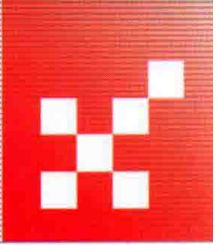




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



# 电子技术基础实验

● 李国丽 主编

第2版



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 电子技术基础实验

第2版

主编 李国丽

参编 刘春 朱维勇



机械工业出版社

随着电子技术的快速发展,各种新的电子器件不断涌现,在上一版的基础上,我们总结了多年的课程教学经验,对本教材进行了改版。

全书共分五章,按基础训练实验、模拟电路综合性实验、数字电路综合性实验、数模混合电路综合性实验四个层次组织内容。基本训练实验含模拟电子技术基础和数字电子技术基础两部分内容;综合性实验中引入了Multisim仿真实验的内容,加强了EDA技术在课程实验中的应用,体现了实验中软硬件的有机结合;并对近年来大学生电子设计竞赛中常用的信号产生、放大、滤波和开关电源等典型应用电路进行了介绍,以适应大学生课外科技活动的需求。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,可作为电气类、电子信息类及其他相近专业本科生的实验教材,也可作为大学生课外科技活动的辅导教材和有关工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验/李国丽主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2018.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-60891-2

I. ①电… II. ①李… III. ①电子技术-实验-高等学校-教材  
IV. ①TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第210318号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:徐凡 责任编辑:徐凡 张珂玲

责任校对:刘岚 封面设计:张静

责任印制:常天培

北京铭成印刷有限公司印刷

2019年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·409千字

标准书号:ISBN 978-7-111-60891-2

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

# 前 言

随着电子技术的快速发展,各种新的电子器件不断涌现,为了适应课程教学和大学生课外科技活动开展的需要,我们在上一版教材的基础上,修订了这本《电子技术基础实验》教材。

第1章为模拟电子技术基础基本训练实验,介绍了模拟电子技术中的基本实验和基本测试方法,对一些常用典型电路进行了分析与实验,共有12个基本实验。

第2章为数字电子技术基础基本训练实验,介绍了数字电子技术中的基本实验和基本测试方法,注重各种集成芯片的使用与实验,共有13个基本实验。

第3章为模拟电路综合性实验,共有9个实验内容,包括稳压电源、信号发生器、放大器、LM324应用电路和集成滤波芯片的典型应用等。其中,稳压电源包括线性直流稳压电源和直流开关稳压电源;信号发生器包括压控信号发生电路和集成函数信号发生器;放大器包括集成宽带放大器和集成增益可调放大器;LM324应用电路特别针对近年来全国大学生电子设计竞赛综合测评中的运算放大器单电源供电问题,给出了若干应用实例;集成滤波芯片则对高阶滤波芯片LTC14-100、LT6600-10、LTC1563-2、LTC1560-1、LTC1564等进行了应用介绍。

第4章为数字电路综合性实验,共有7个实验内容,介绍了用中、小规模数字集成芯片实现小规模数字系统的方法。

第5章为数模混合电路综合性实验,共有2个实验内容,介绍了一个简易水温控制系统和DDS信号发生器9854。

最后为附录,附录A介绍了本书所用EDA工具软件Multisim 14.0的使用方法;附录B给出了常用数字逻辑芯片引脚图。

本书的第1、2章针对“电子技术基础”课程教学阶段编写,第3~5章针对“电子技术课程设计”或大学生课外科技活动培训阶段编写,为了训练学生基本电子电路的设计调试能力,书中所有电路均使用分立元件或中小规模集成芯片完成,不涉及单片机或FPGA的内容。

为了强调仿真软件在电子电路设计中的作用,第3~5章的所有综合性实验,都尽可能在介绍硬件实验电路之前给出了Multisim仿真内容。

本书由李国丽、刘春、朱维勇编写,其中,第1章由刘春编写,第2章由朱维勇编写,第3章由李国丽编写,第4章由许家紫编写,第5章由鞠鲁峰编写,王秀芹、文彦、张云雷对书中综合性实验的内容做了大量验证工作。浙江大学王小海教授审阅了书稿,并提出了宝贵意见。在本书的编写过程中,参考了有关专家的教材和论文,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中难免存在不妥之处,欢迎读者批评指正。

