



第二部分

模拟电子技术基础实验

第2章 常用二极管的使用

二极管是模拟电子线路的基础，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子线路理论课程的基础和前提。

2.1 预习思考题

- (1) 在指定二极管型号，并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，怎样计算并选用二极管的限流电阻？
- (2) 在指定稳压二极管型号，并给定电源电压的条件下，即稳压二极管额定功率、工作电流和标称稳压值已知，怎样计算并选用稳压二极管的限流电阻？
- (3) 在没有电流表的条件下，怎样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？怎样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？怎样计算二极管的静态管功耗？
- (6) 简要说明怎样用万用表判断双色发光二极管的类型（共阴极还是共阳极）。
- (7) 简要说明怎样用万用表判断数码管的极性（共阴极还是共阳极），怎样用万用表判断并确定数码管每个引脚所对应的字段。
- (8) 设计一种简单的实验方法，测试并判断给定光敏二极管是否好用。

2.2 实验电路的设计与测量

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用电路的基础和前提。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，并能熟练运用指定的二极管设计实用电路。

2.2.1 通用二极管的电路设计与参数测量

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

根据二极管的种类和型号选用合适的电源电压和限流电阻，测试不同二极管的导通压降，计算二极管的工作电流和管功耗等参数。

根据实验室条件，选用合适的器件搭接实验电路。

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、二极管的导通压降、工作电流、管功耗等）。

分析实验数据，说明怎样设定二极管的工作电压和工作电流。

总结实验用二极管的基本特点和使用注意事项。

2.2.2 发光二极管的电路设计与参数测量

用给定颜色的发光二极管（如红色、黄色、绿色、蓝色等）设计实验电路。

根据发光二极管的参数特性选用合适的电源电压和限流电阻，测试不同颜色发光二极管的导通压降，计算二极管的工作电流和管功耗等参数。

根据实验室条件，选用合适的器件搭建实验电路。

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

分析实验数据，说明不同颜色发光二极管的导通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。

2.2.3 稳压二极管的电路设计与参数测量

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

根据稳压二极管的器件参数和实验室条件，选用合适的限流电阻搭建实验电路，改变电源电压值，测试稳压管的输出电压与工作电流之间的关系。

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、稳压二极管的输出电压、工作电流、管功耗等参数）。

根据稳压二极管的器件参数和实验室条件，选用合适的电源电压、限流电阻和负载电阻搭建实验电路，改变负载电阻值，测试负载电流的变化对稳压管输出电压的影响。

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、负载电阻、稳压二极管的输出电压、工作电流、输出电流、管功耗等参数）。

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。

2.2.4 双向稳压管的电路设计与参数测量

用万用表测量指定双向稳压管（如 2DW231、2DW232 等）的引脚极性，根据测量结果画出双向稳压管的引脚封装图和电路符号图。

设计测试电路和测试方法，测试给定双向稳压管的稳压值。

根据实验室条件，选用合适的电源电压和限流电阻搭建实验电路。

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、单个稳压管的反向稳压值、单个稳压管的正向导通压降、两个稳压管反向级联的稳压值等）。

比较测试数据，分析说明双向稳压管与单向稳压管的异同点。

根据实验数据，总结确定双向稳压管限流电阻的原则和方法。

2.2.5 整流电路的设计与参数测量

用指定型号的整流二极管（如 1N4000 系列二极管）设计一个桥式全波整流电路。

根据实验室条件，选用合适的器件搭建实验电路。

在整流电路的输入端加正弦波交流输入信号，在输出端加上直流负载，用示波器观测交流输入信号并记录下来，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。观测输出信号时，应将示波器的通道耦合方式设置成直流耦合方式。

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、输出波形的变化。

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

比较输入、输出波形的变化，总结桥式全波整流电路的作用。

2.2.6 双色发光二极管的电路设计与参数测量

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

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，选用合适的电源电压和限流电阻搭接实验电路，测试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，改变限流电阻值，分别调节两种不同颜色单色光的亮度，以保证同时点亮两种单色光时，在视觉上可以将这两种单色光调和出第三种颜色。

在调试过程中，应特别注意控制发光二极管的工作电流，以防发光二极管被烧毁。

设计实验数据记录表格，记录电源电压，显示第三种颜色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参数。

