

光伏电子产品 制作项目教程

GUANGFU DIANZI CHANPIN
ZHIZUO XIANGMU JIAOCHENG



主 编 廖东进 黄建华
副主编 刘晓龙 黄志平 方晓敏



电子科技大学出版社

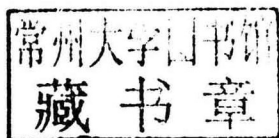
光伏电子产品 制作项目教程



GUANGFU DIANZI CHANPIN
ZHIZUO XIANGMU JIAOCHENG

主 编 廖东进 黄建华

副主编 刘晓龙 黄志平 方晓敏



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

光伏电子产品制作项目教程 / 廖东进, 黄建华主编.

— 成都: 电子科技大学出版社, 2015.4

ISBN 978-7-5647-2914-1

I. ①光… II. ①廖… ②黄… III. ①太阳能—光电
器件—制作—教材 IV. ①TM914.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 070122 号

光伏电子产品制作项目教程

主 编 廖东进 黄建华

副主编 刘晓龙 黄志平 方晓敏

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 谢晓辉

责任编辑: 谢晓辉

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 金华市三彩印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 14.5 字数 359 千字

版 次: 2015 年 4 月第一版

印 次: 2015 年 4 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2914-1

定 价: 38.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

本教材以电子技术为知识载体，以光伏应用产品实际电路为案例，分析了常用市电直流稳压电源电路、太阳能草坪灯电路、太阳能升降压电路、蓄电池充放电保护电路、触发脉冲信号发生电路、模式状态数码管显示电路、模式状态切换电路、蓄电池电压采集与现实电路等。

本教材按照项目驱动方式设置课程教学内容，每个项目由案例引导、项目任务、预习练习、信息单、训练与提高、课后思考题等内容组成；并且每个项目都以 multisim 仿真技术为手段，较好地实现了“做中学、学中做”教学模式的开展，培养学生的电子线路分析与设计能力。

全书分为 10 个项目，其中项目一、二、三、四、五、六由衢州职业技术学院廖东进编写；项目七、八由衢州职业技术学院刘晓龙编写；项目九由衢州职业技术学院黄志平编写；项目十由衢州职业技术学院方晓敏编写；全书由廖东进统稿，衢州职业技术学院黄云龙教授主审。

本书在编写中参考了不少书刊和文章，在此向其作者致以谢意。

由于编者水平有限，时间仓促，定会有不少不足之处，书中若有疏漏之处，诚恳欢迎读者批评指正。

编 者
2015 年 11 月

目 录

项目 1 直流稳压电路分析与制作	1
1.1 二极管的单向导电性	1
1.2 稳压二极管及应用	7
1.3 特殊二极管	11
1.4 三端稳压管稳压电路制作	12
1.5 LM317 连续可调的稳压电路制作	18
项目 2 简易太阳能草坪灯电路分析与制作	22
2.1 晶体管电流放大特性	22
2.2 晶体管伏安特性与开关特性	25
2.3 小功率太阳能草坪灯控制电路分析	27
2.4 大功率太阳能草坪灯控制电路分析	29
项目 3 太阳能充放电控制器电路分析与制作	32
3.1 集成运算放大器认识与基本应用	32
3.2 集成运算放大器基本运算电路分析	36
3.3 单限比较器电路	40
3.4 迟滞比较器电路	44
3.5 太阳能充放电控制器电路分析	46
3.6 反馈认识及应用	49
项目 4 直流升降压电路分析与制作	53
4.1 BOOST 升压电路	53
4.2 BUCK 电路分析与制作	56
4.3 BUCK-BOOST 电路分析与制作	59
4.4 太阳能升压草坪灯电路制作	64
项目 5 波形发生电路	67
5.1 变压器反馈式 LC 正弦波振荡电路	67
5.2 RC 正弦波振荡电路	71
5.3 占空比可调的方波振荡电路	74
5.4 晶体管多谐振荡电路	78



