接测量双向稳压二极管两个稳压引脚之间的压降, 则测得的电压值是一个稳压二极管的反向稳压值与另外一个稳压二极管的正向导通压降之和。

在多数情况下, 双向稳压二极管在双电源电路中使用。例如, 在双电源供电的迟滞比较器中, 利用双向稳压二极管的对称性, 可以在迟滞比较器的输出端得到正、负对称的输出电压值。若买不到双向稳压二极管, 则也可以用两个性能相同的稳压二极管反向串联成一个双向稳压二极管使用。

双向稳压二极管的电路符号如图 1.11 (a) 所示, 其引脚封装如图 1.11 (b) 所示。



(a) 电路符号

(b) 引脚封装

图 1.11 双向稳压二极管的电路符号和引脚封装

2DW230 系列双向稳压二极管是国产半导体器件, 其内部设有温度补偿电路, 具有电压温度系数低等优点, 可以在需要精密稳压的电路中使用。

2DW230 系列双向稳压二极管的主要技术参数如表 1.7 所示。

表 1.7 2DW230 系列双向稳压二极管的主要技术参数

型号	额定功率/mW	最大工作电流/mA	最高结温/°C	稳定电压/V	工作电流为 10mA 时的动态电阻/Ω	反向漏电流/μA
2DW230	200	30	150	5.8~6.6	≤15	≤1
2DW231				5.8~6.6	≤15	≤1
2DW232				6.0~6.5	≤10	≤1
2DW233				6.0~6.5	≤10	≤1
2DW234				6.0~6.5	≤10	≤1
2DW235				6.0~6.5	≤10	≤1
2DW236				6.0~6.5	≤10	≤1

从表 1.7 可以看出, 2DW230 系列双向稳压二极管的额定功率是 200mW, 最大工作电流是 30mA, 工作电流为 10mA 时的动态电阻小于或等于 15Ω , 动态电阻小的双向稳压二极管的稳压效果好。

1.2.7 双色发光二极管

双色发光二极管的内部封装了两种不同颜色的单色发光二极管。将两个单色发光二极管的阳极引脚或阴极引脚接到一起封装成一个器件, 即可构成双色发光二极管。

按内部引脚连接方式不同, 双色发光二极管可分为共阳极双色发光二极管和共阴极双色发光二极管。共阳极双色发光二极管内部的两个单色发光二极管的阳极连接在一起; 共阴极双色发光二极管内部的两个单色发光二极管的阴极连接在一起。因此, 在选用双色发光二极管时, 应先确定其内部结构。

双色发光二极管的外形图如图 1.12 (a) 所示, 其共阳极电路连接图如图 1.12 (b) 所示, 其共阴极电路连接图如图 1.12 (c) 所示。

和使用普通发光二极管一样, 在使用双色发光二极管时也必须串联限流电阻, 以保护其内部电路, 以及调节每个单色发光二极管的发光亮度。因此, 需要给两个单色发光二极管分别串联限流电阻, 如图 1.12 (b) 和图 1.12 (c) 所示, 以保证两种单色光的发光亮度可以单独调节。

为使双色发光二极管可以显示出除两种单色光以外的第三种颜色, 可以分别调整两个单色发光二极管串联的限流电阻的阻值, 即调整不同颜色单色光的发光强度, 利用光学原理, 将两种不同颜色的单色光调和成第三种颜色的光。在如图 1.12 (c) 所示的电路中, 通过控制 K1、K2 引脚上的电压值, 或改变限流电阻的阻值 R_1 、 R_2 , 可以控制双色发光二极管显示出 4 种不同的状态。例如, 红绿双色发光二极管有不发光、红色、绿色、黄色 4 种状态。