总结将双色发光二极管调出第三种颜色的电路设计和调试方法。

2.2.7 数码管驱动电路的设计与测量

用万用表测量给定数码管，找出其公共引脚，判断其他各引脚与各字段的对应关系。画出引脚封装图，标出公共引脚，指出数码管的类型（共阳极还是共阴极）。

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，将数码管点亮至指定字符。

根据实验室条件，选用合适的电源电压和限流电阻搭接实验电路。

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。

2.2.8 光电二极管的使用与测量

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，观察并测试流过光电二极管的电流变化。

根据实验室条件，选用合适的器件搭接实验电路。

改变测试条件，观察流过光电二极管的电流变化，判断给定光电二极管是否工作。

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，测试在不同条件下光电二极管的工作电流，记录测试数据。

根据实验数据总结增大光电二极管工作电流的方法。

2.3 常用二极管电路设计基础

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

2.3.1 二极管的基本特性

二极管的伏安特性曲线和电路符号如图 2.3.1 所示。

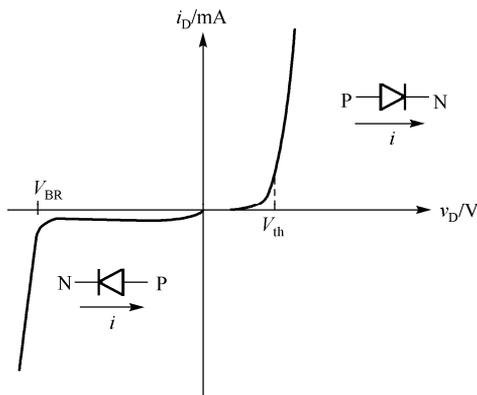


图 2.3.1 二极管的伏安特性曲线和电路符号

从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电流增大到一定值 (门槛电压 V_{th}) 时, 二极管开始进入正向导通状态。

正向导通后, 当继续增大流过二极管的正向工作电流时, 二极管两端的正向管压降会随工作电流的增大而增大, 但相对于工作电流的变化量, 二极管两端的正向管压降变化很小, 因此, 二极管正向导通后, 主要表现为一个阻值可变的小电阻。

从二极管的伏安特性曲线可以看出: 当加在二极管两端的反向电压小于其反向击穿电压 V_{BR} 时, 其反向漏电流很小, 基本趋于一个恒定值, 二极管处于反向截止状态。当加在二极管两端的反向电压超过其反向击穿电压 V_{BR} 时, 流过二极管两端的反向电流会急剧增大, 二极管将失去单向导电性而进入反向击穿区。

当二极管发生反向击穿后, 只要其反向工作电流与其反向管压降的乘积不超过 PN 结的反向额定耗散功率, 二极管就不会发生永久性损坏, 当反向工作电压撤销后, 二极管仍能恢复到正常工作状态, 人们利用二极管的这一特性, 可以将其制成稳压管。

当二极管发生反向击穿后, 其反向工作电流与其反向管压降的乘积超过 PN 结的反向额定耗散功率时, 二极管的 PN 结会因过热而烧毁。烧毁后的二极管将处于不确定状态, 当反向电压撤销后, 二极管不能恢复到正常工作状态。

从二极管的伏安特性曲线还可以看出: 无论是二极管的正向导通压降还是反向击穿压降, 二极管两端的压降只能在一个很窄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，实际使用时要求流过二极管的正向工作电流及其两端的正向管压降的乘积不可以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，使用二极管时，必须串接一个限流电阻，以调整并控制流过二极管的工作电流，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。

二极管的电路符号如图 2.3.2(a)所示，其正向工作电路原理图如图 2.3.2(b)所示。



图 2.3.2 二极管的电路符号和正向工作电路原理图

在图 2.3.2(b)所示的电路中，二极管的正向工作电流可以用下式计算得到：

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

式中， V 是二极管两端的正向管压降。

二极管的管功耗可以用下式计算得到：

$$P = V \times I$$

二极管的导通电阻可以用下式计算得到：

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

2.3.2 二极管的主要参数

二极管的参数是用来衡量二极管性能好坏和适用范围的技术指标，是正确使用二极管的主要依据。二极管的主要参数如下。

(1) 额定正向工作电流 I_F ——是指二极管长时间连续工作时，允许通过的最大正向平均电流。电流流过二极管时，会使二极管的管芯发热，温度升高，当温度超过允许值时，二极管的管芯会因过热而烧毁，因此，在规定散热条件下，二极管的正向工作电流不要超过其额定正向工作电流。

(2) 额定正向管压降 V_D ——是指流过二极管的工作电流为额定正向工作电流 I_F 时，二极管两端的正向管压降。

(3) 反向击穿电压 V_{BR} ——是指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 ——为保证正常使用二极管时不发生反向击穿，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 V_R 为其实际反向击穿电压的一半左右。

(5) 反向漏电流 I_R ——是指二极管在规定环境条件下和额定反向工作电压作用下，流过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，温度升高时，反向

