



职业教育精品规划教材

# 模拟电子技术项目仿真 与工程实践

李云庆 张帆 ○ 主编



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

职业教育精品规划教材

# 模拟电子技术项目仿真与 工程实践

李云庆 张帆 主编

李康 嵇丽丽 汪勤 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书充分发挥中德合作优势,以德国技术员学校“电子技术”课程模拟部分教学大纲和内容为依据,借鉴技术员学校对电子技术课程学习领域的划分方式,将模拟电子技术课程划分为二极管、三极管、场效应管、集成运算放大器几个学习领域,结合国内教学特点和先进的项目式教学法通过直流稳压电源、便携式扩音器、机器人直流电动机驱动模块、机器人巡线信号处理模块几个项目使每个学习领域的知识得以应用,通过每个项目的实施将理论知识、设计应用、工程实践融入其中,充分发挥项目引导、任务驱动的优势,弥补传统教学方法在该课程教学中理论教学抽象复杂、教学效果差的缺点。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术项目仿真与工程实践/李云庆,张帆主编. —北京:电子工业出版社,2016.7  
ISBN 978-7-121-29192-0

I. ①模… II. ①李… ②张… III. ①模拟电路—电子技术—系统仿真 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第143468号

策划编辑:白楠

责任编辑:白楠 特约编辑:王纲

印刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:428.8千字

版次:2016年7月第1版

印次:2016年7月第1次印刷

定价:38.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式:010-88254592, [bain@phei.com.cn](mailto:bain@phei.com.cn)。



## 前言

本书充分发挥中德合作优势，以德国技术员学校“电子技术”课程模拟部分教学大纲和内容为依据，借鉴技术员学校对电子技术课程学习领域的划分方式，将模拟电子技术课程划分为二极管、三极管、场效应管、集成运算放大器几个学习领域，结合国内教学特点和先进的项目式教学法通过直流稳压电源、便携式扩音器、机器人直流电动机驱动模块、机器人巡线信号处理模块几个项目使每个学习领域的知识得以应用，通过每个项目的实施将理论知识、设计应用、工程实践融入其中，充分发挥项目引导、任务驱动的优势，弥补传统教学方法在该课程教学中理论教学抽象复杂、教学效果差的缺点。

每个学习领域的设计分为以下几个部分。

### ❖ 项目引入（提出问题）

通过一个生活中的实例，让大家感性认识该学习领域的知识点，体会这个知识点并不只是在死板的书里，而是活生生地存在着。让大家了解这个学习领域能做什么。

### ❖ 项目分析（分析问题）

通过对元器件数据手册和电气特性的分析并结合项目中的具体应用，展现每一个学习领域核心的电路知识点，并详细介绍如何把元器件、电子技术应用在实际当中。通过 Multisim 对电路进行仿真学习，既强化了知识点，也训练了技能。在仿真过程中还能学习到电路设计的思路。

### ❖ 项目实施（解决问题）

电子技术的最大价值就是实践设计，每一个学习领域都安排一个工程项目，通过对实际项目的实施，使学生真正学以致用，切实感受模拟电子技术的功用。

### ❖ 项目扩展（如何解决其他问题）

通过完成的项目对知识点的应用进一步引导和扩展，使学生对学习到的知识能够举一反三、灵活运用，既扩展视野，又便于感性认识知识点的应用。

考虑到课时和理论分析不够直观，本书在编写过程中为了能充分调动学生的积极性和兴趣，引入先进的 Multisim 仿真软件，在教学过程中直观地反映出电路的特点和应用，同时也使学生掌握一门电路设计与仿真的软件，提高对模拟电路的理解和应用能力。

本书由上海电子信息职业技术学院李云庆、张帆主编，其中直流稳压电源项目由汪勤编写，便携式扩音器由李康编写，机器人直流电动机驱动模块由张帆编写，机器人巡线传感器信号处理模块由李云庆编写，李云庆负责统稿和所有项目的制作调试与仿真，参与编写的还有嵇丽丽。在此对参与本书的编写人员表示衷心的感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在错误不妥之处，请读者批评指正，并提出宝贵意见，编者的邮箱为：liyunq81@163.com。