项目 6 市电接入控制电路	80
6.1 数字电路认识	80
6.2 逻辑函数表示法及运算规则	86
6.3 TTL 及 CMOS 门电路	91
6.4 逻辑代数运算与代数化简法	101
6.5 卡诺图化简法	104
6.6 组合逻辑电路分析与设计方法	110
项目 7 模式状态控制及显示电路	114
7.1 利用译码器实现输出控制	114
7.2 利用数据选择器实现输出控制	120
7.3 七段数码管及显示译码器	124
项目 8 模式状态切换电路	128
8.1 RS 触发器及其应用	128
8.2 同步触发器	132
8.3 边沿触发器	139
8.4 时序逻辑电路分析方法	150
8.5 同步与异步计数器	155
8.6 集成计数器及其应用	161
8.7 大容量计数器构建	165
8.8 抢答器电路设计	167
本章小结	170
复习思考题	170
项目 9 脉冲信号发生电路制作	174
9.1 多谐振荡器	174
9.2 单稳态触发器	177
9.3 555 定时器及其应用	183
项目 10 蓄电池电压采集与现实电路制作	191
10.1 DA 转换器	191
10.2 AD 转换器	195
10.2 数字电压表制作	206
参考文献	210

项目 1 直流稳压电路分析与制作

1.1 二极管的单向导电性

【项目任务】

测试电路如图 1.1 所示 (mutisim12)，要求观察发光二极管的亮、灭情况，分别测试二极管、负载电阻两端的电压及流过的电流，并说明二极管工作特性。

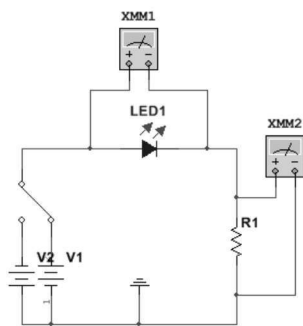


图 1.1 测试电路 (mutisim12)

【信息单】

各种二极管实物如图 1.2 所示。



图 1.2 二极管实物

一、二极管的结构、类型及图形符号

半导体二极管按其结构的不同，可分为点接触型、面接触型和平面型 3 种。常见二极管的结构、外形和图形符号如图 1.3 所示。二极管的两极分别称为正极或阳极，负极或阴极。

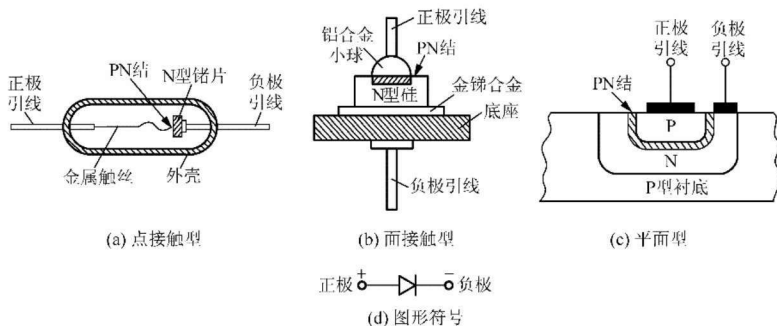


图 1.3 半导体二极管的结构、外形与图形符号

二、二极管的型号

按照国家标准 GB249-74 的规定，国产二极管的型号由 5 部分组成，见表 1-1 所示。

表 1-1 二极管的型号

第 1 部分 (数字)	第 2 部分 (拼音)	第 3 部分 (拼音)	第 4 部分 (数字)	第 5 部分 (拼音)
电极数目	材料及极性	二极管类型	二极管类型	规格号
2-二极管	A-N 锗材料 B-P 锗材料 C-N 硅材料 D-P 硅材料 E-化合物材料	P-普通管 W-稳压管 Z-整流管 K-开关管 F-发光管 U-光电管	表示某些性能与参 数上的差别	表示同型号中的 挡别

例如，2CP12 是 N 型硅制作的普通二极管；2CZ14 是 N 型硅制作的整流二极管；2CZ14F 是 2CZ14 型整流管的 F 挡。

三、判别二极管极性

二极管是有极性的，通常在二极管的外壳上标有二极管的极性符号。标有色道(一般黑壳二极管为银白色标记，玻壳二极管为黑色银白或红色标记)的一端为负极，另一端为正极。如图 1.4 所示。