# 目 录

## 前 言

<b>第 1 章 模拟电子技术基础训练实验</b> ····· 1	<b>第 3 章 模拟电路综合性实验</b> ······ 96
1.1 常用电子仪器的使用 ······ 1	3.1 线性直流稳压电源 ······ 96
1.2 晶体管共射极放大电路 ······ 8	3.2 串联型开关稳压电源 ······ 106
1.3 射极输出器 ······ 12	3.3 集成开关稳压器 ······ 113
1.4 场效应晶体管放大器 ······ 15	3.4 压控方波-三角波信号发生器 ······ 118
1.5 负反馈放大器 ······ 18	3.5 LM324 单电源供电方式的应用电路 ··· 121
1.6 差动放大器 ······ 22	3.6 典型集成低通滤波芯片的应用 ······ 129
1.7 集成运算放大器的基本运算电路 ······ 27	3.7 低频函数信号发生器 ······ 139
1.8 RC 正弦波振荡器 ······ 32	3.8 宽带放大器 ······ 143
1.9 LC 正弦波振荡器 ······ 34	3.9 增益可调放大器 ······ 149
1.10 信号发生器 ······ 37	<b>第 4 章 数字电路综合性实验</b> ······ 154
1.11 有源滤波器 ······ 40	4.1 多位数码管的动态扫描驱动电路····· 154
1.12 低频功率放大器——OTL 功率 放大器 ······ 44	4.2 定时电路 ······ 159
<b>第 2 章 数字电子技术基础基本       训练实验</b> ······ 48	4.3 竞赛抢答器 ······ 165
2.1 门电路及参数测试 ······ 48	4.4 数字频率计 ······ 172
2.2 半加器、全加器 ······ 52	4.5 多功能数字钟 ······ 182
2.3 数据选择器 ······ 57	4.6 交通灯控制器 ······ 192
2.4 数值比较器 ······ 60	4.7 乒乓球比赛游戏机 ······ 200
2.5 译码器和 7 段字符显示器····· 62	<b>第 5 章 数模混合电路综合性实验</b> ······ 208
2.6 锁存器和触发器 ······ 66	5.1 简易水温控制系统 ······ 208
2.7 中规模计数器 ······ 71	5.2 DDS 信号发生器 ······ 215
2.8 寄存器和移位寄存器 ······ 73	<b>附录</b> ······ 222
2.9 555 定时器及其应用····· 77	附录 A Multisim 14.0 使用手册 ······ 222
2.10 CMOS 集成电路实验 ······ 81	附录 B 常用数字逻辑芯片引脚图 ······ 253
2.11 半导体存储器 ······ 85	<b>参考文献</b> ······ 260
2.12 集成数-模转换器 (DAC) ······ 88	
2.13 逐次渐进型模-数转换器 (ADC) ··· 92	

# 第 1 章 模拟电子技术基础训练实验

## 1.1 常用电子仪器的使用

### 1.1.1 实验目的

1. 学习模拟电子电路实验中常用的电子仪器——函数信号发生器、交流毫伏表、示波器、直流稳压电源、万用表等的主要技术指标、性能及正确使用方法。
2. 初步掌握用示波器观察各种信号波形和读取波形参数的方法。

### 1.1.2 实验设备与器件

1. 直流稳压电源
2. 函数信号发生器
3. 示波器
4. 交流毫伏表
5. 万用表
6. 二极管 DIN4148 1 只
7. 2k $\Omega$  电阻 1 只

### 1.1.3 实验原理

在模拟电子电路实验中，经常使用的电子仪器有示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表等，它们和万用表一起，可以完成对模拟电子电路的静态和动态工作情况的测试。

在实验中，各种电子仪器要综合使用，可按照信号流向，以连线简捷、调节顺手、观察及读取参数方便等原则进行合理布局，各仪器与被测实验装置之间的布局与连接如图 1-1-1

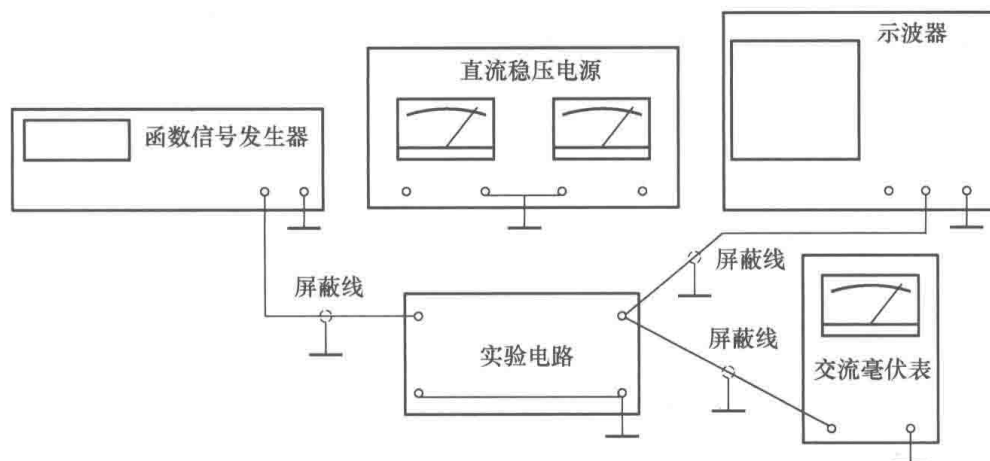


图 1-1-1 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

所示。接线时应注意，为防止外界干扰，各仪器的公共接地端应连接在一起，称共地。信号源和交流毫伏表的引线通常用屏蔽线或专用电缆线，示波器接线使用专用电缆线，直流电源的接线用普通导线。