编者

# 目 录

项目一 直流稳压电源	(1)
任务1 直流稳压电源电路工作原理分析	(3)
子任务1 认知电路中的元器件	(3)
子任务2 电路原理认知学习	(11)
子任务3 直流稳压电路的仿真分析与验证	(13)
任务2 直流稳压电路元器件的识别与检测	(15)
子任务1 电阻类元件、电容元件的识别与检测	(16)
子任务2 二极管与稳压管的识别与检测	(17)
子任务3 三极管的识别与检测	(18)
任务3 直流稳压电源电路的装配与调试	(18)
子任务1 电路元器件的装配与布局	(19)
子任务2 制作直流稳压电源电路模块	(20)
子任务3 调试直流稳压电源电路	(20)
任务4 项目汇报与评价	(23)
子任务1 汇报制作调试过程	(23)
子任务2 对其他人作品进行客观评价	(23)
子任务3 撰写技术文档	(24)
【知识链接】	(25)
1.1 半导体基础知识	(25)
1.1.1 半导体基本概念	(25)
1.1.2 PN结及其导电性	(26)
1.2 半导体二极管	(27)
1.2.1 二极管的伏安特性	(27)
1.2.2 特殊二极管及其应用	(28)
1.3 整流电路	(31)
1.3.1 单向半波整流电路	(31)
1.3.2 单相桥式整流电路	(32)
1.4 滤波电路	(33)
1.4.1 电容滤波电路	(34)
1.4.2 电感滤波电路	(35)
1.4.3 复式滤波电路	(35)
1.4.4 倍压整流电路	(36)
1.5 稳压电路	(37)
1.5.1 硅稳压二极管稳压电路	(37)

1.5.2	线性串联型稳压电路	(37)
1.5.3	集成稳压器	(39)
1.6	习题	(42)
<b>项目二</b>	<b>便携式扩音器的制作</b>	<b>(45)</b>
任务 1	便携式扩音器放大电路工作原理分析	(46)
子任务 1	认知电路中的元器件	(46)
子任务 2	电路原理认知学习	(55)
子任务 3	便携式扩音器电路原理的仿真分析及验证	(57)
任务 2	便携式扩音器放大电路的元器件检测	(59)
子任务 1	电阻类元件、电容、二极管的识别与检测	(60)
子任务 2	大功率管的识别与检测	(62)
子任务 3	驻极式话筒的识别与检测	(63)
子任务 4	扬声器的识别与检测	(64)
任务 3	便携式扩音器放大电路的装配与调试	(64)
子任务 1	电路元器件的装配与布局	(65)
子任务 2	制作便携式扩音器放大电路模块	(66)
子任务 3	调试便携式扩音器放大电路	(66)
任务 4	项目汇报与评价	(67)
子任务 1	汇报制作调试过程	(68)
子任务 2	对其他人作品进行客观评价	(68)
子任务 3	撰写技术文档	(69)
<b>【知识链接】</b>		<b>(70)</b>
2.1	三极管	(70)
2.1.1	三极管的结构、分类和符号	(70)
2.1.2	三极管的伏安特性	(71)
2.1.3	三极管的主要参数	(74)
2.1.4	三极管的工作状态	(75)
2.2	放大电路基础	(78)
2.2.1	组成框图	(78)
2.2.2	四端口网络	(78)
2.2.3	放大电路的性能指标	(79)
2.3	三极管放大电路	(80)
2.3.1	共发射极放大电路	(80)
2.3.2	共基极放大电路	(83)
2.3.3	共集电极放大电路	(85)
2.4	多级放大电路	(88)
2.4.1	多级放大电路基本概念	(88)
2.4.2	多级放大电路的耦合方式	(88)
2.4.3	多级放大电路性能指标的计算	(90)