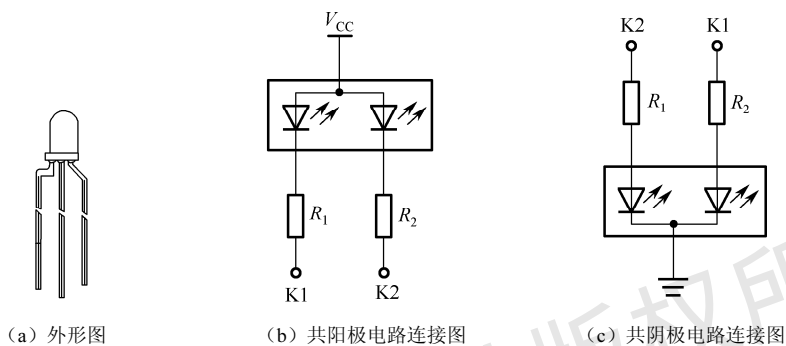


图 1.12 双色发光二极管的外形图和电路连接图

1.2.8 数码管

数码管由多个发光二极管构成。

按发光段数不同, 数码管可分为 7 段数码管和 8 段数码管。7 段数码管只能显示“8”字形; 8 段数码管除了可以显示“8”字形, 还可以显示小数点“.”。

将几个数码管封装在一起，按封装后所能显示的位数不同，数码管可分为 1 位数码管、2 位数码管、3 位数码管等。

按内部发光二极管的连接方式不同，数码管可分为共阳极数码管和共阴极数码管两大类。共阳极数码管是指内部所有发光二极管的阳极连接在一起作为公共阳极的数码管；共阴极数码管是指内部所有发光二极管的阴极连接在一起作为公共阴极的数码管。

共阳极数码管的电路连接图如图 1.13 所示，其公共阳极引脚 3 和 8 一起接到 +5V 电源（高电平）上，通过控制引脚 K1~K8 的高、低电平可控制共阳极数码管显示相应的字符。

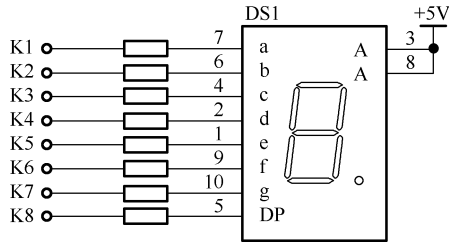


图 1.13 共阳极数码管的电路连接图

共阴极数码管的电路连接图如图 1.14 所示，其公共阴极引脚 3 和 8 一起接到参考地（低电平）上，通过控制引脚 K1~K8 的高、低电平可控制共阴极数码管显示相应的字符。

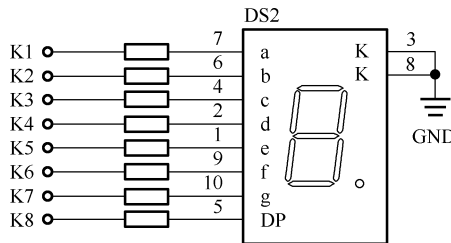


图 1.14 共阴极数码管的电路连接图

在使用数码管时，也必须串联限流电阻，以保护其内部的发光二极管，以及调节发光二极管的发光亮度。在设计电路时，最好不要只在公共引脚上直接串联一个限流电阻，而应该给 8 个显示字段 a、b、c、d、e、f、g、DP 所对应的引脚分别串联一个限流电阻，如图 1.13 和图 1.14 所示，当需要点亮某个显示字段时，只需要将对应显示字段所串联的限流电阻接到高电平或低电平上即可。因为在点亮每个显示字段时都需要一定的工作电流，所以如果只在公共引脚上串联一个限流电阻，那么当显示“8.”时，所有显示字段同时被点亮，此时流过该限流电阻的电流相对较大。因此，在选用限流电阻时，还必须考虑该限流电阻的功率参数是否满足设计要求。此外，如果只在公共引脚上串联一个限流电阻，那么当显示不同数字时，显示亮度也会因显示字段的段数不同而发生变化，从而直接影响显示效果。

1.2.9 光电二极管

光电二极管也称光敏二极管（Photosensitive Diode），其主要作用是将接收到的光能转换

为电能，使电路参数发生变化。光电二极管常被用作检测器件，所示也称光电传感器。

光电二极管的伏安特性曲线如图 1.15 所示，光电二极管的测试电路如图 1.16 所示。从图 1.16 中可以看出：光电二极管所产生的电流是从其负极流出的。当接收到光照时，光电二极管相当于一个小电池，在分析电路时，可以把光电二极管当作光控电流源。

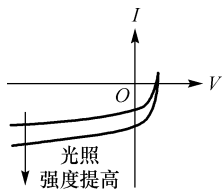


图 1.15 光电二极管的伏安特性曲线

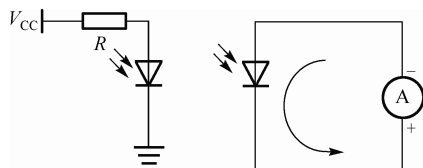


图 1.16 光电二极管的测试电路

光照强度不同，从光电二极管流出的电流就不同：光照强度越高，从光电二极管负极流出的电流越大。在如图 1.16 所示的电路中，改变供电电压 V_{CC} 或者改变限流电阻的阻值 R 都可以改变发射管的工作电流，即改变发射管的发光强度，从而改变光电二极管接收到的光照强度；改变发射管与接收管之间的距离，或者改变发射管与接收管之间的角度，也可以改变光电二极管接收到的光照强度，从而控制光电二极管输出电流的大小。