漏电流增大，因此，使用二极管时，要特别注意环境温度变化对二极管反向漏电流的影响。

(6) 极间电容 C_d ——也叫结电容，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时，必须考虑二极管的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外加电压的极性发生突然翻转时，由于存在极间电容，二极管的工作状态不能在瞬间内完成跳变。特别是从正向偏置切换到反向偏置时，偏置电压翻转的瞬间会有较大的反向电流出现，经过一小段时间后，反向电流才能恢复到正常值，从正向偏置电压发生翻转开始计时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) 最高工作频率——是指二极管正常工作时的上限频率。二极管的最高工作频率主要取决于二极管的极间电容 C_d 。

2.4 常用二极管介绍

根据加工材料、制作工艺、结构、封装、用途等区分，二极管有多种不同的分类方法，本书依据二极管的主要功能，简单介绍几种较为常用的二极管。

2.4.1 整流二极管

整流二极管 (Rectifier Diode) 主要用于将交流电变换为脉动的直流电。人们多选用正向工作电流大、反向漏电流小的二极管作为整流二极管，如 1N4000 系列二极管。

普通的整流二极管的极间电容 C_d 较大，反向恢复时间 T_{RR} 较长。

半波整流电路结构简单，如图 2.4.1(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、输出波形如图 2.4.1(b)所示。

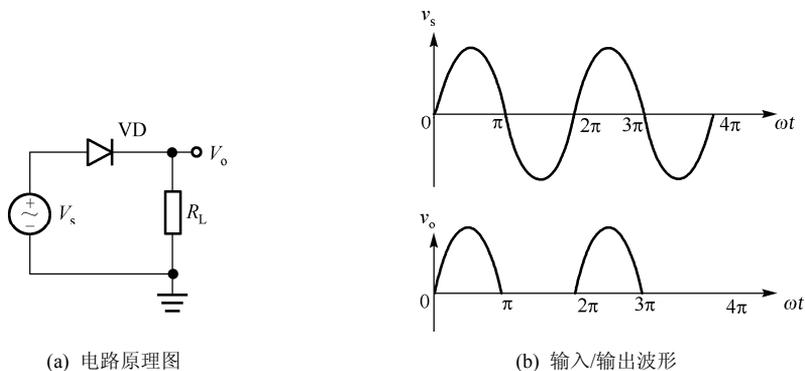


图 2.4.1 半波整流电路及其输入/输出波形

桥式全波整流电路如图 2.4.2(a)所示，其整流效率高，实际应用中较为常见。

桥式全波整流电路的输入、输出波形如图 2.4.2(b)所示。

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。

图 2.4.3 所示为常用整流二极管和整流桥块的外形图，其中图 2.2.3(a)是普通的整流二极管外形图，图 2.2.3(b)、(c)、(d)是已经封装好的整流桥块外形图。

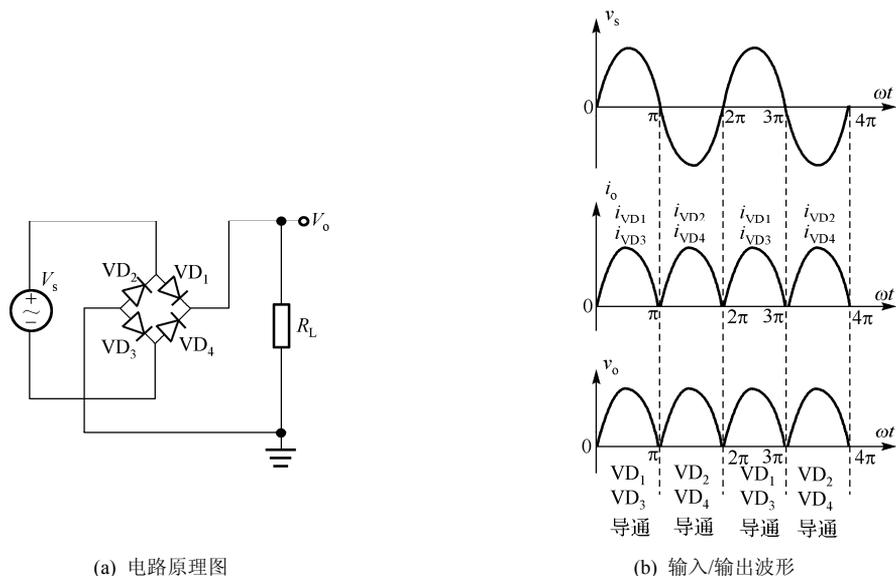


图 2.4.2 桥式全波整流电路及其输入/输出波形



图 2.4.3 常用整流二极管和整流桥块外形图

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，有时也需要考虑其正向管压降、反向漏电流、截止频率、反向恢复时间等参数。如对 50Hz 的交流市政电进行整流，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。