2.4.4	多级放大电路的频率特性	(90)
2.5	互补对称功率放大电路	(90)
2.5.1	功率放大电路基础	(90)
2.5.2	乙类互补对称功率放大电路	(91)
2.5.3	甲乙类互补对称功率放大电路	(92)
2.5.4	甲乙类单电源互补对称放大电路 (OTL)	(93)
2.5.5	BTL 电路	(94)
2.5.6	集成音频功率放大器	(94)
2.6	习题	(97)
2.6.1	概念题部分	(97)
2.6.2	简答分析题	(101)
2.6.3	计算与仿真	(102)
<b>项目三</b>	<b>工业机器人电动机驱动模块</b>	<b>(105)</b>
任务 1	电动机驱动模块工作原理分析	(107)
子任务 1	认知电路中的元器件	(107)
子任务 2	电路原理认知学习	(112)
子任务 3	电动机驱动电路项目仿真分析与验证	(114)
任务 2	电动机驱动模块电路元器件的识别与检测	(115)
子任务 1	电阻类元件、电容、二极管、三极管的识别与检测	(115)
子任务 2	75N75 的识别与检测	(117)
子任务 3	IR2110 的识别与检测	(118)
子任务 4	继电器的识别与检测	(118)
任务 3	电动机驱动模块电路的装配与调试	(119)
子任务 1	电路元器件的装配与布局	(120)
子任务 2	制作电动机驱动模块电路	(121)
子任务 3	调试电动机驱动模块电路	(121)
任务 4	项目汇报与评价	(122)
子任务 1	汇报制作调试过程	(123)
子任务 2	对其他人作品进行客观评价	(123)
子任务 3	撰写技术文档	(124)
	<b>【知识链接】</b>	<b>(125)</b>
3.1	场效应管	(125)
3.1.1	场效应管的分类	(125)
3.1.2	结型场效应管	(125)
3.1.3	增强型 MOSFET (E-MOSFET)	(128)
3.1.4	耗尽型 MOSFET (D-MOSFET)	(130)
3.1.5	场效应管的主要参数	(132)
3.1.6	场效应管的特点及使用注意事项	(135)
3.1.7	场效应管的检测	(136)

3.2	场效应管放大电路	(137)
3.2.1	场效应管的微变等效分析	(137)
3.2.2	共源组态基本放大电路	(138)
3.2.3	共漏组态基本放大电路	(143)
3.2.4	共栅组态基本放大电路	(144)
3.2.5	三种接法基本放大电路的比较	(145)
3.3	习题	(145)
<b>项目四 工业机器人巡线传感器信号处理模块</b>		(149)
任务 1	巡线传感器信号处理模块工作原理分析	(152)
子任务 1	认知电路中的元器件	(152)
子任务 2	电路原理认知学习	(160)
子任务 3	巡线传感器信号处理电路项目仿真分析与验证	(162)
任务 2	巡线传感器信号处理电路元器件的识别与检测	(163)
子任务 1	电阻类元件、电容、稳压管、发光二极管的识别与检测	(163)
子任务 2	LM324 的识别与检测	(166)
子任务 3	74HC14 的识别与检测	(167)
任务 3	巡线传感器信号处理模块电路的装配与调试	(168)
子任务 1	电路元器件的装配与布局	(169)
子任务 2	制作 8 路巡线传感器信号处理电路模块	(170)
子任务 3	调试 8 路巡线传感器信号处理电路	(170)
任务 4	项目汇报与评价	(171)
子任务 1	汇报制作调试过程	(171)
子任务 2	对其他人作品进行客观评价	(172)
子任务 3	撰写技术文档	(173)
<b>【知识链接】</b>		(173)
4.1	集成运算放大器	(174)
4.1.1	集成运放基础知识概述	(174)
4.1.2	集成运放的电气特性	(178)
4.1.3	集成运放的主要技术指标	(184)
4.1.4	集成运放的理想化模型	(188)
4.2	反馈在集成运放中的应用	(188)
4.2.1	反馈的基本概念	(189)
4.2.2	反馈的判断	(190)
4.2.3	四种反馈组态	(191)
4.2.4	负反馈放大电路的一般表达式	(195)
4.3	频率特性的基本概念	(195)
4.3.1	基本概念	(196)
4.3.2	集成运放的频率特性	(197)
4.4	集成运放的线性应用	(197)



4.4.1	比例运算电路	(198)
4.4.2	加法运算电路	(199)
4.4.3	减法运算电路	(199)
4.4.4	积分运算电路	(199)
4.4.5	微分运算电路	(200)
4.4.6	仪表放大器	(200)
4.5	集成运放的非线性应用	(201)
4.5.1	比较器	(201)
4.5.2	方波发生器	(203)
4.6	正弦波发生器	(204)
4.6.1	正弦振荡的一般问题	(204)
4.6.2	文氏电桥振荡器	(206)
4.7	常用集成运放芯片介绍	(207)
4.7.1	集成运放供应商	(207)
4.7.2	常用集成运放芯片	(208)
4.7.3	常用集成比较器芯片	(209)
4.7.4	函数发生器芯片	(210)
4.8	习题	(211)
4.8.1	概念题部分	(211)
4.8.2	计算和计算机仿真题	(213)
附录 A	二极管 1N4007 数据手册	(215)
附录 B	二极管 1N4008 数据手册	(217)
附录 C	三极管 S9012 数据手册	(220)
附录 D	三极管 S9013 数据手册	(222)
附录 E	3DD15D 数据手册	(225)
附录 F	LM7805 数据手册	(227)
附录 G	D882 数据手册	(229)
附录 H	HF3FF 超小型大功率继电器	(230)
附录 I	功率场效应管 75N75 手册	(233)
附录 J	IR2110 数据手册	(238)
附录 K	LM324 数据手册	(243)
附录 L	74HC14 数据手册	(250)
参考文献		(255)