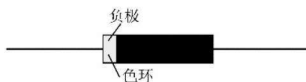


图 1.4 二极管的极性判别

二极管的极性也可通过万用表的欧姆挡测定，将万用表打在 $\times 100$ 或 $\times 1k$ 挡上，由于二极管具有单向导电性、正向电阻小、反向电阻大(这在后续内容会详细分析)的特点，在测试时，若二极管正偏时，则万用表黑表笔所搭位置为二极管的正极，而红表笔所搭

位置为二极管的负极。测试电路如图 1.5 所示。

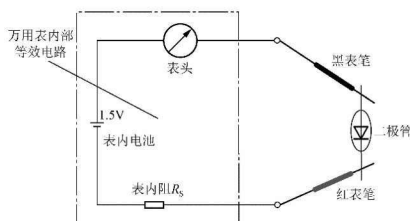


图 1.5 二极管的极性测试电路

二极管正、反向电阻的测量值相差越大越好，一般二极管的正向电阻测量值为几百欧，反向电阻为几十千欧到几百千欧。如果测得正、反向电阻均为无穷大，说明内部断路；若测量值均为零，则说明内部短路；如测得正、反向电阻几乎一样大，这样的二极管已经失去作用，没有使用价值了。

四、二极管工作原理

1. 半导体及基本特性

自然界中存在着许多不同的物质，根据其导电性能的不同，大体可分为导体、绝缘体和半导体三大类。通常，将很容易导电、电阻率小于 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质称为导体，如铜、铝、银等金属材料；将很难导电、电阻率大于 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质称为绝缘体，如塑料、橡胶、陶瓷等材料；将导电能力介于导体和绝缘体之间、电阻率在 $10^{-3} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内的物质称为半导体。常用的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge)，硅和锗等半导体都是晶体，所以利用这两种材料所制成的半导体器件又称晶体管。

同时，半导体材料的导电能力会随着温度、光照等的变化而变化，分别称为热敏性和光敏性，尤其是半导体的导电能力因掺入适量杂质会发生很大的变化。例如在半导体硅中，只要掺入亿分之一的硼，导电率会下降到原来的几分之一，称为杂敏性，利用这一特性，可以制造成不同性能、不同用途的半导体器件。而金属导体即使掺入千分之一的杂质，对其电阻率几乎也没有什么影响。

2. 本征半导体和杂质半导体

通常把纯净的不含任何杂质的半导体（硅和锗）称为本征半导体，从化学的角度来看，硅原子和锗原子的电子数分别为 32 和 14，所以它们最外层的电子数都是 4 个，是四价元素。由于导电能力的强弱，在微观上看就是单位体积中能自由移动的带电粒子数目，所以，半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。

由于半导体具有杂敏性，利用掺杂可以制造出不同导电能力、不同用途的半导体器件。根据掺入杂质的不同，又可分为 N 型半导体和 P 型半导体。

(1) N 型半导体

在四价的本征硅（或锗）中，掺入微量的五价元素磷(P)之后，磷原子由于数量较少，不会改变本征硅的共价键结构，而是和本征硅一起形成共价键结构，形成 N 型半导体。

(2) P 型半导体

在四价的本征硅(或锗)掺入微量的二价元素硼(B)之后，参照上述分析，硼原子也和



周围相邻的硅原子组成共价键结构，形成 P 型半导体。

(3) PN 结的形成与单向导电性

在一块本征半导体上通过某种掺杂工艺，使其形成 N 型区和 P 型区两部分后，在它们的交界处就形成一个特殊薄层，这就是 PN 结，如图 1.6 所示。

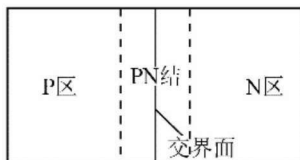


图 1.6 PN 结的形成

将 PN 结的 P 区接高电位（比如电源的正极），N 区接较低电位（比如电源的负极），称为给 PN 结加正向电压，简称正偏，如图 1.7 所示。PN 结正偏时，外加电场 PN 结中形成了以扩散电流为主的正向电流 I_F ，且扩散电流随外加电压的增加而增加，当外加电压增加到一定值后，扩散电流随正偏电压的最大而呈指数上升。由于 PN 结对外加正向偏置呈现较小的电阻（理想状态下可以看出是短路情况），因此称为正偏导通状态。