对于工作频率要求较高的脉冲整流电路、开关电源等，则必须考虑所选用二极管的截止频率和反向恢复时间等参数是否满足设计要求。

2.4.2 常用小功率二极管

比较常用的小功率二极管有 1N4148、1N4448 等。与中大功率二极管相比，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，不适于在大电流或高电压的电路中使用。但小功率二极管的结电容相对较小，反向恢复时间较短，适于在信号调理、检波等小电流、高频率的电路中使用。

小功率二极管多采用红色玻璃封装，比较常见的两种封装形式如图 2.4.4 所示。



图 2.4.4 常用小功率二极管的引脚封装图

2.4.3 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者肖特基势垒二极管，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。

肖特基二极管的电路符号如图 2.4.5(a)所示。

肖特基二极管两种比较常用的引脚封装如图 2.4.5(b)和图 2.4.5(c)所示。

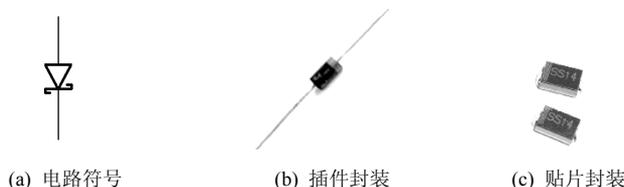


图 2.4.5 肖特基二极管的电路符号和引脚封装图

与其他额定正向工作电流相同的二极管相比，肖特基二极管的正向管压降较小，反向恢复时间短，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于用在低压、高频、大电流输出的电路中，如高频检波、混频、高速逻辑电路中的钳位、开关电源中的高速开关等，是高频开关电路的理想器件。

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，在某一临界范围内，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。

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、结电容、反向恢复时间、截止频率等参数。

2.4.4 发光二极管

发光二极管简称 LED（Light Emitting Diode）。

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成光能并发射出去，属于电流驱动型半导体器件，其发光强度与工作电流有关，工作电流越大，发光强度越强。但在实际使用中我们会发现：当发光二极管的工作电流增大到一定值时，继续增大工作电流，其发光亮度并没有明显变化。因此，实际使用发光二极管时，应根据环境亮度要求来设置其工作电流，不可以盲目追求发光亮度。并且还必须注意：发光二极管的工作电流不可以超过其额定正向工作电流，否则发光二极管的管芯会因过热而烧毁。

在相同工作电流驱动下，不同颜色的发光二极管其正向管压降不同，从红色到蓝色，随着发射光波频率的升高，发光二极管的管压降逐渐升高，在可见光范围内，红色发光二极管的管压降最低，蓝紫色发光二极管的管压降最高。

发光二极管的发光亮度与其工作电流不是线性关系。当发光亮度较弱时，增大发光二极管的工作电流，其显示亮度会有明显增强。但当发光亮度增加到一定强度后，继续增大其工作电流，发光二极管的发光亮度不会有明显提高。并且，如果发光二极管长时间工作在大电

流状态下，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，应尽量使发光二极管在工作电流较小的条件下工作。

为保证发光二极管不被烧坏，使用发光二极管时，也必须串接一个阻值合适的限流电阻，以限制发光二极管的工作电流，调节发光二极管的发光亮度。

发光二极管的电路符号如图 2.4.6(a)所示，外形封装如图 2.4.6(b)所示，工作电路原理如图 2.4.6(c)所示。



图 2.4.6 发光二极管的电路符号、外形封装和电路原理图

在图 2.4.6(c)所示的电路中，发光二极管的工作电流 I_{LED} 可以用下式计算得到，

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

随着生产工艺的不断提高，发光二极管的驱动电流已经可以做到很小。具体使用时，应根据生产厂家提供的产品数据手册、发光亮度和发射功率的具体设计要求，通过改变限流电阻值来设置发光二极管的工作电流。

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，发光二极管的工作电流应尽量设置得越小越好。

发光二极管的额定反向工作电压较低，一般最好不要超过 5V。当加在发光二极管两端的反向压降超过其额定反向工作电压时，发光二极管的管芯极易因过热而烧毁。

除了普通二极管的基本参数，选用发光二极管时，还应考虑以下几个光学参数。

- (1) 波长——是光谱特性，可以体现发光二极管的单色性是否优良，颜色是否纯正。
- (2) 光强分布——是指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——是指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——是指发光强度为最大发光强度 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，其发光效率在不断提高，产品价格却在逐年下降。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。