## 直流稳压电源

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有一个共同的电路——电源电路。大到超级计算机、小到袖珍计算器，所有的电子设备都必须在稳定的电源电路支持下才能正常工作。虽然日常生活中收音机、MP4 等可以采用干电池、蓄电池供电，但干电池容量小、不经济，因此在有交流电网的情况下，一般利用交流电网将交流电转换成直流电。本项目就是利用电子元器件来制作一台简单的直流稳压电源。



### 项目学习目标

- 能认识项目中元器件的符号。
- 能认识、检测及选用元器件。
- 能查阅元器件手册并根据手册进行元器件的选择和应用。
- 能分析直流稳压电源电路的工作原理和工作过程。
- 能对直流稳压电源电路进行仿真分析和验证。
- 能制作和调试直流稳压电源电路。
- 能文明、安全操作，遵守实验实训室管理规定。
- 能与其他学员团结协作完成技术文档并进行项目汇报。



### 项目任务分析

- (1) 通过学习和查阅相关元器件的技术手册进行元器件的检测，完成项目元器件检测报告。
- (2) 在 Multisim 中进行项目的仿真分析和验证。
- (3) 按照安装工艺的要求并结合项目任务报告进行项目装配，装配完成对本项目进行调试。
- (4) 撰写制作调试报告。
- (5) 对项目完成进行展示汇报，并对其他组学生的作品进行互评，完成项目评价表。