### 1. 示波器

示波器的产品类型有很多，本书以 TBS1000B - EDU 系列数字存储示波器为例，简单介绍其基本操作界面。

在如图 1-1-2 所示的面板中，按下前面板上的菜单按钮，示波器将在显示屏的右侧显示相应的菜单。该菜单会显示直接按下显示屏右侧未标记的选项按钮时可用的选项。

(1) 垂直控制 垂直控制面板布局如图 1-1-3 所示。

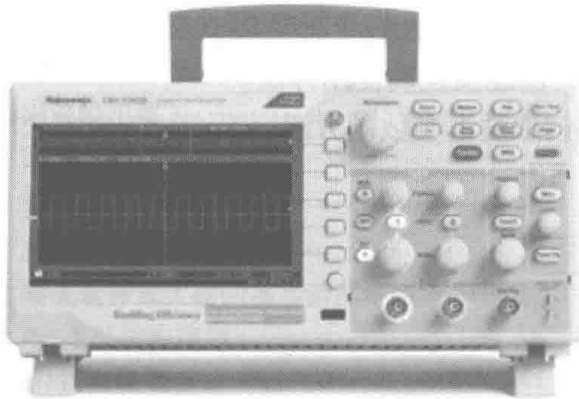


图 1-1-2 TBS1000B - EDU 示波器

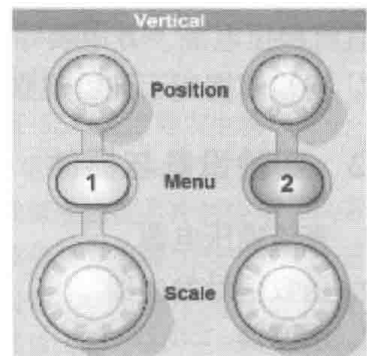


图 1-1-3 垂直控制面板布局

Position (位置) 旋钮 (1&2): 可垂直定位波形。

Menu (菜单) 按钮 (1&2): 显示“垂直”菜单选择项并打开或关闭对通道波形的显示。

Scale (标度) 旋钮 (1&2): 选择垂直刻度系数。

(2) 水平控制 水平控制面板布局如图 1-1-4 所示。

Position (位置) 旋钮: 调整所有通道和数学波形的水平位置。这一控制的分辨率随时基设置的不同而改变。

Acquire (采集) 按钮: 显示采集模式——采样、峰值检测和平均。

Scale (标度) 旋钮: 选择水平时间/格 (标度因子)。

(3) 触发控制 触发控制面板布局如图 1-1-5 所示。

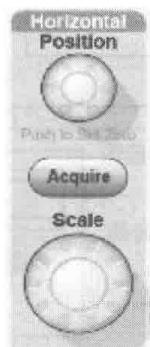


图 1-1-4 水平控制面板布局



图 1-1-5 触发控制面板布局

**Trigger - Menu (触发菜单) 按钮:** 当按下一次时, 将显示触发菜单。当按住超过 1.5s 时, 将显示触发视图, 即显示触发波形而不是通道波形。使用触发视图可查看诸如“耦合”之类的触发设置对触发信号的影响。释放该按钮将停止显示触发视图。

**Level (电平) 旋钮:** 当使用边沿触发或脉冲触发时, “电平”旋钮设置采集波形时信号所必须越过的幅值电平。按下该旋钮可将触发电平设置为触发信号峰值的垂直中点 (设置为 50%)。

**Force Trig (强制触发) 按钮:** 无论示波器是否检测到触发信号, 都可以使用此按钮完成波形采集。此按钮可用于单次数列采集和“正常”触发模式。(在“自动”触发模式下, 如果未检测到触发信号, 示波器会定期自动强制触发。)

(4) 菜单和控制按钮 菜单和控制按钮如图 1-1-6 所示。

**Multipurpose (多用途) 旋钮:** 通过显示的菜单或选定的菜单选项来确定功能。当旋钮处于激活状态时, 相邻的 LED 变亮。

**Cursor (光标):** 显示 Cursor (光标) 菜单。离开 Cursor (光标) 菜单后, 光标保持可见 (除非“类型”选项设置为“关闭”), 但不可调整。

**Measure (测量):** 显示“自动测量”菜单。

**Help (帮助):** 显示 Help (帮助) 菜单。

**Run/Stop (运行/停止):** 连续或停止采集波形。

**Save/Recall (保存/调出):** 显示设置和波形的 Save/Recall (保存/调出) 菜单。

**DefaultSetup (默认设置):** 调出厂家设置。

**Single (单次):** (单次数列) 采集单个波形, 然后停止。

**Autoset (自动设置):** 自动设置示波器控制状态, 以产生适用于输出信号的显示图形。当按住超过 1.5s 时, 会显示“自动量程”菜单, 并激活或禁用自动量程功能。

**Utility (辅助功能):** 显示 Utility (辅助功能) 菜单。

(5) 输入连接器 输入连接器如图 1-1-7 所示。

**1&2:** 用于显示波形的输入连接器。

**Ext Trig (外部触发):** 外部触发信号源的输入连接器。使用“Trigger Menu (触发菜单)”选择 Ext 或 Ext/5 触发信号源。按住“触发菜单”按钮可查看触发视图, 其将显示诸如“触发耦合”之类的触发设置对触发信号的影响。

