



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

# 线性电子电路 实验

华柏兴 张显飞 查丽斌 卢葵芳 编著  
王光义 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>

TN710.07/2

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

# 线性电子电路实验

华柏兴 张显飞 查丽斌 卢葵芳 编著

王光义 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书共分 8 章，主要内容包括：20 个典型实验，其中包括 3 个基础性实验、11 个设计性和应用性实验及 6 个综合性和创新性实验；实验故障分析与排除技巧；仿真软件 OrCAD/PSpice 9.1 简介；7 个仿真实验；实验常用的电子仪器；常用的电子元器件。其中部分实验项目与实际应用和科研相结合。书中重点阐述了每个实验的实验电路和原理、电路参数设计、实验内容和步骤等。

本书可作为普通高等学校工科电子、通信、自动化、计算机等专业开设线性电子电路实验或模拟电子电路实验等课程的教材，也可供电子技术爱好者和从事电子工程设计与开发的工程技术人员学习和参考。

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

线性电子电路实验 / 华柏兴等编著. —北京：电子工业出版社，2008.2

(电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程)

ISBN 978-7-121-05349-8

I. 线… II. 华… III. 线性电路—实验—高等学校—教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 005015 号

责任编辑：王 纲

印 刷：北京市通州大中印刷厂

装 订：三河市鹏成印业有限公司

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：

开 本：787×1092 1/16 印张：14 字数：358.4 千字

印 次：2008 年 2 月第 1 次印刷

印 数：4000 册 定价：22.00 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。

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

服务热线：(010) 88258888。

# 前 言

为适应电子信息技术日新月异的发展，并满足我国普通高等教育事业的蓬勃发展，以及教学内容和方法的不断改进与深化的需要，作者根据长期的实践教学知识和经验编著了这本以基础实验与设计、应用、综合、创新实验相结合，基本技能培养与综合创新能力相结合的普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本教材从教学实际出发，力求做到由浅入深、从低到高、循序渐进、系统地进行各种基本技能的训练，注重对学生的能力培养和因材施教。书中精心安排了 20 个不同类型的经典实验，既有操作性和验证性实验，又有设计性和应用性及综合性和创新性实验；既有分立元件构成的单元电路实验，又有单元电路和集成电路构成的组合性实验。每个实验都编排了思考题，有利于学生把理论知识与实验测试及实验结果有机地结合。本书还增添了一些具有代表性的仿真实验，以体现时代的特色，拓宽实验和工程设计方法的视野。本书中的实验故障分析与排除技巧是作者长期的实践教学经验和结晶。总之，本书中的实验内容丰富，构思新颖，结构合理，条理清晰，特色明显。

本实验教材适用教学时数为 25~50 学时，书中绝大部分实验内容较丰富，学生可根据教学时数和结合自己的能力进行适当调整。也可根据自己的实际情况自选和设计实验电路或自拟实验方案，然后完成实验电路的组装和性能指标的测试。通过电路和器件参数的设计与选择、电路性能的调试和技术指标测试等实验技能的综合训练，提高学生综合运用知识、分析解决实际问题的能力。

本教材共分 8 章：第 1 章编排了 3 个基础性实验为做好后续的实验打好基础；第 2 章为设计性和应用性实验，共编写了 11 个不同的经典实验，分别详细介绍了实验目的、实验原理、实验电路参数的设计方法、实验内容及实验思考题等内容；第 3 章为综合性和创新性实验，编写了 4 个综合性和 2 个创新性实验；第 4 章为实验故障分析与排除技巧，对比较典型和具有代表性及比较实用的 10 个实验的故障原因和解决办法，以及故障排除技巧进行详细的分析和讨论，有助于实验者提高分析和解决实际问题的能力，提高排除实验故障的技能；第 5 章为仿真软件 OrCAD/Pspice 9.1 简介和使用，介绍了该软件的特点及有关规定，并通过实例指导学生，使其掌握实验操作的步骤和方法；第 6 章为仿真实验，选择了 7 个实验分别对其仿真电路图的绘制、电路静态与动态指标的调试及测量进行了重点描述；第 7 章为实验常用的电子仪器，详细介绍了 6 种实验常用的电子仪器的技术指标和功能、操作使用方法等；第 8 章为常用的电子元器件，分别介绍了电阻器、电容器、电感器、半导体分立器件和集成电路的型号命名、功能和指标参数以及使用等。第 1, 2, 4, 7, 8 章的内容和第 3 章的主要内容在华柏兴编写，并负责全书的修改、初审和定稿；第 5, 6 章主要由张显飞编写；第 3 章中的多功能彩灯等实验由查丽斌编写；卢葵芳参加了第 5, 6 章部分内容的编写和全书电路图的绘制。