### 项目总电路图

该项目的电路原理图如图 1-1 所示。

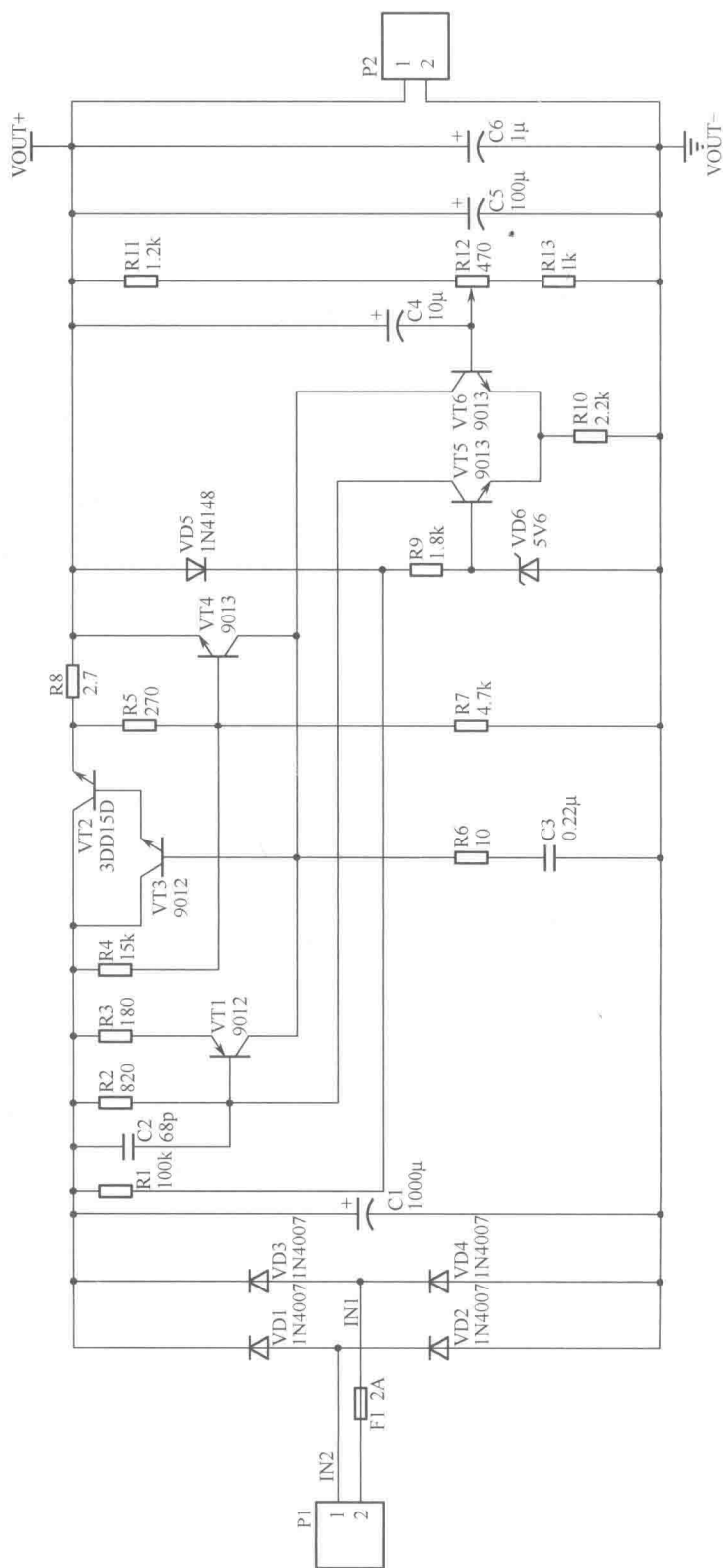


图1-1 直流稳压电源电路原理图



项目任务分配表 (表 1-1)

表 1-1 任务分配表

项目任务	子任务	课时
任务1 直流稳压电源电路工作原理分析	子任务1 认知电路中的元器件	6
	子任务2 电路原理认知学习	
	子任务3 直流稳压电源电路的仿真分析与验证	
任务2 直流稳压电源电路元器件的识别与检测	子任务1 电阻类元件、电容元件的识别与检测	1
	子任务2 二极管与稳压管的识别与检测	
	子任务3 三极管的识别与检测	
任务3 直流稳压电源电路的装配与调试	子任务1 电路元器件的装配与布局	3
	子任务2 制作直流稳压电源电路模块	
	子任务3 调试直流稳压电源电路	
任务4 项目汇报与评价	子任务1 汇报制作调试过程	2
	子任务2 对其他人作品进行客观评价	
	子任务3 撰写技术文档	

## 任务1 直流稳压电源电路工作原理分析



### 学习目标

- (1) 能认识常用的元器件符号。
- (2) 能分析直流稳压电源电路的组成及工作过程。
- (3) 能对直流稳压电源电路进行仿真。



### 工作内容

- (1) 认识二极管、三极管等元器件的符号。
- (2) 对直流稳压电源电路进行分析和参数计算。
- (3) 对直流稳压电源电路进行仿真分析。

### 子任务1 认知电路中的元器件

#### 【元器件知识】

#### 1. 二极管

二极管又称晶体二极管,它是最常用的电子元件之一,具有单向传导电流的特性,被广泛用于整流、检波、稳压和各种调制电路中。



### 1) 二极管的结构与组成

二极管是由一个 PN 结加上引出线封装在管壳内构成的。P 区一侧的引出线称为阳极或正极，N 区一侧的引出线称为阴极或负极。二极管的电气符号如图 1-2 所示，电气符号中三角箭头方向表示 PN 结正向电流的方向。



图 1-2 二极管的电气符号

### 2) 二极管的分类

二极管种类繁多，按材料分类有硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管。二极管按用途可分为普通、整流、稳压、光敏、热敏、发光等类型。二极管按结构可分为点接触型和面接触型，点接触型的 PN 结面积非常小，不能通过较大电流；但结面积小，结电容也小，高频性能好，故适用于高频和小功率情况，一般用于检波或脉冲电路，也可用于小电流整流。面接触型的 PN 结面积很大，能通过较大电流，但结电容也大，只能在较低频率下使用，常用于低频大电流的整流器中。常见二极管的电路符号如图 1-3 所示。



图 1-3 常用二极管的电气符号

### 3) 二极管的主要参数

二极管的参数，是定量描述二极管性能优劣的质量指标，其主要参数如下。

#### (1) 最大整流电流 $I_F$

最大整流电流  $I_F$  是指二极管长时间工作时允许通过的最大正向平均电流。注意流过二极管的正向最大平均电流不大于这个数值，否则可能损坏二极管。

#### (2) 最大反向电压 $U_{Rm}$

最大反向电压  $U_{Rm}$  是指二极管正常使用时所允许加的最高反向电压。其值通常取二极管反向击穿电压  $U_{BR}$  的一半左右，使用时如果超过此值，二极管将有击穿的危险。