## 2. 函数信号发生器

函数信号发生器的产品型号有很多, 以 TFG1000 系列 DDS 函数信号发生器为例, 简单介绍其基本操作界面。

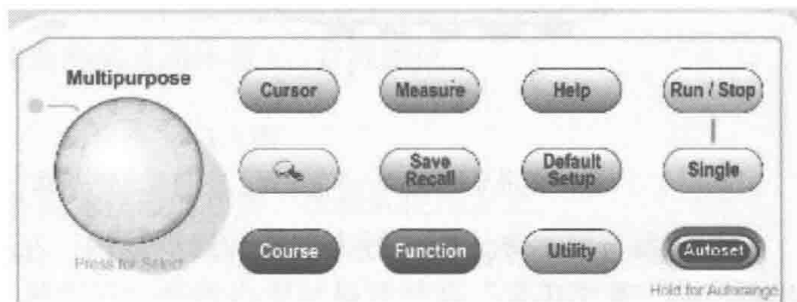


图 1-1-6 菜单和控制按钮



图 1-1-7 输入连接器

(1) 前面板 前面板如图 1-1-8 所示。

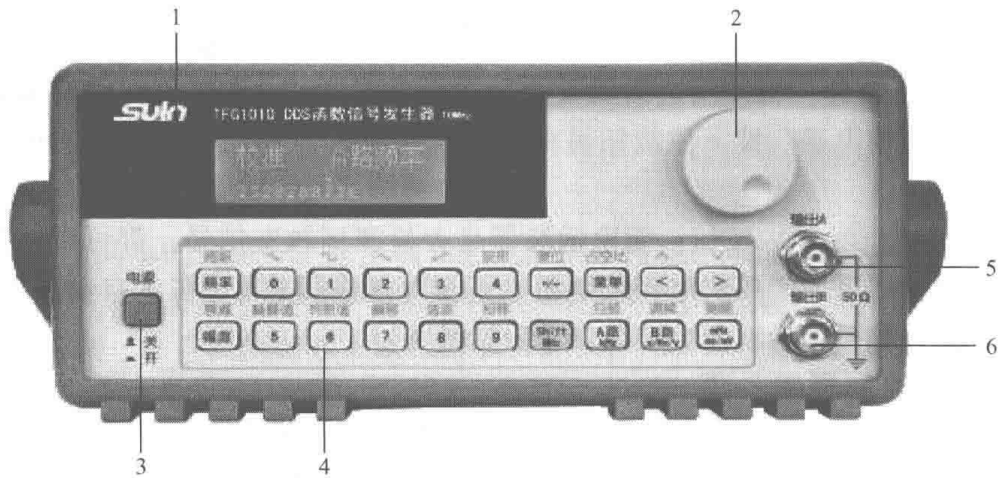


图 1-1-8 前面板

1—液晶显示屏 2—调节旋钮 3—电源 4—键盘 5—输出 A 6—输出 B

(2) 显示 显示屏上面一行为功能和选项显示，左边两个汉字显示当前功能，在“**A 路单频**”和“**B 路单频**”功能时显示输出波形。右边四个汉字显示当前选项，在每种功能下各有不同的选项，如表 1-1-1 所示。表中带阴影的选项为常用选项，可使用面板上的快捷键直接选择，仪器能够自动进入该选项所在的功能。不带阴影的选项较不常用，需要首先选择相应的功能，然后使用“菜单”键循环选择。显示屏下面一行显示当前选项的参数值。

(3) 键盘 仪器前面板上共有 20 个按键（见前面板图），键体上的字表示该键的基本功能，直接按键执行基本功能。键上方的字表示该键的上档功能，首先按“Shift”键，显示屏右下方显示“S”，再按某一键可执行该键的上档功能。20 个按键的基本功能如下。

“频率”“幅度”键：频率和幅度选择键。

“0”“1”“2”“3”“4”“5”“6”“7”“8”“9”键：数字输入键。

“./-”键：在数字输入之后输入小数点，在使用“偏移”设置功能时输入负号。

“MHz”“kHz”“Hz”“mHz”键：双功能键，在数字输入之后执行单位键功能，同时作为数字输入的结束键。不输入数字，直接按“MHz”键执行“Shift”功能，直接按“kHz”键执行“A 路”功能，直接按“Hz”键执行“B 路”功能，直接按“mHz”键可以循环开启或关闭按键时的提示声响。

“菜单”键：用于选择项目表中不带阴影的选项。

“<”“>”键：光标左右移动键。

### 3. 交流毫伏表

交流毫伏表用于测量正弦交流电压的有效值。DF2175A 型号的交流电压表适用于 5Hz ~ 2MHz、30mV ~ 300V 的交流信号电压有效值的测量。

为了防止过载而损坏，测量前一般先把量程开关置于量程较大位置处，然后在测量中逐档减小量程。

另外，交流毫伏表在接通电源后，要将输入端短接，进行调零，然后断开短路线，才可

开始进行测量。

#### 4. 直流稳压电源

DF1731SD2A 型直流稳压电源由两路直流电源组成，每路输出电压为  $0 \sim 30\text{V}$ ，且连续可调。其工作方式如下：

- 1) 两路电压源单独使用，同时输出两路电压。
- 2) 两路电压源串联使用，两路输出电压相加。
- 3) 两路电压源并联使用，两路输出电流相加。

注意，红端是输出电压的正端，黑端是输出电压的负端。

#### 5. 万用表

VC9802A 型数字万用表，可以根据需要测量直流电压、交流电压、直流电流、交流电流及电阻值，并可以进行二极管通断测试及晶体管  $h_{FE}$  参数测试。

### 1.1.4 预习要求

1. 认真阅读实验原理，了解各实验仪器的功能、面板的使用方法。
2. 已知  $C = 0.01\mu\text{F}$ 、 $R = 10\text{k}\Omega$ ，计算如图 1-1-10 所示的 RC 移相网络的阻抗角  $\phi$ 。
3. 预习实验内容，自拟记录测量二极管限幅电路输入、输出电压波形，把结果填入表 1-1-1 中。