王光义教授对本书的编写和出版自始至终给予了大力支持和帮助，并认真和细致地对全书进行了审阅，提出了宝贵的意见和建议，在此表示衷心感谢！本教材编写得到胡飞跃和王宛莘两位副教授的指导，并提出了宝贵意见，在此谨致以深切地谢意！何勤同学为全书的

电路图和电路框图的绘制及修改做了许多工作，对此表示衷心的感谢！

本书中有些窗口图由于受软件影响，其图形文字符号不能改动。

限于作者的水平，书中难免存在一些不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

第 1 章 基础性实验 .....	1
实验一 常用电子仪器的使用 .....	1
实验二 晶体管主要参数及特性曲线的测试 .....	5
实验三 差分放大器 .....	9
第 2 章 设计性和应用性实验 .....	14
实验四 单管放大器的设计与测试 .....	14
实验五 场效应管放大电路的设计与调测 .....	19
实验六 集成功率放大器的应用 .....	22
实验七 直流稳压电源的设计与应用 .....	27
实验八 负反馈放大器 .....	33
实验九 集成运算放大器的线性应用 .....	38
实验十 电压/电流及电压/频率转换电路 .....	44
实验十一 电平检测器的设计与应用 .....	47
实验十二 波形产生电路的设计与调测 .....	50
实验十三 集成多功能信号发生器的应用 .....	56
实验十四 集成锁相环的应用 .....	59
第 3 章 综合性和创新性实验 .....	63
实验十五 集成开关稳压电源的应用与研究 .....	63
实验十六 音响放大器的设计与调测 .....	70
实验十七 多功能彩灯 .....	85
实验十八 红外线防盗报警器 .....	86
实验十九 超声波防盗报警器 .....	87
实验二十 采用 TNY264P 集成电路设计的手机充电器 .....	89
第 4 章 实验故障分析与排除技巧 .....	91
4.1 单管放大器实验故障分析与排除 .....	91
4.1.1 放大器输入端无波形故障 .....	91
4.1.2 放大器输入 ( $V_S$ ) 有波形而输出端无波形 .....	93
4.1.3 输出波形失真 .....	94
4.1.4 电压放大倍数 $A_v$ 不正常 .....	94
4.2 集成功率放大器实验故障分析与排除技巧 .....	95
4.2.1 集成功率放大器输出正弦波叠加了高频自激振荡波形 .....	95
4.2.2 集成功率放大器输出波形失真 .....	96
4.2.3 集成功率放大器输入无波形造成输出无波形 .....	96
4.2.4 集成功率放大器输入 ( $V_S$ ) 有波形而输出无波形 .....	96
4.2.5 集成功率放大器输出有波形但是没放大 .....	97

4.3	直流稳压电源实验故障分析与排除方法	97
4.3.1	变压器 TD 副边的电压值 $V_2$ 为零	97
4.3.2	$V_2$ 电压正常而稳压器输入端的 $V_1$ 无电压	98
4.3.3	集成稳压器输入端电压正常而输出端无电压	98
4.3.4	集成稳压器输入端电压正常而输出端电压不能调节	99
4.3.5	集成稳压器输入端电压正常而输出端电压调节范围太小	99
4.3.6	$V_1$ 的电压值小于正常值而且 $V_{r-}$ (纹波电压) 值太大	99
4.3.7	稳压器输出电压正常而输出负载电流 $I_{OL}$ 为零或误差太大	100
4.4	负反馈放大器实验故障分析与排除方法	100
4.4.1	放大器输入端 $V_s$ 无波形	100
4.4.2	放大器输入波形 $V_s$ 正常而输出无波形	101
4.4.3	放大器输出波形失真	101
4.4.4	电压放大倍数不正常	101
4.4.5	所测的输出电阻为负值	102
4.5	集成运算放大器实验故障分析与排除方法	102
4.5.1	反相比例运算电路常见实验故障的排除	102
4.5.2	同相比例运算电路常见故障的排除	103
4.5.3	反相求和运算电路实验故障分析与排除方法	104
4.5.4	减法运算电路实验故障分析与排除方法	104
4.6	电压/电流及频率转换实验故障分析与排除方法	105
4.6.1	调节电位器 RP 时负载电流不变化	105
4.6.2	所测电流与理论值比较误差太大	105
4.7	电平检测器实验故障分析与排除技巧	106
4.7.1	蓄电池电压 $V_1$ 降到 8V 时红灯不亮绿灯亮	106
4.7.2	蓄电池电压 $V_1$ 升高到 14V 时仍为绿灯不亮红灯亮	107
4.7.3	运放输出正常的高电位而继电器没有正常工作	107
4.7.4	功能正常但电压控制范围超出设计要求 $\pm 0.5V$	107
4.8	波形产生电路实验故障分析与排除技巧	107
4.8.1	文氏电桥正弦波发生器实验故障分析	108
4.8.2	文氏电桥正弦波发生器输出无显示波形故障的现象及原因	108
4.8.3	文氏电桥正弦波发生器输出无显示波形故障的排除技巧	108
4.9	集成多功能信号发生器实验故障分析与排除技巧	109
4.9.1	输出波形叠加高频振荡波	110
4.9.2	输出方波和三角波正常而正弦波失真	110
4.9.3	输出方波和三角波正常而输出的正弦波变成了三角波	110
4.9.4	8038 集成块输出的三种波形全无显示	111
4.9.5	输出方波变为脉冲波而三角波变为锯齿波	111
4.9.6	输出无方波而三角波正常	111
4.10	集成锁相环实验故障分析与排除技巧	112