#### (3) 反向电流 $I_S$

反向电流  $I_S$  是指在室温下二极管未被击穿时的反向电流值，或者是加上最大反向工作电压时的反向电流。

#### (4) 最高工作频率 $f_m$

最高工作频率  $f_m$  是指保证二极管能起单向导电作用时的最高工作频率。如果通过二极管电路的频率大于该值，二极管将不能起到单向导电的作用。

常用的二极管有 1N4000 系列普通二极管和开关二极管，HERxxx 系列、MURxxx 系列 BYxxx 系列快恢复二极管，其主要参数见表 1-2。常用的稳压管参数见表 1-3。

表 1-2 常用二极管参数

规格	型号	最大电压( $V_{DC}$ )	$I_o(A)$	$I_{FSM}(A)$	封装	说明
1N4000 系列	1N4001	50	1	30	DO-41	普通二极管



续表

规格	型号	最大电压( $V_{dc}$ )	$I_o(A)$	$I_{FSM}(A)$	封装	说明
1N4000 系列	1N4002	100	1	30	DO-41	普通二极管
	1N4003	200	1	30	DO-41	普通二极管
	1N4004	400	1	30	DO-41	普通二极管
	1N4005	600	1	30	DO-41	普通二极管
	1N4006	800	1	30	DO-41	普通二极管
	1N4007	1000	1	30	DO-41	普通二极管
	1N4148	100	0.2	540	DO-35	开关二极管
	1N4150	50	0.2	540	DO-35	开关二极管
	1N4448	50	0.2	540	DO-35	开关二极管
	1N4454	50	0.2	540	DO-35	开关二极管
	1N4457	70	0.2	540	DO-35	开关二极管
MURxxx 系列 快恢复二极管	MUR805	50	8	100	TO-220AC	快恢复二极管
	MUR810	100	8	100	TO-220AC	快恢复二极管
	MUR815	150	8	100	TO-220AC	快恢复二极管
	MUR820	200	8	100	TO-220AC	快恢复二极管
	MUR840	400	8	100	TO-220AC	快恢复二极管
BYxxx 系列 二极管	BYW29-50	50	8	100	TO-220	快恢复二极管
	BYW29-100	100	8	100	TO-220	快恢复二极管
	BYW29-150	150	8	100	TO-220	快恢复二极管
	BYW29-200	200	8	100	TO-220	快恢复二极管
HERxxx 系列 快恢复二极管	HER1601C	50	16	200	TO-220	快恢复
	HER1602C	100	16	200	TO-220	快恢复
	HER1603C	200	16	200	TO-220	快恢复
	HER1604C	300	16	200	TO-220	快恢复
	HER1605C	400	16	200	TO-220	快恢复

表 1-3 常用稳压管参数

序号	型号	$V_z(V)$	$Z_z(\Omega)$	$I_z(mA)$	$I_{RZ}(\mu A)$	封装	说明
1	1N4728	3.3	10	76	100	DO-41	稳压二极管
2	1N4729	3.6	10	69	100	DO-41	稳压二极管
3	1N4730	3.9	9	64	50	DO-41	稳压二极管
4	1N4731	4.3	9	58	10	DO-41	稳压二极管
5	1N4732	4.7	8	53	10	DO-41	稳压二极管
6	1N4733	5.1	7	49	10	DO-41	稳压二极管
7	1N4734	5.6	5	45	10	DO-41	稳压二极管
8	1N4735	6.2	2	41	10	DO-41	稳压二极管
9	1N4736	6.8	3.5	37	10	DO-41	稳压二极管



#### 4) 二极管的检测

##### (1) 用指针式万用表检测

指针式万用表红表笔是（表内电源）负极，黑表笔是（表内电源）正极。在使用二极管之前，须辨别二极管的正、负极性。最简单的判断方法是用一只普通万用表来测量它的正、反向电阻，如图 1-4 (a)、(b) 所示。测量时，首先将万用表欧姆挡的量程拨到  $R \times 100$  挡或  $R \times 1k$  挡位置，因为在  $R \times 1$  挡位置时电流太大， $R \times 10k$  挡位置时电压太高，都有可能损坏二极管。然后将两表棒分别接二极管的两个电极，交换电极再测一次，从而得到两个电阻值。管子的正向电阻值一般为几百欧姆至几千欧姆，反向电阻值为几十千欧姆到几百千欧姆。若测得电阻值中数值小的一次黑表棒接的是二极管的正极，红表棒接的是二极管的负极。由于二极管是非线性器件，用不同的电阻挡测量时，测出的正反向电阻值会有所差别。一般硅管正向电阻为几千欧，锗管正向电阻为几百欧。正反向电阻相差不大为劣质管，正反向电阻都是无穷大或零则二极管内部断路或短路。