将 PN 结的 P 区接较低电位(比如电源的负极)，N 区接较高电位(比如电源的正极)，称为给 PN 结加反向偏置电压，简称反偏，如图 1.8 所示。

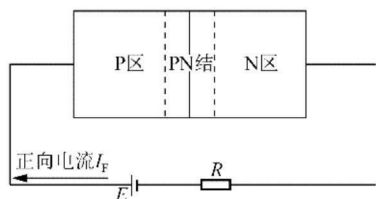


图 1.7 PN 结外加正偏电压

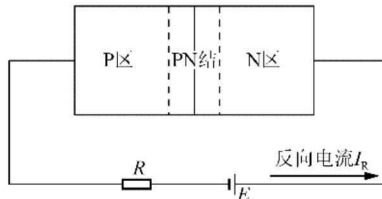


图 1.8 PN 结外加反偏电压

PN 结反偏时，在 PN 结电路中形成了反向电流 I_R ，在一般情况下该电流都非常小，近似等于零，可将此时 PN 结的工作状态称为反向截止。

由此可说明，PN 结具有单向导电性。

二极管是由半导体材料制成的，其核心是 PN 结，PN 结的单向导电性也是二极管的主要特征。二极管由管芯(主要是 PN 结)、正极、负极(从 P 区和 N 区分别焊出两根金属引线)和封装外壳组成。

4. 二极管的伏安特性曲线

二极管的伏安特性是指二极管通过的电流与外加偏置电压的关系，由图 1.9 可知该特性由 3 部分组成。

(1) 正向导通特性

当正向电压 U_F 开始增加时(即正向特性的起始部分)，此时 U_F 较小，正向电流仍几乎为零，该区域称之为死区，硅管的死区电压约为 0.5V，锗管约为 0.1V。只有当 U_F 大于死区电压后，才开始产生正向电流 I_F 。二极管正偏导通后的管压降是一个恒定值，硅管和锗管分别取 0.7V 和 0.3V 的典型值。

(2) 反向截止特性

当外加反向偏压 U_R 时, 反向电流 I_R 较小, 基本可忽略不计。室温下一般硅管的反向饱和电流小于 $1\mu\text{A}$, 锗管为几十到几百微安, 如图 1.9 中所示的 B 段。

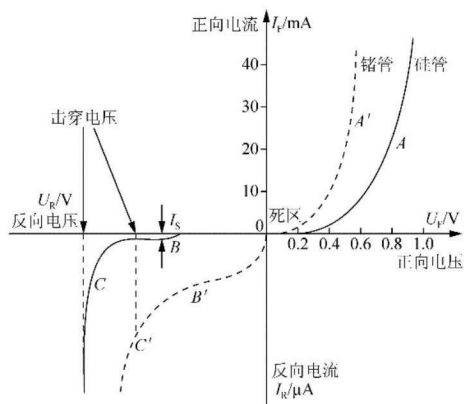


图 1.9 二极管的伏安特性

(3) 反向击穿特性

击穿特性属于反向特性的特殊部分。当 U_R 继续增大并超过某一特定电压值时, 反向电流将急剧增大, 这种现象称为击穿。

如果 PN 结击穿时的反向电流过大(比如没有串接限流电阻等原因), 使 PN 结的温度超过 PN 结的允许结温(硅 PN 结为 $150\sim 200^\circ\text{C}$, 锗 PN 结为 $75\sim 100^\circ\text{C}$)时, PN 结将因过热而损坏, 称为热击穿, 是一种不可逆击穿。但也有个别特殊二极管工作于反向击穿区, 且形成可逆的电击穿, 如稳压管。