2.4.5 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 D_Z 表示。

稳压二极管工作在反偏状态下，其伏安特性曲线如图 2.4.7 所示。

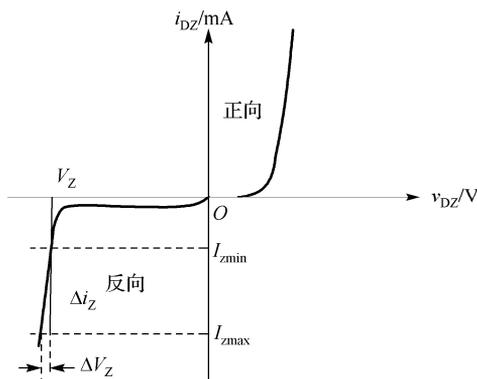


图 2.4.7 稳压二极管的伏安特性曲线

在规定范围内 (I_{Zmin} , I_{Zmax}) 的反向工作电流作用下, 稳压二极管的反向击穿电压基本保持为 V_Z 不变。

使用稳压二极管时, 也必须串接一个阻值合适的限流电阻, 用以调整稳压管的反向工作电流, 将稳压管的反向工作电流设定在规定的范围内, 以保证稳压管可以长时间工作在反向击穿状态下而不被烧毁。

稳压二极管的工作电流必须设在 I_{Zmin} 和 I_{Zmax} 之间, 在此范围内, 稳压管的输出电压会稳定在 V_Z 附近, 基本保持不变。当工作电流低于 I_{Zmin} 时, 稳压管将进入反向截止状态而不再稳压。当工作电流高于 I_{Zmax} 时, 稳压管会因管芯过热而烧毁。因此, 用稳压管设计电路时, 除了要考虑空载时稳压管的工作电流, 还必须考虑带载后稳压管工作电流的变化是否满足器件参数的设计要求。

和普通二极管一样, 稳压二极管有两个引脚, 其电路符号如图 2.4.8(a)所示, 实物图如图 2.4.8(b)所示, 工作电路原理图如图 2.4.8(c)所示。

多数额定功率为 0.5W 的稳压管与通用二极管 1N4148 一样, 采用红色玻璃封装, 如果不知道所选用器件型号, 单纯用肉眼很难区分出通用二极管和稳压二极管。

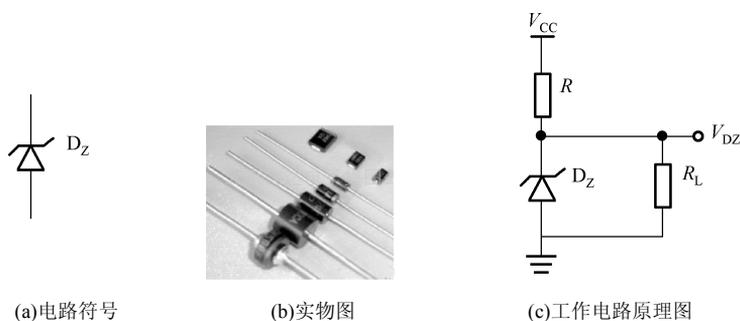


图 2.4.8 稳压二极管的电路符号、实物图和电路原理图

在图 2.4.8(c)所示的电路中, 稳压二极管的工作电流 I_{DZ} 可以用下式计算得到

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

式中, V_{DZ} 是稳压二极管输出的稳压值。

在图 2.4.8(c)所示的电路中,当改变限流电阻 R 的阻值或者改变负载电阻 R_L 的阻值时,稳压二极管 D_Z 的工作电流 I_{DZ} 都会发生变化。

稳压管工作在反向偏置状态下,其技术参数与普通二极管不同。稳压二极管的主要技术参数有工作电流、标称稳压值、额定功率等,具体定义如下。

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

(2) 最小工作电流 I_{Zmin} ——稳压管是电流驱动型器件,需要一定的驱动电流来维持其正常稳压。为保证稳压管能够输出稳定电压值所必需的最小反向工作电流定义为最小工作电流。当反向工作电流低于最小工作电流时,稳压管将失去稳压作用。

(3) 标称稳压值 V_{DZ} ——是指在最大工作电流作用下,稳压管两端所产生的反向管压降。由于材料和制造工艺等方面的制约,即使是同一种型号、同一批次生产出来的稳压管,其稳压值也存在一定的离散性,因此,禁止并联使用稳压管。

(4) 额定功率 P_{ZM} ——其数值等于标称稳压值 V_{DZ} 与最大工作电流 I_{Zmax} 的乘积。购买稳压管时,通常需要知道额定功率和标称稳压值。

(5) 动态电阻——是指稳压管两端反向压降变化量与工作电流变化量的比值。

(6) 电压温度系数——是指在一定工作条件下,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 ,稳压管反向管压降变化的百分比。

稳压管的电压温度系数有正负之分,通常情况下,稳压值低于 4V 的稳压管,其电压温度系数为负值;稳压值高于 6V 的稳压管,其电压温度系数为正值;稳压值为 $4\sim 6\text{V}$ 的稳压管,其电压温度系数有正有负。在要求较高的应用场合下,可以用正、负两种温度系数的稳压管串联使用来实现温度补偿。