表 1-1-1 功能选项表

功 能	A 路单频正弦	B 路单频正弦	频率扫描扫频	频率调制调频	外测频率测频
选项	A 路频率	B 路频率	始点频率	载波频率	外测频率
	A 路周期	B 路周期	终点频率	载波幅度	闸门时间
	A 路幅度	B 路幅度	步进频率	调制频率	
	A 路波形	B 路波形	扫描方式	调频频偏	
	A 路占空比	B 路占空比	间隔时间	调制波形	
	A 路衰减	B 路谐波			
	A 路偏移	B 路相移			
	步进频率				
	步进幅度				

### 1.1.5 实验内容

#### 1. 信号发生器、示波器、交流毫伏表使用练习

接线如图 1-1-9 所示，把示波器与函数信号发生器相连。

1) 用函数信号发生器产生输出信号。用函数信号发生器产生  $1\text{kHz}$  的正弦波（或  $10\text{kHz}$ ）信号。

2) 用交流毫伏表测量正弦波信号电压，把测量结果填入表 1-1-2 中。

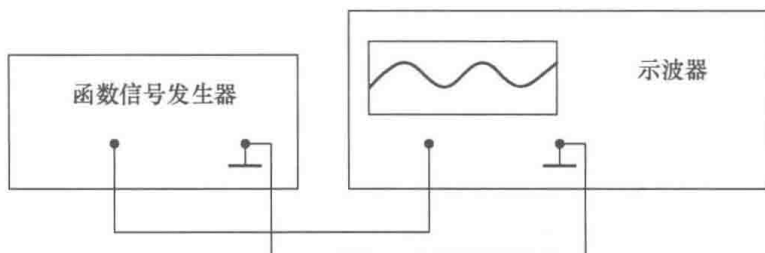


图 1-1-9 示波器与函数信号发生器连接图

表 1-1-2 信号发生器输出信号测量数据

信号频率/kHz	毫伏表读数/mV	示波器读数	
		周 期	幅 值
1.2	40		
35	80		
120	200		

注：以上波形参数也可以在数字存储示波器上直接读取。

3) 正确调节示波器，使示波器显示出稳定的信号波形。

调节示波器，由“扫描”所指值 (TIME/DIV) 和一个波形周期的格数决定信号周期  $T$ ，即

$$T = \text{所占格数} \times (\text{TIME/DIV})$$

由“幅度”所指值和波形在垂直方向显示的坐标 (格数) 决定信号幅值，即

$$\text{幅值} = \text{所占格数} \times (\text{VOLTS/DIV})$$

而信号有效值为

$$\text{有效值} = \text{幅值} / \sqrt{2}$$

## 2. 用示波器测量两波形间的相位关系

按图 1-1-10a 连接实验电路，将函数信号发生器的输出电压调至频率为 1kHz、幅值为 2V 的正弦波，经 RC 移相网络获得频率相同但相位不同的两路信号  $v_1$  和  $v_2$ ，分别加到示波器的 CH<sub>1</sub> 和 CH<sub>2</sub> 通道输入端。