5. 二极管的电路模型

(1) 二极管理想模型

当二极管的正向压降远小于外接电路的等效电压, 其相比可忽略时, 可用图 1.10(a)中与坐标轴重合曲线近视代替二极管的伏安特性, 这样的二极管称为理想二极管。它在电路中相当于一个理想开关, 只要二极管外加电压稍大于零, 它就导通, 其压降为零, 相当于开关闭合; 当反偏时, 二极管戒指, 其电阻为无穷大, 相当于开关断开。

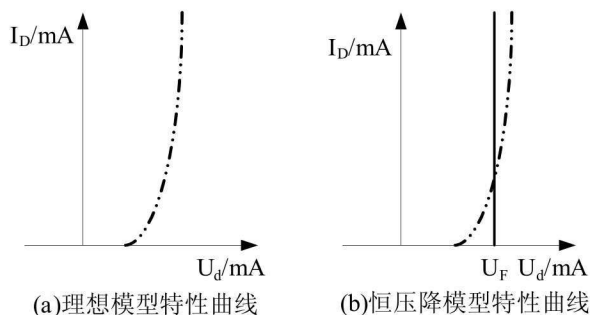


图 1.10 二极管电路模型



(2) 二极管的恒压降模型

当二极管的正向压降与外加电压相比不能忽略, 可用图 1.10(b)所示的伏安特性曲线来近似代替实际二极管, 该模型由理想二极管与接近实际工作电压的电压源 U_F 串联构成, U_F 不随电流而变。对于硅管的 U_F 通常取 0.7V, 锗二极管为 0.2V。不过, 这只有当流经二极管的电流近似等于或大于 1mA 时才是正确的。

例: 二极管电路如图 1.11 所示, 试分别用二极管的理想、恒压降模型计算回路中的电流 I_D 和输出电压 U_D 。设计二极管为硅管。

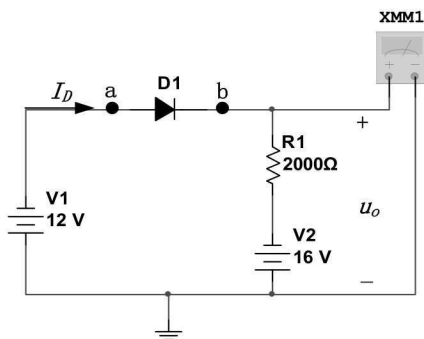


图 1.11 二极管电路

解: 首先判断二极管是处于导通状态还是截止状态, 可以通过计算 (或观察) 二极管未导通时的阳极和阴极间的点位差, 若该电位差大于二极管所需的导通电压, 则说明该二极管处于正向偏置而导通; 如果该电位小于导通电压, 则该二极管处于反向偏置而截止。

由图 1.11 可知, 二极管 D1 未导通时阳极电位为 -12V, 阴极电位为 -16V, 则阳、阴两级的电位差:

$$U_{ab} = U_a - U_b = -12 - (-16)V = 4V > U_F = 0.7V$$

故在理想模型中和恒压降模型中, 二极管 D1 均为导通。

用理想模型计算:

由于二极管 D1 导通, 其管压降为零, 所以:

$$I_D = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{-V_1 + V_2}{R_1} = \frac{-12 + 16}{2000} = 2\text{mA}$$

$$U_o = -V_1 = -12V$$

用恒压降模型计算:

由于二极管 D 导通, $U_F=0.7V$, 所以:

$$I_D = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{-V_1 + V_2 - U_F}{R_1} = \frac{-12 + 16 - 0.7}{2000} = 1.65\text{mA}$$