用量程合适的电流表可以直接测量出从光电二极管负极流出的电流。

光电二极管主要技术参数如下。

- (1) 暗电流：在没有入射光照射的条件下，从光电二极管负极流出的电流。
- (2) 光电流：在有入射光照射的条件下，从光电二极管负极流出的电流。
- (3) 灵敏度：光电二极管对光照强度反应的灵敏程度。
- (4) 转换效率：光通量与电功率的比值。

1.3 实验电路的设计与测试

学习并掌握二极管的基本工作原理是熟练使用二极管设计实验电路的基础和前提。本实验要求学生通过查阅相关产品技术资料，掌握常用二极管的选型依据，并能熟练使用指定的二极管设计实验电路。

1.3.1 通用二极管的设计与测试

用给定型号的二极管（如 1N4148、1N4007、1N5819 等）设计实验电路。

根据实验室条件，选用合适的器件并搭接实验电路。

查阅资料，根据二极管的种类和型号选用电压合适的电源及阻值合适的限流电阻，测试不同二极管的正向导通特性和反向截止特性，画出不同二极管的伏安特性曲线。

设计实验数据记录表格，测试并记录实验数据（如电源电压，限流电阻的阻值，二极管

的正向管压降、工作电流、管功耗等)。

分析实验数据,说明怎样选用二极管的限流电阻,怎样设定二极管的工作电压,怎样测试二极管的工作电流和管功耗等。总结实验用二极管的基本特性及使用注意事项。

1.3.2 发光二极管的设计与测试

用给定颜色(如红色、黄色、绿色、蓝色等)的发光二极管设计实验电路。

根据实验室条件,选用合适的器件并搭接实验电路。

查阅资料,根据发光二极管的参数特性选用电压合适的电源和阻值合适的限流电阻,测试不同颜色发光二极管的导通压降,并计算其工作电流和管功耗等。

设计实验数据记录表格,测试并记录实验数据(如电源电压,限流电阻的阻值,发光二极管的正向管压降、工作电流、管功耗等)。

分析不同颜色发光二极管的正向管压降与发光颜色之间的关系,发光二极管的工作电流与发光亮度之间的关系,发光二极管的管功耗与发光亮度之间的关系等。总结设定发光二极管工作电流的基本原则和方法。

1.3.3 稳压二极管的设计与测试

用给定型号的稳压二极管(如 1N4728A、1N5228B 等)设计实验电路。

根据稳压二极管的参数和实验室条件,选用合适的器件并搭接实验电路,改变电源电压值,测试稳压二极管的反向稳压特性和正向导通特性,画出稳压二极管的伏安特性曲线。

设计实验数据记录表格,测试并记录实验数据(如电源电压,限流电阻的阻值,稳压二极管的输出电压、工作电流、管功耗等)。

根据稳压二极管的参数和实验室条件,选用合适的器件并搭接实验电路,改变负载电阻值,测试负载电流的变化对稳压二极管输出电压的影响。

设计实验数据记录表格,测试并记录实验数据(如电源电压,限流电阻的阻值,负载电阻的阻值,稳压二极管的输出电压、工作电流、负载电流、管功耗等)。

分析稳压二极管的输出电压与工作电流之间的关系,管功耗与工作电流之间的关系,负载电流与工作电流之间的关系,负载电流与输出电压之间的关系等。总结设定稳压二极管工作电流的基本原则和方法。

1.3.4 双向稳压二极管的设计与测试

用万用表测量指定双向稳压二极管(如 2DW231、2DW232 等)的引脚极性,根据测量结果画出双向稳压二极管的电路符号和引脚封装图。

设计测试电路和测试方法,测试给定双向稳压二极管的稳压值。

根据实验室条件,选用合适的器件并搭接实验电路。

设计实验数据记录表格，测试并记录实验数据（如电源电压，限流电阻的阻值，单个稳压二极管的反向稳压值，单个稳压二极管的正向导通压降，两个稳压二极管反向级联的稳压值等）。