用稳压管设计电路时,应根据稳压管的主要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,稳压管的稳压能力会降低;如果设定的反向工作电流偏大,稳压管自身的管功耗会偏大。设计电路时,应综合考虑各方面因素。

选用稳压管时,其标称稳压值应等于或略高于设计要求的电压值,其最大工作电流应高于最大负载电流 50% 以上。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和最小值的极端情况下稳压管是否还能继续稳压。

2.4.6 双向稳压管

双向稳压管是由两个互为反向的稳压管串接并封装在一起的器件,其外部有三个引脚,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,在使用双向稳压管前,必须先测量并确定好其引脚封装。

正常工作时,双向稳压管中的一个稳压管反向稳压,另外一个稳压管正向导通,如果直接测量双向稳压管两个稳压引脚之间的压降,测得的电压值是一只管子的反向稳压值加上另外一只管子的正向导通压降之和。

多数情况下,双向稳压管在双电源电路中使用。如在双电源供电的迟滞比较器中,利用双向稳压管的对称性,可以在迟滞比较器的输出端得到正负对称的输出电压值。如果买不到

双向稳压管，也可以用两个性能相同的稳压管反向串接成双向稳压管使用。

双向稳压管的电路符号如图 2.4.9(a)所示，引脚封装如图 2.4.9(b)所示。

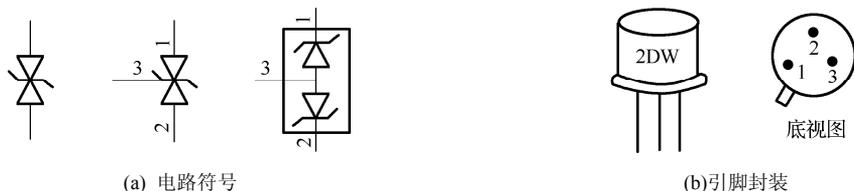


图 2.4.9 双向稳压管的电路符号和引脚封装图

2.4.7 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公用后封装在一起，即构成双色发光二极管。

按内部引脚连接方式区分，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两大类。共阳极双色发光二极管将其内部两个单色发光二极管的阳极接在一起使用；共阴极双色发光二极管将其内部两个单色发光二极管的阴极连接在一起使用。因此，在选用双色发光二极管时，应首先确定其内部结构。

和普通发光二极管一样，使用双色发光二极管时，也必须串接限流电阻，以保护其内部电路并调整每个单色发光二极管的亮度，因此，需要给两个单色发光二极管分别串接限流电阻，以保证两种单色光的发光亮度可以单独调节。

为保证双色发光二极管可以显示出除了两种单色光以外的第三种颜色，其关键是分别调整两个单色发光二极管限流电阻值，即调整不同颜色单色光的发光强度，利用光学原理，在视觉上将两种不同颜色的单色光调和出第三种颜色。

双色发光二极管最多可以提供 4 种显示状态。例如，红绿双色发光二极管可提供不发光、红色、绿色、黄色 4 种显示状态。

双色发光二极管的外形图如图 2.4.10(a)所示。

共阳极双色发光二极管的电路连接如图 2.4.10(b)所示，共阴极双色发光二极管的电路连接如图 2.4.10(c)所示。通过控制 K1、K2 引脚上的电压值，并调节限流电阻值，可以控制双色发光二极管显示 4 种不同的状态。

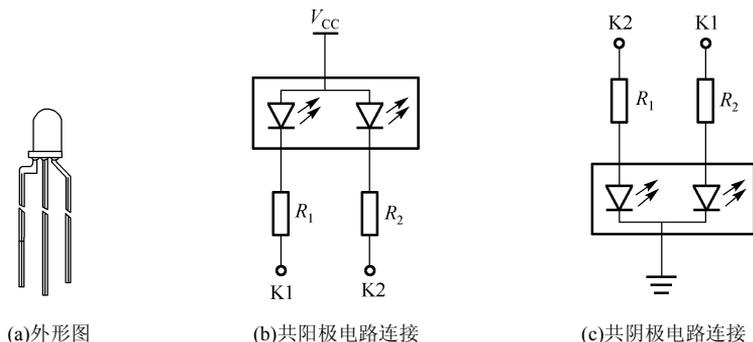


图 2.4.10 双色发光二极管的外形图和电路连接图

2.4.8 数码管

数码管的内部由很多个发光二极管构成。

数码管按发光段数区分，可分为七段数码管和八段数码管。七段数码管只能显示“8”字形；八段数码管除了可以显示“8”字形外，还可以显示小数点“.”。

将几个数码管封装在一起，按其所能显示的位数区分，数码管可分为1位数码管、2位数码管、3位数码管等不同显示位数的数码管。

数码管按其内部发光二极管的连接方式区分，可分为共阳极数码管和共阴极数码管两大类。共阳极数码管是指其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。共阴极数码管是指其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。