$$U_o = I_D R_1 - V_1 = 1.65\text{mA} \times 2\text{k}\Omega - 16V = -12.7V$$

6. 二极管的主要参数

为了正确选用二极管及判断二极管的好坏, 必须对其主要参数有所了解。

(1) 最大整流电流 I_F

I_F 指二极管在一定温度下, 长期允许通过的最大正向平均电流。超过这一电流会使二极管因过热而损坏。另外, 对于大功率二极管, 必须加装散热装置。

(2) 反向击穿电压 U_{BR}

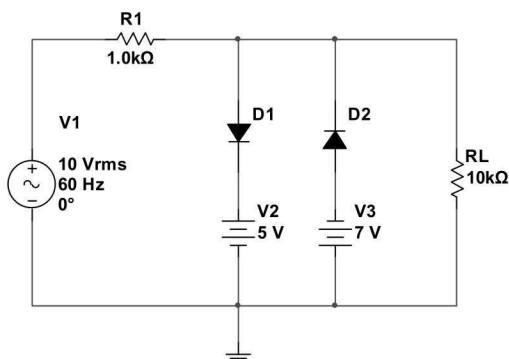
管子反向击穿时的电压值称为反向击穿电压 U_{BR} 。一般手册上给出的最高反向工作电压 U_{RM} 约为反向击穿电压的一半, 以保证二极管正常工作的余量。

(3) 反向电流 I_R (反向饱和电流 I_S)

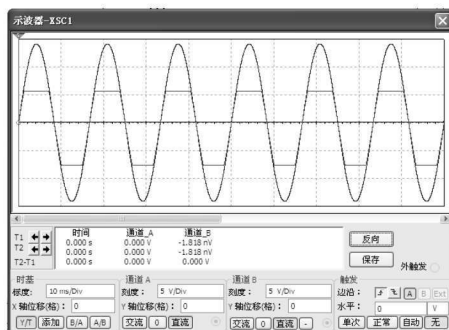
在室温和规定的反向工作电压下 (管子未击穿时) 的反向电流。这个值越小, 则管子的单向导电性就越好, 同时该电流随温度的增加而按指数规律上升。

【训练与提高】

利用二极管的单向导电性和导通后两端电压基本不变的特点, 可以组成限幅电路, 用来限制输出电压的幅度。图 1.12 为二极管双向限幅电路 (mutisim12)。要求搭建电路, 分析电路的工作过程。



(a) 仿真电路



(b) 仿真输出

图 1.12 二极管双向限幅电路

思考: 从上述仿真结果来看, 如何构建正向限幅电路 (电压正半波的幅度受限制) 和负向限幅电路 (电压负半波的幅度受限制)。

1.2 稳压二极管及应用

【项目任务】

测试电路如图 1.13 所示 (mutisim12)。要求输入电压 $V1$ 从 $6V \sim 10V$ 不断改变, 测量输入负载 $R2$ 电阻上的电压变化情况, 并分析如果没有稳压二极管 $D1$ 输出电压又应如何变化。

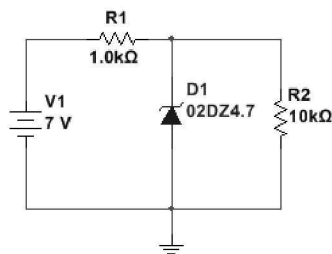


图 1.13 稳压二极管电路

【信息单】

常见稳压二极管如图 1.14 所示。

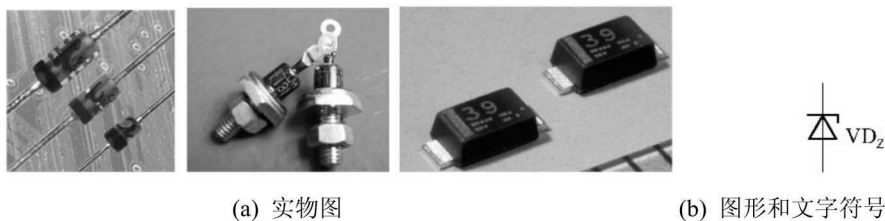


图 1.14 常见稳压二极管

一、稳压二极管工作原理

加在二极管上的反向电压如果超过二极管的承受能力，二极管就要击穿损毁。但是有一种二极管，它的正向特性与普通二极管相同，而反向特性却比较特殊：当反向电压加到一定程度时，虽然管子呈现击穿状态，通过较大电流，却不损毁，并且这种现象的重复性很好；反过来看，只要管子处在击穿状态，尽管流过管子的电流变化很大，而管子两端的电压却变化极小，该二极管起到了稳压作用。这种特殊的二极管叫稳压管，其实物如图 1.14 所示，它的特性曲线和符号如图 1.15 所示，其正向特性曲线与普通二极管相似，而反向击穿特性曲线很陡。在正常情况下稳压管工作在反向击穿区，由于曲线很陡，反向电流在很大范围内变化时，端电压变化很小，因而具有稳压作用。图中的 U_Z 表示反向击穿电压，当电流的增量 ΔI_Z 很大时，只引起很小的电压变化，即 ΔU_Z 变化很小。