4.10.1	频率可调的脉冲信号发生器实验故障分析与排除	112
4.10.2	低频信号选频电路实验故障分析与排除	113
<b>第5章</b>	<b>仿真软件 OrCAD/Pspice 9.1 简介和使用</b>	<b>114</b>
5.1	OrCAD/PSpice 的起源与特点	114
5.1.1	PSpice 的起源	114
5.1.2	OrCAD/PSpice 的特点	114
5.2	PSpice 中的有关规定	115
5.2.1	OrCAD/PSpice 9.1 中的单位和数字	115
5.2.2	PSpice 中的节点	115
5.3	原理图编辑及电路仿真	116
5.3.1	Release 的启动和元器件的添加	116
5.3.2	创建网表和模拟配置文件及设置节点名	118
5.3.3	PSpice 的运行和查看分析结果	120
5.4	PSpice 的分析功能	121
5.4.1	PSpice 的常用功能	121
5.4.2	参数扫描分析	121
5.5	电路元器件名称的首字母	124
5.6	半导体器件模型参数	124
<b>第6章</b>	<b>仿真实验</b>	<b>126</b>
6.1	单管放大器仿真实验	126
6.2	场效应管放大电路仿真实验	129
6.3	OTL 互补对称功率放大器仿真实验	130
6.4	串联反馈式稳压电源仿真实验	132
6.5	负反馈放大器仿真实验	134
6.6	集成运算放大器的应用仿真实验	137
6.7	波形产生电路仿真实验	140
<b>第7章</b>	<b>实验常用的电子仪器</b>	<b>143</b>
7.1	SBL 型模拟电路实验箱	143
7.1.1	实验箱的功能特点	143
7.1.2	实验箱的主要技术指标及应用	143
7.1.3	实验箱提供的电子元器件	143
7.1.4	SBL 型模拟电路实验箱的面板图	145
7.2	UT804 真有效值数字式万用表	145
7.2.1	功能特点和主要作用及所带附件	145
7.2.2	安全工作准则	146
7.2.3	综合指标	146
7.2.4	面板结构和旋钮开关及按键功能	147
7.2.5	LCD 显示器	148
7.2.6	测量操作说明	149
7.2.7	技术指标	155



7.2.8	保养和维修	158
7.2.9	RS 232C 接口	159
7.3	500HA 型万用表	159
7.3.1	万用表的用途和主要技术指标	159
7.3.2	使用方法	160
7.3.3	注意事项	162
7.4	SP1641D 型函数信号发生器/计数器	162
7.4.1	主要特征和技术参数	162
7.4.2	工作原理	164
7.4.3	使用操作说明	165
7.4.4	仪器整套设备与附件及检修	167
7.5	MOS—620B 型双踪示波器	168
7.5.1	概况与主要特点	168
7.5.2	技术指标	169
7.5.3	操作前的注意事项	170
7.5.4	操作与使用方法	171
7.5.5	维护	177
7.6	QT2 型晶体管特性图示仪	177
7.6.1	功能特点及电路原理概述	177
7.6.2	技术指标	179
7.6.3	前、后面板各开关旋钮名称和功能介绍	181
7.6.4	使用方法及测试范例	184
<b>第 8 章</b>	<b>常用的电子元器件</b>	<b>190</b>
8.1	电阻器	190
8.1.1	电阻器的作用及分类	190
8.1.2	电阻器的图形符号及型号命名方法	190
8.1.3	电阻器的主要性能参数	192
8.1.4	电位器	195
8.1.5	电阻器(电位器)的选用及使用注意事项	195
8.2	电容器	196
8.2.1	电容器的型号命名和标志方法	196
8.2.2	电容器的主要技术指标和结构与特点及性能参数	198
8.2.3	电容器的使用	200
8.3	电感器	201
8.3.1	电感器的分类及主要技术指标	201
8.3.2	电感量的标志方法和电感器选用注意事项	202
8.4	半导体分立器件	202
8.4.1	半导体分立器件型号命名方法	202
8.4.2	二极管	204
8.4.3	三极管	205