使用数码管时，也必须串接限流电阻，以保护其内部发光二极管并调节发光亮度。

设计电路时，不允许只在公共引脚上直接串接一个限流电阻，而应该给每个显示字段所对应的引脚分别串接一个限流电阻。因为点亮每一段数码管时，都需要一定的工作电流，如果只在公共引脚上串接一个限流电阻，当显示“8.”时，所有的字段同时被点亮，此时流过该限流电阻的电流会相对较大，设计电路时，还必须考虑该限流电阻的功率参数是否满足设计要求。并且，如果只在公共引脚上串接一个限流电阻，当显示不同数字时，因显示的段数不同，显示亮度会发生变化，将影响显示效果。

图 2.4.11 所示为共阳极数码管的电路连接图，其公共阳极引脚 3 和 8 一起接到+5V（高电平）上，通过控制 K1~K8 引脚的高、低电平来控制显示对应的字符。

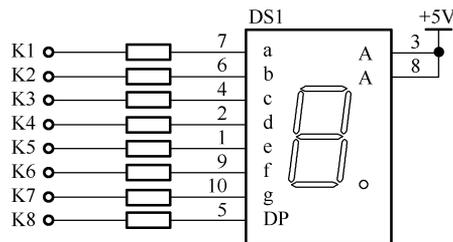


图 2.4.11 共阳极数码管电路连接图

图 2.4.12 所示为共阴极数码管的电路连接图，其公共引脚 3 和 8 一起接到了参考地（低电平）上，通过控制 K1~K8 引脚的高、低电平来控制显示对应的字符。

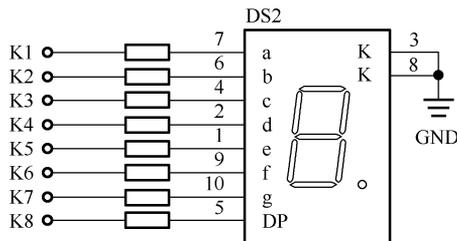


图 2.4.12 共阴极数码管电路连接图

在图 2.4.11 和图 2.4.12 所示电路中，每个显示字段 a、b、c、d、e、f、g、DP 所对应的引脚分别串接了一个限流电阻，当需要点亮某一个字段时，只需将对应字段所串接的限流电阻接到高电平或低电平上，即可点亮对应的字段。

2.4.9 光电二极管

光电二极管也叫光敏二极管 (Photosensitive Diode)，其主要作用是将接收到的光能转换成电能，使电路参数发生变化。光电二极管比较特殊，属于传感器范畴。

光电二极管所产生的电流是从其负极方向流出，并且光照强度不同，从光电二极管流出的电流强度不同。光照强度越强，从光电二极管负极流出的电流越大，其伏安特性曲线如图 2.4.13 所示。

光电二极管主要技术参数有：

- (1) 暗电流——是指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——是指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——是指光电二极管对光照强度反应的灵敏程度；
- (4) 转换效率——是指光通量与电功率之比。

光电二极管的电流是从负极流出的，如图 2.4.14 所示，用小量程的电流表可以直接测到从光电二极管负极流出电流的大小，因此，光电二极管相当于一个很小的电流源。

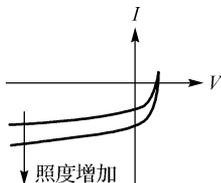


图 2.4.13 光电二极管伏安特性曲线

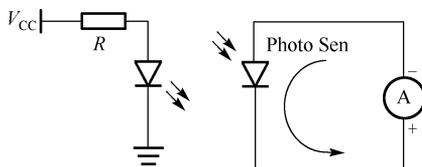


图 2.4.14 光电二极管测试电路

在图 2.4.14 所示的电路中，改变供电电压 V_{CC} 或者改变限流电阻 R 的阻值都可以改变发射管的工作电流，即改变发射管的发光亮度，以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，即改变光电二极管输出电流的大小。

2.5 常用二极管主要技术参数

选用二极管时，一定要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/>。

2.5.1 普通二极管

以飞利浦半导体公司 (Philips Semiconductor) 生产的 1N4000 系列整流二极管和其他一些常用二极管为例，表 2.5.1 给出了部分普通二极管的主要技术参数。