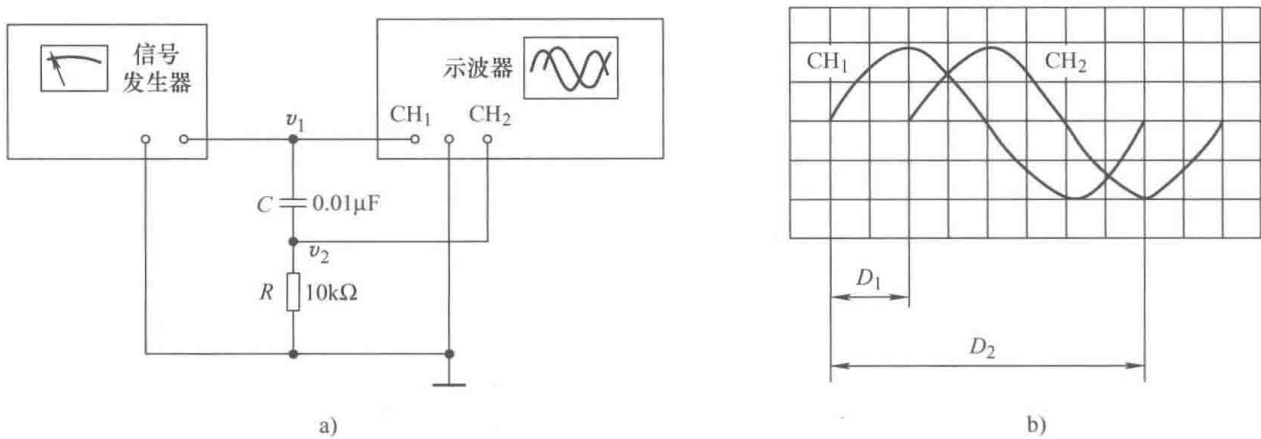


图 1-1-10 两波形间相位差测量电路

调节示波器，显示出  $v_1$  和  $v_2$  两个相位不同的正弦波形如图 1-1-10b 所示，则两波形相位差 (即 RC 移相网络的阻抗角) 为

$$\phi = \frac{D_1}{D_2} \times 360^\circ$$

式中  $D_1$ ——两波形在  $x$  轴方向的格数差；

$D_2$ ——波形一周所占格数。

为读数和计算方便，使波形一周占整数格。将相关数据填入表 1-1-3 中。

表 1-1-3 波形相位差数据表

一周期格数 $D_2$	两波形在 $x$ 轴方向的格数差 $D_1$	相位差 $\phi/(^\circ)$	
		实测值	计算值

### 3. 二极管限幅电路的测试

按图 1-1-11 连接实验电路，将函数信号发生器的输出电压调至频率为 1kHz、幅值为  $3\sqrt{2}\text{V}$ （有效值为 3V）的正弦波接于电路的输入端，电压  $V_{\text{REF}}$  由直流稳压电源提供，并用数字万用表的直流档测量，使  $V_{\text{REF}} = 2\text{V}$ 。用示波器观察输入电压  $v_i$ 、输出电压  $v_o$  的波形，并记录于自拟的实验表格中。

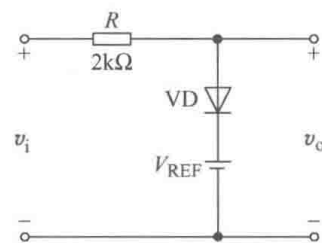


图 1-1-11 二极管限幅电路

#### 1.1.6 实验报告要求

1. 分析表 1-1-2 中的数据，总结测量信号频率（周期）、幅值（有效值）的最佳方式。
2. 分析  $RC$  移相网络的工作原理，理论计算其阻抗角  $\phi$ ，画出实验中用示波器观察到的波形，将实测的相位差与理论值进行比较，分析产生误差的原因。
3. 分析图 1-1-11 二极管限幅电路的工作原理，画出实测的  $v_i$ 、 $v_o$  的波形，与理论分析做比较。
4. 总结各种常用电子仪器的使用方法。

#### 1.1.7 思考题

1. 用示波器观察信号波形时，怎样调节才能达到下列要求？
  - 1) 波形清晰。
  - 2) 波形稳定。
  - 3) 改变示波器屏幕上可视波形的周期数。
  - 4) 改变示波器屏幕上所视波形的幅度。
2. 用双踪方式显示波形，并要求比较两者的相位时，应怎样调节？
  - 1) 垂直方式显示选择。
  - 2) 触发方式选择。
  - 3) 触发信号选择。

#### 1.1.8 注意事项

1. 函数信号发生器在作为信号源使用时，它的输出端不允许短路。
2. 在使用交流毫伏表测量时，为了防止其过载而损坏，测量前一般先将量程开关置于量程较大位置处，然后在测量中逐档减小量程；读完数据后，再把量程开关拨回量程较大位置处，然后断开连线。
3. 拨动仪器面板上的各旋钮时，用力要适当，不可过猛，以免造成机械损坏。

## 1.2 晶体管共射极放大电路

### 1.2.1 实验目的

1. 熟悉放大器静态工作点的调试方法，分析静态工作点对放大器性能的影响。
2. 掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压及通频带的测试方法。
3. 熟悉常用电子仪器的使用方法。

### 1.2.2 实验设备与器件

1. 直流稳压电源
2. 函数信号发生器
3. 示波器
4. 万用表
5. NPN 型晶体管 3DG6 1 只
6. 电阻器、电容器若干

### 1.2.3 实验原理

#### 1. 实验电路

实验电路如图 1-2-1 所示，电路采用自动稳定静态工作点的分压式射极偏置电路，温度稳定性较好。其中晶体管选用的是  $I_{CEO}$  较小的硅管 3DG6，电位器  $R_w$  用来调整静态工作点。

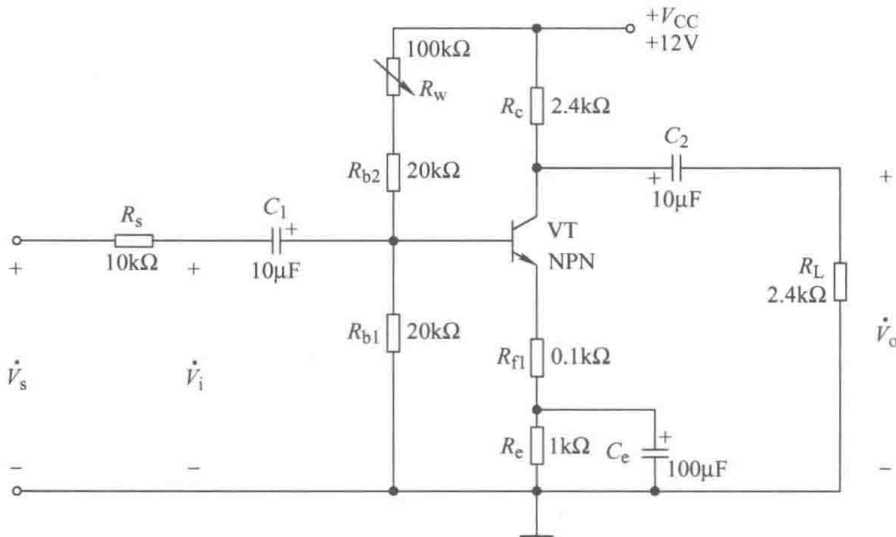


图 1-2-1 共射极放大电路

#### 2. 静态工作点

在图 1-2-1 电路中，当流过偏置电阻  $R_{b1}$  和  $R_{b2}$  的电流远大于晶体管的基极电流  $I_B$  时（一般 5 ~ 10 倍），则它的静态工作点可用下式估算：

$$V_B \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2} + R_w} V_{CC}$$

$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_{fl} + R_e} \approx I_C$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_c + R_{fl} + R_e)$$