8.5 有关集成电路的型号命名与产品代号及主要技术指标 .....	208
8.5.1 我国有关集成电路的型号命名与国外部分公司产品代号 .....	208
8.5.2 部分模拟集成电路的主要参数 .....	209
参考文献 .....	214

# 第 1 章 基础性实验

## 实验一 常用电子仪器的使用

### 一、实验目的

- 1) 了解常用电子仪器的主要技术指标、性能、型号、面板上各旋钮和开关的功能作用。
- 2) 初步掌握常用电子仪器的使用方法和一般的测量技术。
- 3) 学会正确使用与本实验有关的仪器。

### 二、实验仪器

本实验所用到的实验仪器见表 1-1, 其中实验仪器的型号、主要功能及主要特点由读者根据第 7 章的内容及对应的仪器使用说明书进行概括描述。

表 1-1 实验仪器

序号	仪器名称	型号	主要功能	主要特点
1	模拟电路实验箱			
2	数字式万用表			
3	指针式万用表			
4	函数信号发生器			
5	双踪示波器			
6	交流毫伏表			

### 三、实验原理

#### 1. 常用电子仪器的主要技术指标和工作原理

在生产、科研、教学中最常用的电子仪器有万用表、直流稳压电源、函数信号发生器、示波器、交流毫伏表、实验箱、频率计等。为了更好地完成本实验, 学会正确地使用常用电子仪器, 读者要认真预习第 7 章的内容及实验室相对应的仪器使用说明书中相关的内容, 了解表 1-1 中有关实验仪器的主要技术指标和工作原理, 理解其面板上各开关、旋钮的作用和使用方法等。

#### 2. 正弦波和脉冲波的主要电参数

函数信号发生器输出的正弦波、三角波、锯齿波为连续变化的模拟电信号, 其输出的脉冲信号为快速变化的数字信号, 其中正弦波和脉冲信号是最常用的电信号。正弦波及主要参数如图 1-1 所示, 其主要参数可分别用有效值  $V$ 、峰值  $V_p$ 、峰-峰值  $V_{p-p}$ 、周期  $T$  (或频率  $f$ ) 表示; 脉冲波及主要参数如图 1-2 所示, 其主要参数有幅值  $V_M$ , 脉冲周期  $T$  (或频率  $f$ ) 和脉宽  $T_p$  (或占空比  $D$ ); 方波是脉冲信号中的特例, 其占空比为 1:2。各种电参数之间的关系为:

$$V_{p-p} = 2V_p = 2\sqrt{2}V$$

$$V_p = \sqrt{2}V$$

$$T = 1/f$$

$$D = T_p/T$$

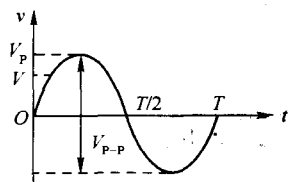


图 1-1 正弦波及主要参数

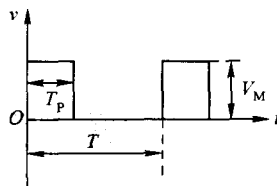


图 1-2 脉冲波及主要参数

电参数测试线路连接如图 1-3 所示。

### 3. 相位测量原理

用双踪示波器测量相位差时的连线如图 1-4 所示，调节函数信号发生器使其输出频率为 2kHz、峰-峰值为 4V 的正弦波，经 RC 移相网络获得两路同频率、同幅度而不同相位的正弦波，分别送到双踪示波器的 CH1 和 CH2 两个通道的信号输入端，显示方式置于“交替(ALT)”或“断续(CHOP)”挡位。然后分别调节 CH1 和 CH2 位移旋钮和“V/DIV”开关及相关的微调旋钮，使其显示出如图 1-5 所示的双踪示波器测量相位的波形。为了便于稳定波形，应将同步信号选择键拨到“CH2”位置，以便比较两信号的相位。