从表 2.5.1 可以看出，1N4000 系列整流二极管并没有给出结电容和反向恢复时间，说明该系列整流二极管的结电容较大、反向恢复时间较长。

从表 2.5.1 还可以看出，额定正向工作电流较大的 1N58×× 系列肖特基二极管虽然给出了结电容和反向恢复时间，但与 1N91× 系列和 1N4×× 系列小功率二极管相比，1N58×× 系列肖特基二极管的结电容相对较大，反向恢复时间相对较长。在满足工作电流要求的条件下，小功率二极管的结电容和反向恢复时间特性更好。

表 2.5.1 普通二极管主要技术参数

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	结电容@1MHz/pF	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	—	—
1N914	75	200mA	1	4	4ns
1N914A	75	200mA	1	4	4ns
1N914B	75	200mA	1	4	4ns
1N916	75	200mA	1	2	4ns
1N916A	75	200mA	1	2	4ns
1N916B	75	200mA	1	2	4ns
1N4148	75	200mA	1	4	4ns
1N4448	75	200mA	1	2	4ns
1N5812	50	20	400	300	35 μ s
1N5814	100	20	400	300	35 μ s
1N5816	150	20	400	300	35 μ s
1N5817	20	1	25	110	35 μ s
1N5818	30	1	25	110	35 μ s
1N5819	40	1	25	110	35 μ s

2.5.2 发光二极管

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。

从表 2.5.2 可以看出，相对于其他种类的二极管，发光二极管的管压降较大，额定正向工作电流相对较低，反向击穿电压也相对较低，使用时应特别注意。

表 2.5.2 常用发光二极管的主要技术参数

发光颜色	光谱波长/nm	驱动电流为 20mA 时的正向管压降/V	反向击穿电压/V
红外光	850~940	1.5~1.7	5
红光	633~660	1.7~1.8	5
黄光	585~620	1.8~2.0	5
绿光	555~570	2.0~3.0	5
蓝色	430~470	3.0~3.8	5

2.5.3 稳压二极管

选用稳压管时，除了要知道其标称稳压值外，还必须知道其额定功率。正常使用时，其自身所消耗的功率不可以超过数据手册上规定的额定功率。设计时，为了保证稳压管可以长

时间稳定工作，其实际所消耗功率应小于额定功率，否则稳压管容易因长时间过热而烧毁。具体使用时，应查阅相关生产厂家提供的产品数据手册。

以仙童半导体公司（Fairchild Semiconductor）生产的 1N5200 系列部分稳压器件为例，表 2.5.3 给出了常用稳压管的主要技术参数。

表 2.5.3 1N5200 系列部分稳压管的主要技术参数

型号	稳压值/V	额定功率/mW	20mA 时的动态电阻/ Ω	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
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

以摩托罗拉半导体公司（MOTOROLA Semiconductor）生产的 1N4700A 系列部分稳压管为例，表 2.5.4 给出了部分常用稳压管的主要技术参数。

表 2.5.4 1N4700A 系列部分稳压管的主要技术参数

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

续表

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
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

1N4700A 系列稳压管的额定功率为 1W。

从表 2.5.3 和表 2.5.4 可以看出，稳压管给出的技术参数除了稳压值和额定功率之外，还有测试电流和动态电阻。并且，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管的最大工作电流 I_{zmax} ，较小的测试电流对应稳压管的最小工作电流 I_{zmin} 。稳压管的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 2.5.3 和表 2.5.4 还可以看出，当稳压管的驱动电流较小时，其动态电阻较大。作为稳压器件，动态电阻较大相当于其内阻较大，稳压效果会相对较差。

2.5.4 双向稳压管

2DW230系列双向稳压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。

表 2.5.5 给出了 2DW230 系列双向稳压管的主要技术参数。

表 2.5.5 2DW230 系列双向稳压管的主要技术参数

型号	最大耗散功率	最大工作电流	最高结温	稳定电压	动态电阻		反向漏电流
	/mW	/mA	/ $^{\circ}\text{C}$	/V	R_z/Ω	I_z/mA	/ μA
2DW230	200	30	150	5.8~6.6	≤ 15	10	≤ 1
2DW231				5.8~6.6	≤ 15	10	≤ 1
2DW232				6.0~6.5	≤ 10	10	≤ 1
2DW233				6.0~6.5	≤ 10	10	≤ 1
2DW234				6.0~6.5	≤ 10	10	≤ 1
2DW235				6.0~6.5	≤ 10	10	≤ 1
2DW236				6.0~6.5	≤ 10	10	≤ 1

由表 2.5.5 可以看出，2DW230 系列双向稳压管的额定功率是 0.2W，最大工作电流 I_{zmax} 是 30mA，工作电流为 10mA 时的动态电阻小于 15 Ω ，动态电阻小，稳压效果好。