实验中, 测量放大器的静态工作点的过程, 应在输入信号  $\dot{V}_i = 0$  的情况下进行, 也就是将放大器输入端与地端短接, 为了避免断开集电极测量  $I_C$ , 可以用直流电压表测出晶体管各个电极的对地电位  $V_E$ 、 $V_C$ 、 $V_B$ , 然后由下列公式计算出静态工作点的各个参数:

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_c}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

调节偏置电阻  $R_w$  可以改变静态工作点。

为了减小误差, 提高测量精度, 应选用内阻较高的直流电压表测量各电极电位。

### 3. 放大器动态性能指标

放大器动态性能指标包括电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压等参数。

(1) 电压放大倍数 电压放大倍数是指输出电压和输入电压之比, 即

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = - \frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_{fl}}$$

$$r_{be} = 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_E \text{mA}}$$

电源电压放大倍数为输出电压和信号源电压之比, 即

$$\dot{A}_{vs} = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_s} = \dot{A}_v \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

在实验中, 这两个放大倍数可由交流毫伏表直接测出  $\dot{V}_s$ 、 $\dot{V}_i$ 、 $\dot{V}_o$  的有效值, 按下式求出:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

$$A_{vs} = \frac{V_o}{V_s}$$

(2) 输入电阻 输入电阻  $R_i$  的大小决定放大电路从信号源或前级放大电路获取信号电压的多少, 如图 1-2-1 所示电路的输入电阻为

$$R_i = R_{b1} // (R_{b2} + R_w) // [r_{be} + (1 + \beta) R_{f1}]$$

在实验中,为了测量放大器的输入电阻,将放大器等效为如图 1-2-2 所示的形式,这样,通过测量信号源电压有效值  $V_s$  和输入电压有效值  $V_i$ ,可以计算输入电阻为

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{V_{R_s}/R_s} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R_s$$

(3) 输出电阻 输出电阻  $R_o$  的大小表示放大电路带负载的能力。如图 1-2-1 所示电路的输出电阻为

$$R_o \approx R_c$$

在实验中,可根据图 1-2-2 所示的等效电路,通过测量空载电压有效值  $V_{o1}$  和带负载电压有效值  $V_{o2}$  来求得输出电阻,  $R_o$  为

$$R_o = \frac{V_{R_o}}{I_o} = \frac{V_{o1} - V_{o2}}{V_{o2}/R_L} = \frac{V_{o1} - V_{o2}}{V_{o2}} R_L = \left( \frac{V_{o1}}{V_{o2}} - 1 \right) R_L$$

测量输出电阻时应注意,  $R_L$  接入前、后输入信号的大小保持不变。

(4) 最大不失真输出电压  $V_{opp}$  (最大动态范围) 放大电路的最大不失真输出电压是衡量放大电路输出电压幅值能够达到的最大限度的重要指标,如果超出这个限度,输出波形将产生明显失真。

在实验中,为了得到最大动态范围,首先应将静态工作点调在交流负载线的中点,利用示波器或交流毫伏表可测得放大电路的最大不失真输出电压  $V_{opp}$ 。

(5) 放大器频率特性 放大器的频率特性是指放大器的电压放大倍数  $\dot{A}_v$  与输入信号频率  $f$  之间的关系,分幅频特性和相频特性。在幅频特性曲线上设  $A_{vm}$  为中频电压放大倍数,通常规定电压放大倍数随着信号频率的变化(下降或上升)下降到  $0.707A_{vm}$  时所对应的频率分别为下限频率  $f_L$  和上限频率  $f_H$ ,通频带为  $B_W = f_H - f_L$ 。

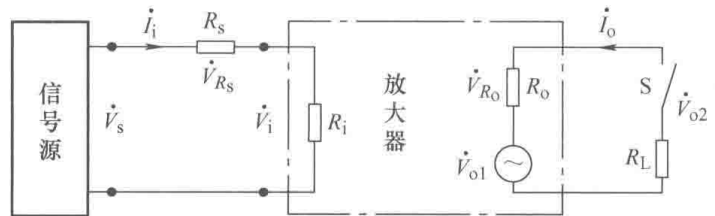


图 1-2-2 放大器等效电路图

## 1.2.4 预习要求

1. 复习教材中有关单管共射极放大电路的工作原理,根据图 1-2-1 所示实验电路估算出放大器的静态工作点、电压放大倍数  $A_v$ 、 $A_{vs}$ 、输入电阻  $R_i$  和输出电阻  $R_o$ 。