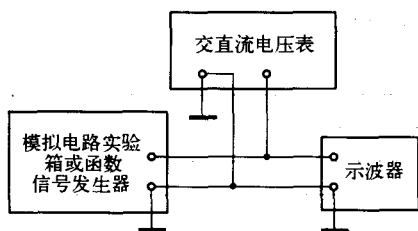


图 1-3 电参数测试线路连接示意图

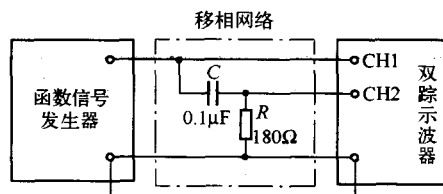


图 1-4 双踪示波器测量相位差时的连线示意图

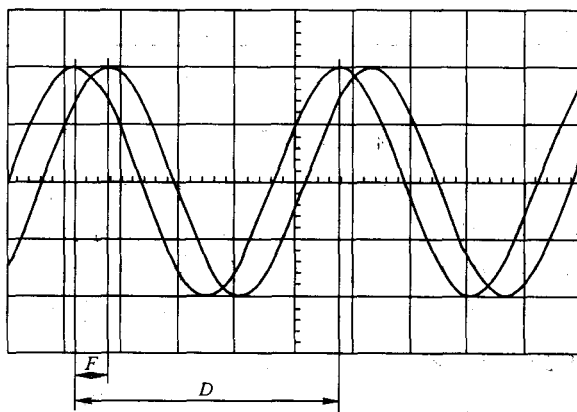


图 1-5 双踪示波器测量相位的波形

由图 1-5 可知，正弦波一个周期在 X 轴方向所占的格数为  $D$ ，则每格的相位为  $360^\circ / D$ ，两个波形在 X 轴方向的差距为  $F$  格，则两波形之间的相位差为

$$\varphi = \frac{360^\circ}{D} \times F$$

## 四、实验内容及步骤

### 1. 直流电压的选择与调节及测量

根据模拟电路实验箱输出的直流稳压电压值，分别选用 UT804 真有效值数字式万用表、

500HA 型指针式万用表、MOS—620B 型双踪示波器或其他型号的相应仪器的合适量程测量出各组电压值，并记录于表 1-2 中。其中 1.3~18V 可调的这组稳压电源要用数字式万用表的直流电压挡调测到约 6.000V 后再用其他仪表测量和记录其电压值。

表 1-2 直流电压的选择与调节及测量记录表

序 号	模拟电路实验箱输出的电压值 (V)	UT804		500HA		*MOS—620B	
		量程 (V)	测量值 (V)	量程 (V)	测量值 (V)	V/DIV	测量值 (V)
1							
2							
3							
4							
5							
6	(1.3~18)调为 6.000						

注：凡本书中的实验内容或序号前标有\*号的，均为选做内容，以后不再说明。

## 2. 交流信号的选择与调节及测量

### 1) 示波器自身校准信号的观察与测画

根据第 7 章中示波器的使用说明，调节和选择所用示波器的相关旋钮和开关，使其处于合适的位置，即各通道开关都置于 CH1 或 CH2，“T/DIV”置于 0.2ms 挡，“V/DIV”置于 0.5V 挡，各灵敏度微调旋钮一般都应置于校准位置，接入示波器自身的校准信号，调节 Y 轴和 X 轴的位移旋钮和亮度旋钮等，即可在示波器显示屏上显示出相应的方波，测画出其波形，并标注幅值  $V_M$  和周期  $T$ 。

### 2) 信号波形的选择与观察

根据第 7 章中有关 SP1641D 型函数信号发生器的操作使用说明，使其输出频率为 1kHz 左右，峰-峰值为 0.5~1V，波形分别为正弦波、方波、三角波及脉冲波，进行显示和观察，并画出所显示的 4 种波形示意图于表 1-3 中。

表 1-3 函数信号发生器输出的波形图

SP1641D 或 SP1631A 的输出波形	MOS—620B 或 CS—4125A 所观察显示的波形示意图
正弦波	
三角波	
方波	
*脉冲波	

### 3) 波形幅度的调节与测量

调节 SP1641D 型函数信号发生器的相关旋钮，使其输出频率为 1kHz 的正弦波，然后按表 1-4 的要求，使其电压输出端输出相应的电压，并用 MOS—620B 或 CS—4125A 型示波器、AS2173D 或 WY2174A 型交流毫伏表及数字式电压表，分别测量其电压值，并记录于表 1-4 中。

表 1-4 正弦波电压调节与测量记录表

SP1641D 或 SP1631A 输出的正弦波电压 $f=1\text{kHz}$	MOS—620B 或 CS—4125A 型示波器				AS2173D 型毫伏表		UT804 型数字式万用表	
	V/DIV 应选挡位	波形所占 Y 轴格数	输入信号倍率	$V_p$ 测量值	应选量程	所测电压的有效值	应选量程	所测电压的有效值
0dB $V_{p-p} = 8\text{V}$								
-20dB $V_{p-p} = 0.8\text{V}$								
-40dB $V_{p-p} = 80\text{mV}$								
*0dB $V_{p-p} = 2\text{V}$								