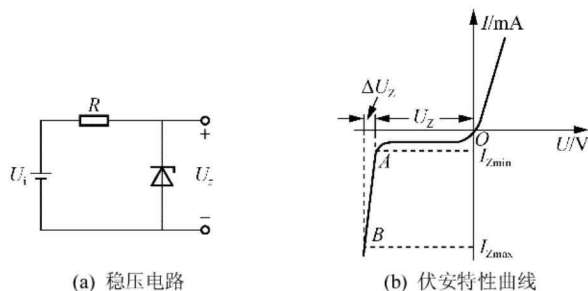


图 1.15 稳压二极管符号及伏安特性曲线

二、稳压管的主要参数

1. 稳定电压

指稳压管通过规定的测试电流时，稳压管两端的电压值。由于制造工艺的原因，同一型号管子的稳定电压有一定的分散性。

2. 稳定电流 I_Z

指稳压管的工作电压等于稳定电压时通过管子的所需最小电流。低于此值，无稳压效果；高于此值，只要不超过最大工作电流 I_{ZM} 均可以正常工作，且电流越大，稳压效果越好。

3. 动态电阻

指稳压管两端电压变化量与相应电流变化量的比值，即：
$$r_z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

稳压管稳压性能的好坏，可以用它的动态电阻 r_z 来表示。稳压管的反向特性曲线愈陡，则动态电阻愈小，稳定效果愈好。

4. 最大工作电流 I_{ZM} 和最大耗散功率 P_{ZM}

最大工作电流 I_{ZM} 指管子允许通过的最大电流。

最大耗散功率 P_{ZM} 等于最大工作电流 I_{ZM} 和它对应的稳定电压 U_Z 的乘积，它是由管子的温升所决定的参数。

P_{ZM} 和 I_{ZM} 是为了保护管子不发生热击穿而规定的极限参数。

三、稳压二极管稳压电路

图 1.16 为稳压二极管稳压电路。若输入电压 U_{sr} 升高，引起负载电压 U_{sc} 升高。由于稳压管 D1 与负载 R2 并联，电压有很少一点增长，就会使流过稳压管的电流 I_{D1} 急剧增加，使得 I_{R1} 也增大，限流电阻 R1 上的电压降增大，从而抵消了 U_{sr} 的升高，保持负载电压 U_{sc} 基本不变。反之，若输入电压 U_{sr} 降低，造成 U_{sc} 也下降，则稳压管中的电流急剧减小，使得 I_{R1} 减小，R1 上的压降也减小，从而抵消了 U_{sr} 的下降，保持负载电压 U_{sc} 基本不变。

若 U_{sr} 不变而负载电流增加(例如负载电阻减小)，则 R1 上的压降增加，造成负载电压 U_{sc} 下降。 U_{sc} 只要下降一点点，稳压管中的电流就迅速减小，使 R1 上的压降再减小下来，从而保持负载 R2 上的压降基本不变，使负载电压 U_{sc} 得以稳定。

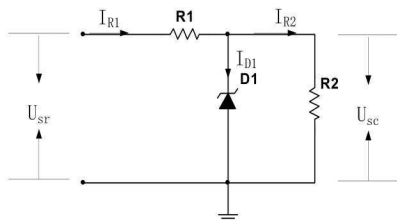


图 1.16 稳压电路

综上所述可以看出，稳压管起着电流的自动调节作用，而限流电阻起着电压调整作用。稳压管的动态电阻越小，限流电阻越大，输出电压的稳定性越好。



四、稳压电阻的选择

当流过稳压管的电流小于稳定电流 I_Z ，无稳压效果；高于此值，只要不超过最大工作电流 I_{ZM} 均可以正常工作，且电流越大，稳压效果越好。

在稳压二极管稳压电路中，稳压电阻一是起限流作用，以保护稳压管；其次是当输入电压或负载电流变化时，通过该电阻上电压降的变化，取出误差信号以调节稳压管的工作电流，从而起到稳压作用。下面对稳压电阻的选择进行分析。