2. 预习实验内容,了解测试单管共射极放大电路的静态工作点及动态性能指标的方法。

3. 复习示波器、函数信号发生器、晶体管毫伏表等实验仪器的使用方法。

## 1.2.5 实验内容

### 1. 静态工作点的调整和测量

实验电路如图 1-2-1 所示,  $+V_{CC}$  由直流稳压电源提供。令  $\dot{V}_s = 0$  (即不接信号发生器,将放大器输入端与地短路),当  $V_{CC} = 12V$  时,调节  $R_w$ ,使  $V_E = 2.2V$  左右,用万用表直流电压档测量  $V_B$  和  $V_C$  (对地电位),计算  $V_{CE}$ 、 $V_{BE}$ 、 $I_C$ 、 $I_B$ ,填入表 1-2-1 中。

表 1-2-1 静态工作点数据表

测量值			计算值			
$V_B/V$	$V_E/V$	$V_C/V$	$V_{CE}/V$	$V_{BE}/V$	$I_C/A$	$I_B/A$

## 2. 测量动态参数 $A_v$ 、 $A_{vs}$ 、 $R_i$ 、 $R_o$

如图 1-2-1、图 1-2-2 所示,保持静态工作点的  $R_w$  不变,调节信号发生器,使放大电路输入正弦波信号的频率  $f=1\text{kHz}$ ,有效值  $V_i=100\text{mV}$ ,测量  $V_s$ 、电路空载输出电压  $V_{o1}$  和负载输出电压  $V_{o2}$ ,并计算  $A_v$ 、 $A_{vs}$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ ,填入表 1-2-2 中。用示波器观察输入、输出波形,并分析它们的相位关系。

表 1-2-2 动态参数数据表

测量值				计算值					
$V_s/mV$	$V_i/mV$	$V_{o1}/mV$ ( $R_L=\infty$ )	$V_{o2}/mV$ ( $R_L=2.7k\Omega$ )	$A_{v1}$	$A_{v2}$	$A_{vs1}$	$A_{vs2}$	$R_i/\Omega$	$R_o/\Omega$

## 3. 最大不失真输出电压 $V_{opp}$ 的测量

在放大器正常工作的情况下,逐步增大输入信号的幅度,并同时调节  $R_w$  (改变静态工作点),用示波器观察输出电压的波形,当输出波形同时出现削底和缩顶失真时,说明静态工作点已调在交流负载线的中点。然后反复调整输入信号,使波形输出幅度最大,且无明显失真,此时,用交流毫伏表测出  $V_o$  (有效值),则输出信号动态范围  $V_{opp}=2\sqrt{2}V_o$ ,或在示波器上直接读出  $V_{opp}$ 。

## 4. 放大器频率特性的测量

以上面实验内容 3 测出的输出电压有效值  $V_o$  为基准,保持  $V_s$  不变,增大输入信号频率,使  $V_o$  下降到  $0.707V_o$  时,对应的信号频率为上限频率  $f_H$ 。按照同样的方法,减小输入信号频率,可以测到下限频率  $f_L$ ,最后计算出带宽  $B_w$ 。

## 5. 观察静态工作点对输出波形的影响

调节信号发生器,使放大电路输入正弦波信号的频率  $f=1\text{kHz}$ ,有效值  $V_i=100\text{mV}$ ,用示波器观察输出波形。顺时针调节  $R_w$ ,使输出电压失真,用万用表的直流电压档测量此时的  $V_{CE}$  值,记录失真波形于表 1-2-3 中;然后保持输入信号不变,逆时针调节  $R_w$ ,使输出波形出现失真,记录失真波形和此时的  $V_{CE}$  值(注:每次测  $V_{CE}$  值时都要使信号发生器的输出为零),分析两种情况下的失真类型。

表 1-2-3 失真记录

$R_w$	$V_{CE}/V$	输出电压的波形	失真类型
顺时针			
逆时针			

### 1.2.6 实验报告要求

1. 简述图 1-2-1 所示实验电路的特点，列表整理测量结果，并把实测的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻之值与理论计算值进行比较，分析产生误差的原因。
2. 讨论静态工作点变化对放大器输出波形的影响。
3. 分析总结静态工作点的位置与输出电压波形的关系。

### 1.2.7 思考题

1. 能否用直流电压表直接测量晶体管的  $V_{BE}$ ？为什么实验中要采用测  $V_B$ 、 $V_E$  再间接算出  $V_{BE}$  的方法？
2. 改变静态工作点对放大器的输入电阻  $R_i$  是否有影响？改变外接电阻  $R_L$  对输出电阻  $R_o$  是否有影响？
3. 电路的静态工作点正常，如果发现电压增益较低（只有几倍），有可能是哪几个元件出了故障？

### 1.2.8 注意事项

1. 在测试中，应将函数信号发生器、交流毫伏表、示波器及实验电路的接地端连接在一起。
2. 由于函数信号发生器有内阻，而放大电路的输入电阻  $R_i$  不是无穷大，测量放大电路输入信号  $V_i$  时，应将放大电路与函数信号发生器连接上再测量，避免造成误差。

## 1.3 射极输出器

### 1.3.1 实验目的

1. 进一步学习放大器各项参数的测试方法。
2. 掌握射极输出器的特性及测试方法。
3. 了解射极输出器的应用。

### 1.3.2 实验设备与器件

1. 直流稳压电源
2. 函数信号发生器
3. 示波器
4. 交流毫伏表
5. 万用表
6. NPN 型晶体管 3DG6 1 只
7. 电阻器、电容器若干

### 1.3.3 实验原理

射极输出器的输出信号取自发射极，它是一个电压串联负反馈放大电路，具有输入阻抗