#### 4) 波形频率的调节和测量

将函数信号发生器输出的正弦波电压峰-峰值调到 2V, 然后按表 1-5 中的要求调到所需的频率, 再分别选择合适的 T/DIV 挡位, 测量出相应的频率, 记录于表 1-5 中。

表 1-5 正弦波频率调节与测量记录表

SP1641D 或 SP1631A 输出的正弦波 $V_{p-p} = 2V$	MOS-620B 或 CS-4125A 型示波器			
	T/DIV 挡位	周期所占格数	所测周期	所测频率
1MHz				
50kHz				
1kHz				
20Hz				

#### \*3. 相位差的测量

根据前面所述的相位测量原理, 用双踪示波器测量同频率不同相的两信号的相位差为

$$\varphi = \frac{360^\circ}{D} \times F$$

### 五、实验注意事项

- 1) 测量电压时, 必须在测量前先分清楚是交流电压还是直流电压, 然后选择相对应的电压测量挡位。
- 2) 切忌使用万用表的电阻挡或电流挡去测量交、直流电压, 否则易烧坏万用表。
- 3) 应正确合理地选择电压表的量程, 以提高测量精度。在不知其电压值大小时, 应先用大量程测试, 然后再往下调, 直到量程合适为止。
- 4) 用示波器测量电压幅度和波形的周期时, Y 轴和 X 轴的灵敏度微调旋钮必须置于校准位置才能使测量结果正确。

### 六、实验预习要求及思考题

#### 1. 预习要求

- 1) 实验前必须认真预习、阅读所用电子仪器的使用说明 (见第 7 章), 初步了解其技术指标、测量功能和使用方法。
- 2) 应根据被测量的内容和要求 (如交、直流电压和电流, 测量精度的高低, 测量条件, 交流信号的波形及频率高低等), 正确选用测量仪器。

#### 2. 思考题

- 1) 什么是电压有效值? 什么是电压峰值?
- 2) 常用交流电压表测量的电压值和用示波器直接测量的电压值有什么不同?
- 3) 在用示波器测量交流信号的峰值和频率时, 如何操作其关键性的旋钮才能尽可能提高测量精度?

### 七、实验报告要求

- 1) 明确实验目的。
- 2) 列表指明所用仪器的名称、型号和功能等。
- 3) 列表整理各项实验内容, 并计算出相应的测量结果 (须注单位) 并画出所测波形。
- 4) 解答思考题。
- 5) 写出实验心得体会及其他。

## 实验二 晶体管主要参数及特性曲线的测试

### 一、实验目的

- 1) 学习用图示仪测量半导体二极管和三极管特性曲线和主要参数的方法。
- 2) 学会用指针式万用表简易判别晶体管的电极和性能优劣的办法。
- 3) 理解所测相关曲线的物理含义。

### 二、实验仪器

本实验所用到的仪器见表 1-6, 其中实验仪器的型号、主要功能及主要特点由读者根据第 7 章及对应的仪器使用说明书进行概括描述。

表 1-6 实验仪器

序号	仪器名称	型号	主要功能	主要特点
1	晶体管特性图示仪			
2	模拟电路实验箱			
3	指针式万用表			
4	晶体管 4 种			

### 三、实验原理

#### 1. 二极管的伏-安特性曲线

二极管是具有单向导电性的半导体两极器件, 它由一个 PN 结加上相应的引线和管壳组成, 用符号 “ $\text{—}|$ ” 表示, 本符号中左边为正极, 接 P 型半导体, 右边为负极, 接 N 型半导体。根据制造时所用的材料不同, 二极管可分为硅管和锗管两种。硅管的正向电压降一般为  $0.6\sim 0.8\text{V}$ , 锗管的正向电压降则一般为  $0.2\sim 0.3\text{V}$ 。

加在二极管两端的电压  $V$  与通过该二极管的电流  $I$  之间的关系称为二极管的伏-安特性。典型的二极管伏-安特性曲线如图 1-6 所示, 其中电压轴正方向的曲线称为二极管的输出特性曲线, 电压轴负方向的曲线称为二极管的反向击穿特性曲线。因为稳压管是采用特殊工艺制造的一种两极器件, 反向

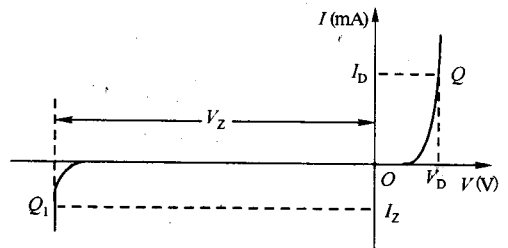


图 1-6 二极管的伏-安特性曲线

击穿后可以恢复, 所以实验中用测量稳压管的反向击穿特性曲线来代替二极管的反向击穿特性曲线。二极管的伏-安特性曲线可以通过 QT2 型晶体管特性图示仪的测试直观得到。