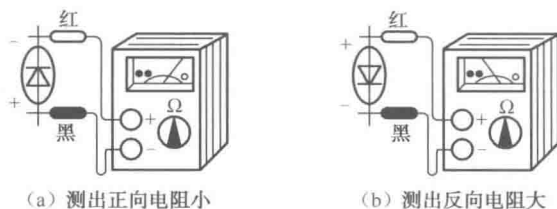


图 1-4 测正反向电阻接线图

##### (2) 用数字式万用表检测

数字式万用表红表笔是（表内电源）正极，黑表笔是（表内电源）负极。再用  $\rightarrow$  挡进行测量，当 PN 结完好且正偏时，显示值为 PN 结两端的正向压降。反偏时，显示“1.”，表示其处于截止，阻值为无穷大。其接法如图 1-5 (a)、(b) 所示。

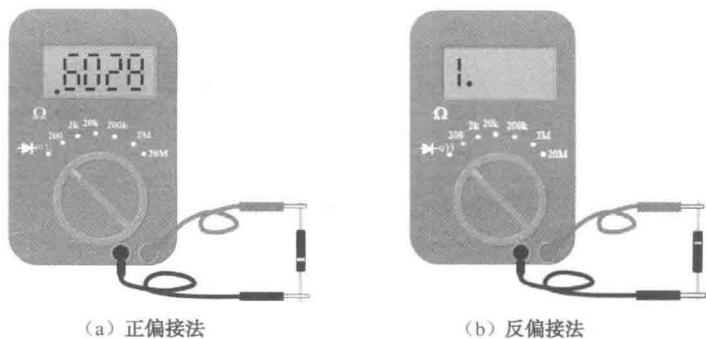


图 1-5 数字式万用表检测二极管的接法

#### 5) 稳压二极管的检测

从外形上看，金属封装稳压二极管管体的正极一端为平面形，负极一端为半圆面形。塑封稳压二极管管体上印有标记的一端为负极，另一端为正极。对标志不清楚的稳压二极管，也可以用万用表判别其极性，测量的方法与普通二极管相同，即用万用表  $R \times 1k$  挡，将两表笔分别接稳压二极管的两个电极，测出一个结果后，再对调两表笔进行测量。在两次测量结果中，阻



值较小那一次，黑表笔接的是稳压二极管的正极，红表笔接的是稳压二极管的负极。若测得稳压二极管的正、反向电阻均很小或均为无穷大，则说明该二极管已击穿或开路损坏。

## 2. 三极管

半导体双极型三极管又称晶体三极管，简称晶体管或三极管，它是一种电流控制电流的半导体器件，可用来对微弱信号进行放大和作为无触点开关。它具有结构牢固、寿命长、体积小、耗电省等一系列独特优点，故在各个领域得到广泛应用。

### 1) 晶体管的结构与组成

晶体管又称三极管，是利用特殊工艺将两个 PN 结结合在一起而构成的，按其结构组成有 PNP 和 NPN 两种，如图 1-6 所示。

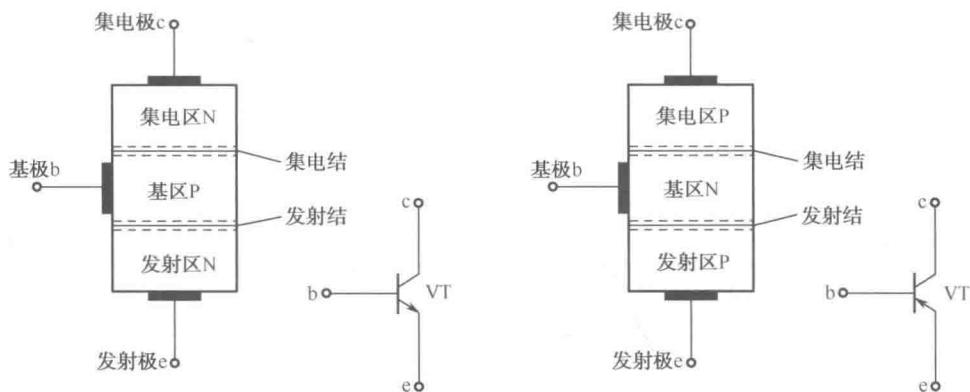


图 1-6 三极管结构及符号

三极管有三个区域分别为发射区、集电区和基区。由三个区引出的三个电极分别称为发射极 e、集电极 c 和基极 b。发射区和基区之间的 PN 结为发射结，集电区和基区之间的 PN 结为集电结。基区较薄，集电区较厚。在使用时发射极和集电极两者不可互换，因为发射区和集电区的杂质浓度大小不同。在一定的外部条件下晶体管具有电流放大作用。