比较测试数据，分析说明双向稳压二极管与单向稳压二极管的异同点。

根据实验数据，总结确定双向稳压二极管限流电阻的原则和方法。

1.3.5 整流电路的设计与测试

用指定型号的整流二极管（如 1N4000 系列整流二极管）设计一个桥式全波整流电路。

根据实验室条件，选用合适的器件并搭接实验电路。

在整流电路的输入端加正弦波交流输入信号，在输出端加直流负载，用示波器观测交流输入信号的波形并记录下来，注意观测并记录输入信号的周期和幅值等参数。

将示波器的探头与交流输入信号断开，用示波器观测输出信号的波形并记录下来。在观测输出信号的波形时，应将示波器的通道耦合方式设置成直流耦合方式。

改变输出端直流负载的电阻值，观测输出信号波形的变化并记录下来。

分析说明为什么不用同一台示波器的两个通道同时观测输入信号、输出信号波形的变化。

设计实验数据记录表格，画出输入信号、输出信号波形，注意记录输入信号、输出信号波形的时间对应关系，记录实验数据（如周期、频率、最大值、最小值等），计算整流效率。

比较输入信号、输出信号波形的变化，总结桥式全波整流电路的作用。

1.3.6 双色发光二极管的设计与测试

用万用表测试给定双色发光二极管各引脚极性（是正极还是负极），根据各引脚的极性判断其内部结构，画出其电路符号和引脚封装图，确定其类型（是共阳极的还是共阴极的）。

设计实验电路和测试方法，测试并观察双色发光二极管的几种不同显示状态。

根据实验室条件，选用合适的器件并搭接实验电路，观测双色发光二极管中两种单色光的颜色并记录下来。

根据发光二极管的工作电流与发光亮度之间的关系，改变限流电阻的阻值，分别调节两种不同颜色单色光的亮度，以保证当同时点亮两种单色光时，可以将这两种单色光调和成第三种颜色的光。

在调试电路过程中，应特别注意控制发光二极管的工作电流，以防发光二极管烧毁。

设计实验数据记录表格，记录电源电压，以及在显示第三种颜色的光时所使用的两个限流电阻的阻值，计算两种不同颜色发光二极管的工作电流和管功耗等。

总结使双色发光二极管发出第三种颜色光的电路设计和调试方法。

1.3.7 数码管驱动电路的设计与测试

用万用表测试给定的数码管，找出其公共引脚，确定其他各引脚与各显示字段的对应关

系。画出引脚封装图，标出各显示字段对应的引脚及公共引脚，并指出数码管的类型（是共阳极的还是共阴极的）。

用列表法给出外部引脚与显示字段之间的对应关系。

设计测试电路和测试方法，使数码管显示指定字符。

根据实验室条件，选用合适的器件并搭接实验电路。

设计实验数据记录表格，测试并记录当显示不同字符时各引脚的工作状态。

动态驱动是将各个数码管的 8 个显示字段 a、b、c、d、e、f、g、DP 的同名端连在一起，另外在每个数码管的公共极设有位选通控制端。位选通是通过各个数码管独立的 I/O 线控制的，当单片机输出字形码时，所有数码管都接收到相同的字形码，但究竟哪个数码管会显示出字形，取决于单片机对位选通端的控制，只有需要显示字形的数码管被选通，该数码管显示出字形，没有被选通的数码管不会显示字形。数码管动态驱动显示方式，通过分时轮流控制各个数码管的位选通端，使各个数码管轮流受控显示。

在轮流显示过程中，每个数码管的点亮时间为 $1\sim 2\text{ms}$ ，由于人的视觉暂留现象（或称发光二极管的余晖效应），尽管实际上各个数码管并非同时点亮，但只要扫描的速度足够快，人眼看到的就是一组稳定的显示数据，而没有闪烁感。

动态显示的效果和静态显示的效果是一样的，并且能够节省大量的 I/O 端口，且功耗更低。

1.3.8 光电二极管的设计与测试

用万用表测试并判断光电二极管的引脚极性。

设计测试电路和测试方法，测试并观察流经光电二极管的电流的变化。

根据实验室条件，选用合适的器件并搭接实验电路。

改变测试条件，观察流经光电二极管的电流的变化，判断给定光电二极管是否在正常工作。

设计实验数据记录表格，分别改变发射功率或者发射管与接收管之间的距离或角度，测试并记录在不同条件下光电二极管的工作电流。

根据实验数据总结增大光电二极管工作电流的方法。

1.4 思考题

1. 在指定二极管型号和给定电源电压的条件下，即二极管的额定正向工作电流已知，如何选用二极管的限流电阻？
2. 在指定稳压二极管型号和给定电源电压的条件下，即稳压二极管的额定功率、工作

电流和标称稳压值已知，如何选用稳压二极管的限流电阻？

3. 在没有电流表的条件下，如何测量并计算得到二极管的工作电流？
4. 二极管的导通电阻与哪些参数有关？如何计算二极管的导通电阻？
5. 二极管的静态管功耗与哪些参数有关？如何计算二极管的静态管功耗？
6. 如何用万用表判断双色发光二极管是共阴极的还是共阳极的？
7. 如何用万用表判断数码管是共阴极的还是共阳极的？如何用万用表判断并确定数码管每个引脚所对应的显示字段？
8. 设计一种简单的实验方法，测试并判断给定的光电二极管是否功能正常。