#### 2. 三极管的特性曲线

三极管是对电信号有放大作用的半导体器件, 它由两个 PN 结组成, 有 NPN 型和 PNP 型两种结构, 分别用符号  $\text{—}|$  和  $\text{—}|$  表示。其中 E 为发射极, B 为基极, C 为集电极。三极管的特性曲线主要有输入和输出特性曲线。其主要特性参数有电流放大系数  $\beta$  ( $h_{FE}$ ), 反向饱和电流  $I_{CBO}$ 、穿透电流  $I_{CEO}$ 、集电极最大允许电流  $I_{CM}$  和最大允许功耗  $P_{CM}$ 、反向击穿电压  $V_{CEO}$ 、截止频率  $f_T$  等。由于实验学时所限等原因, 本实验着重讨论共发射极接法(如图 1-7 所示)时三极管的输出特性曲线和电流放大系数两项内容。

(1) 三极管共发射极接法时的输出特性曲线如图 1-8 所示, 该曲线是指基极电流  $I_B$  为常数时, 集电极电流  $I_C$  随集电极与发射极之间的电压  $V_{CE}$  而变化的关系曲线, 其关系式为

$$I_C = f(V_{CE}) \Big|_{I_B = \text{常数}}$$

(2) 三极管电流放大系数有直流 ( $\bar{\beta}$ ) 和交流 ( $\beta$ ) 之分, 即

$$\bar{\beta} = \frac{I_C - I_{CEO}}{I_B} \approx \frac{I_C}{I_B} \text{ 和 } \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \Big|_Q \text{ (} Q \text{ 为工作点所在处)}$$

一般三极管的输出特性曲线在放大区的间距基本相等, 且  $I_{CEO} \approx 0$ , 所以  $\bar{\beta} \approx \beta$ , 在应用中通常不分交流和直流, 都用  $\beta$  表示。在三极管的输出特性曲线中得到对应的  $I_C$  和  $I_B$  之后, 即可计算出  $\beta$  值。

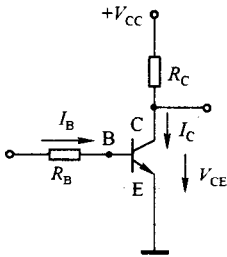


图 1-7 三极管共发射极接法

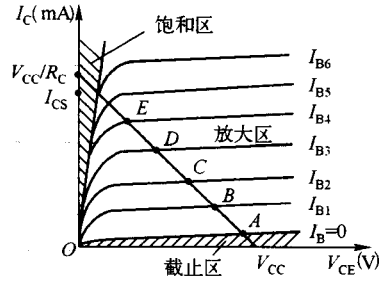


图 1-8 输出特性曲线

图 1-8 所示的曲线是一种举例, 对于不同型号的管子或不同  $\beta$  的三极管, 其曲线的形状和间距有所不同, 具体情况根据测试条件和晶体管特性图示仪阶梯选择开关而定。

### 3. 二极管和三极管的极性

用指针式万用表判断二极管和三极管的极性, 其测量原理主要是根据万用表的内部结构和 PN 结的单向导电性进行。

由图 1-9 和图 1-10 可知, 其黑表笔连接内部电池的正极, 红表笔连接内部电池的负极。当用指针式万用表欧姆挡相应的量程 (如  $R \times 100\Omega$  挡或  $R \times 1k\Omega$  挡) 判别二极管的极性和性能时, 红表笔接二极管的负极, 黑表笔接二极管的正极, 此时所测的是二极管正向电阻, 其阻值较小; 红、黑表笔反接后 (且将量程改为  $R \times 10k\Omega$  挡) 所测的是二极管的反向电阻, 其阻值很大, 说明该二极管通/断性能良好, 同时也判定了二极管正负极性所在引脚的位置, 即电阻值小时, 黑表笔所接的电极 (引脚) 为二极管的正极, 另一电极 (引脚) 为负极。如果所测的正、反向电阻值均为无穷大, 则表明该二极管内部断路; 如果所测的正、反向电阻值均为零或很小, 则表明该二极管内部短路; 如果所测的正、反向电阻值接近, 则为该二极管性能严重恶化, 不能正常使用。