### 2) 三极管的分类

三极管的种类很多，通常按以下几个方面分类。

(1) 按三极管所用半导体材料来分，有硅管和锗管两种，硅管受温度影响小，性能稳定，应用广泛。

(2) 按三极管的导电性来分，有 NPN 型和 PNP 型两种。硅管多是 NPN 型，锗管多是 PNP 型。

(3) 按功率分，有小功率管、中功率管和大功率管（功率在 1W 以上的为大功率管）。

(4) 按频率来分，有低频管和高频管两种，工作频率在 3MHz 以上的为高频管。

(5) 按用途分，有放大管和开关管等。

(6) 从三极管的封装材料来分，有金属封装、玻璃封装，近年来多用硅酮塑料封装。

常用三极管的外形如图 1-7 所示。



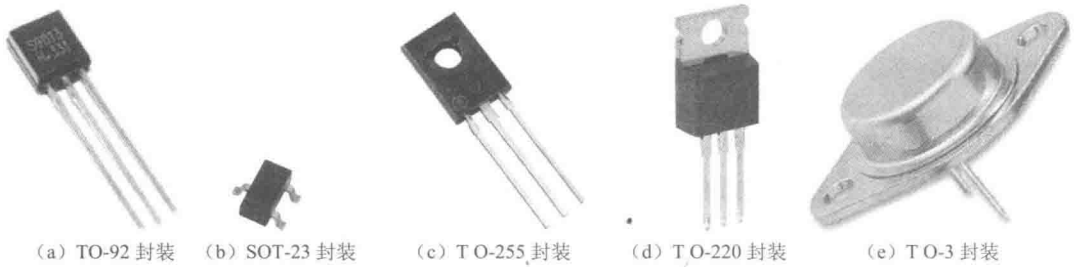


图 1-7 常用三极管的封装

### 3) 三极管的主要参数

#### (1) 集电极最大允许电流 $I_{CM}$

其指三极管正常工作时，集电极所能承受的最大电流。如果工作电流超过  $I_{CM}$ ，不仅造成三极管放大倍数明显下降，还有可能损坏三极管。一般小功率管  $I_{CM}$  为几十毫安，大功率管  $I_{CM}$  为几安以上。

#### (2) 反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$

其指基极开路时，加在集电极与发射极之间的最大允许电压。超过  $U_{(BR)CEO}$ ， $I_C$  将大幅度上升，三极管将被击穿。

#### (3) 集电极最大允许耗散功率 $P_{CM}$

其指三极管正常工作时，集电极所允许的最大耗散功率。使用时若集电极功耗超过此值，将使三极管的性能变差或烧毁。 $P_{CM}$  与环境温度有密切关系，温度越高，则  $P_{CM}$  越小，对于大功率管，常在管子上加散热器或散热片。

注意在选用三极管时不要超越极限参数。常用的三极管参数见表 1-4。

表 1-4 常用三极管参数表

名称	封装	极性	功能	耐压	电流	功率	频率	配对管
9012	TO92	PNP	低频放大	50V	0.5A	0.625W	<150MHz	9013
9013	TO92	NPN	低频放大	50V	0.5A	0.625W	<150MHz	9012
9014	TO92	NPN	低噪放大	50V	0.1A	0.4W	150MHz	9015
9015	TO92	PNP	低噪放大	50V	0.1A	0.4W	150MHz	9014
9018	TO92	NPN	高频放大	30V	0.05A	0.4W	1000MHz	
8050	TO92	NPN	高频放大	40V	1.5A	1W	100MHz	8550
8550	TO92	PNP	高频放大	40V	1.5A	1W	100MHz	8050
2N2222	TO92	NPN	通用	60V	0.8A	0.5W		
2N2369	TO18	NPN	开关	40V	0.5A	0.3W	800MHz	
2N2907	TO92	NPN	通用	60V	0.6A	0.4W		
2N3055	TO3	NPN	功率放大	100V	1A	115W		MJ2955
2N3440	TO3	NPN	视放开关	450V	1A	1W	15MHz	2N6609
2N3773	TO3	NPN	音频功放	160V	16A	50W		
2N3904	TO92	NPN	通用	60V	0.2A			