例 1：如图 1.17 所示，稳压管的参数是 $U_Z=8V$ ， $I_Z=10mA$ ， $I_{ZM}=29mA$ 。选择 600Ω ， $0.125W$ 的电阻作为限流电阻，是否合适？

$$I = \frac{20 - 8}{600} A = 20mA$$

$$P_R = I^2 R = 0.02^2 \times 600 W = 0.24W$$

根据上述的计算，可以看出，限流电阻 R 的阻值选得合适，但电阻的额定功率选得太小（ $0.125W < 0.24W$ ），会烧坏电阻。应选 600Ω ， $0.25W$ 的电阻比较合适。因此在选择限流电阻时，要注意电阻的额定功率必须大于其实际消耗的最大功率。

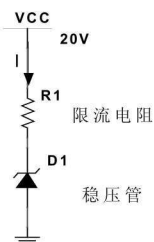


图 1.17 例 1 电路

例 2：已知电路如图 1.18 所示， $U_Z=6V$ ，最小稳定电流 $I_{Zmin}=5mA$ ，最大稳定电流 $I_{Zmax}=25mA$ ，负载电阻 $R_L=600\Omega$ ，求限流电阻 R 的取值范围。

$$I_{DZ}(mA) = I_R - I_L = \frac{U_L - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_L} = \frac{4}{R} - 10$$

$$\text{由：} I_{Zmin} < \frac{4}{R} - 10 < I_{Zmax}$$

$$\text{得：} 114\Omega < R < 267\Omega$$

可以选择 200Ω 的限流电阻。

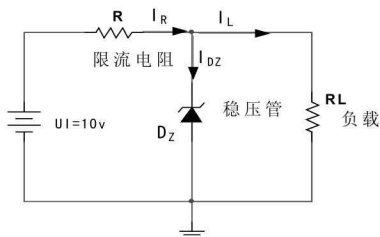


图 1.18 例 2 电路

【训练与提高】

测试电路如图 1.19 所示。稳压管采用 02DZ4.7，稳压范围 $4.4\text{V}\sim 4.9\text{V}$ ， $I_Z=5\text{mA}$ ，要求输入电压 V_1 从 $6\text{V}\sim 10\text{V}$ 不断改变，分析限流电阻的取值，并通过 mutisim 仿真软件分析。

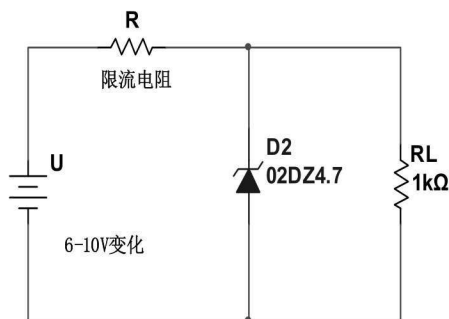


图 1.19 测试电路

1.3 特殊二极管

一、发光二极管

发光二极管和普通二极管相似，也由一个 PN 结组成，结构如图 1.20(a)所示。发光二极管的实物和图形符号如图 1.20(b)和(c)所示。它是一种将电能直接转换成光能的固体器件，简称 LED(Light Emitting Diode)。发光二极管在正向导通时，发出一定波长的可见光。光的波长不同，颜色也不同。常见的 LED 有红、绿、黄等颜色。发光二极管的驱动电压低、工作电流小，具有很强的抗振动和抗冲击能力，同时由于发光二极管体积小、可靠性高、耗电省、寿命长，被广泛用于信号指示等电路中。



(a) 结构组成



(b) 实物



(c) 图形符号

图 1.20 发光二极管

LED 的反向击穿电压一般大于 5V ，但为使器件长时间稳定而可靠地工作，安全使用电压选择在 5V 以下，同时发光二极管在使用时也需要串联一个适当阻值的限流电阻。