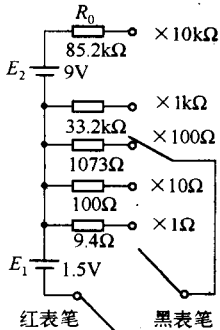


图 1-9 500HA 型万用表欧姆挡的简化电路图

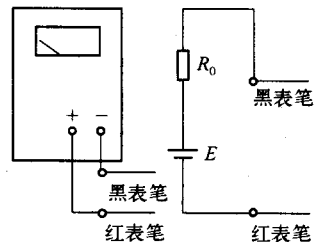


图 1-10 指针式万用表欧姆挡等效电路



NPN 型三极管和 PNP 型三极管的结构分别如图 1-11 (a), (b) 所示。根据指针式万用表的欧姆挡等效电路和三极管的结构, 可用该万用表判断三极管的类型 (NPN 型或 PNP 型) 和 3 个电极等。其判断原理和方法如下。

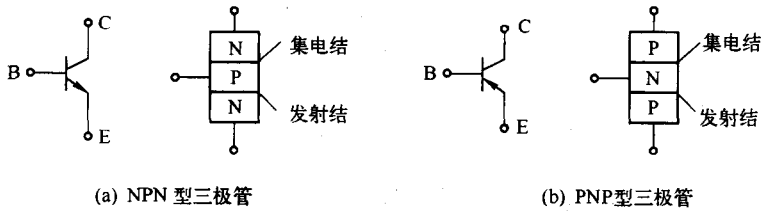


图 1-11 三极管的结构

### 1) 判断基极 B 和晶体管类型

将指针式万用表的功能选为“ $\Omega$ ”的测量处, 量程拨到  $R \times 1k\Omega$  挡。若把黑表笔接到某一假设为基极的引脚上, 红表笔分别接到其余两只引脚上, 如果两次测得的电阻值都很大 (或者都较小), 然后把红表笔接到假设的基极引脚, 黑表笔分别接到其余两只引脚, 两次所测得电阻值都较小 (或者都很大), 则可确定所假设的基极是正确的。即简称为“两大两小”或“两小两大”为假设正确。如果两次测得的电阻值为一大一小, 则可确定假设错了。这时就需要重新假设一引脚为基极, 再重复上述测试直到正确找到基极。基极确定的同时也可判定三极管的类型: 如果是黑表笔接基极, 红表笔分别接其他两极时所测的电阻值都较小, 则说明该三极管为 NPN 型; 反之则为 PNP 型。

### 2) 判断集电极 C 和发射极 E

此项判断须在完成前项判断 (即已确定三极管类型和基极) 的基础上进行。现以 NPN 型三极管为例进行判断。其判断三极管集电极 C 和发射极 E 的 4 种连接方法如图 1-12 所示。由图 1-12 和三极管的工作原理可知, 正常情况下, 只有按图 1-12 (a) 连接时, 流过表头的电流最大, 即电阻值最小。具体判断方法是: 先把指针式万用表拨到  $R \times 1k\Omega$  挡, 再把黑表笔接到假定的 C 极, 红表笔接到假定的 E 极, 并用两只手分别捏住 B、C 两电极 (但绝不能使 B、C 直接接触)。通过人体, 相当于 B、C 之间接入偏置电阻  $R_B$ , 读出并记下所测的电阻值, 然后将红、黑表笔对换位置重测重读, 在总共 4 次 (4 种接法各测一次) 测量读数中电阻值最小的一次, 黑表笔所接的管脚为集电极 C, 红表笔所接的管脚为发射极 E。若 4 次测量的电阻值差别不大, 说明该三极管性能严重恶化或损坏。有条件时, 可用  $100k\Omega$  左右的电阻作为  $R_B$  接入图 1-12 的等效电路中进行测量判断, 这样测试更为稳定可靠。

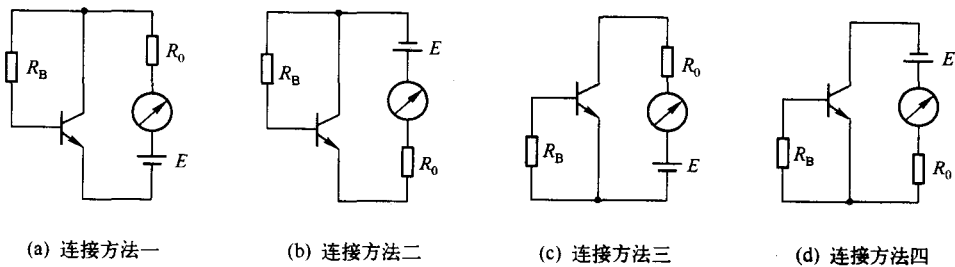


图 1-12 判断三极管集电极 C 和发射极 E 的 4 种连接方法