



普通高等教育“十二五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

电子线路实验教程

■ 王建新 吴少琴 刘光祖 姜 萍 编著

 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>

普通高等教育“十二五”规划教材

电子电气基础课程规划教材

电子线路实验教程

王建新 吴少琴 刘光祖 姜 萍 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据电子技术实验教学要求编写。全书共 6 章, 主要内容包括: 模拟电子线路实验、数字电路实验、高频电子线路实验、电子线路计算机辅助设计工具、EDA 实验和电子线路综合设计。本书注重模拟电子线路、数字电路以及高频电子线路实验教学的基本知识和基本技能训练, 并涵盖了基础型、综合设计型以及 EDA 实验三大方面, 对每个实验的实验原理、实验内容、实验步骤等均进行了详尽的阐述。

本书可以作为高等院校电子信息类及相关专业本科生的实验教材, 也可作为课程设计、EDA 实验和开放性综合实验的实践教材, 同时可供从事电子工程设计的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

电子线路实验教程 / 王建新等编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.2

ISBN 978-7-121-25186-3

I. ①电… II. ①王… III. ①电子电路—实验—高等学校—教材 IV. ①TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 297890 号

责任编辑: 韩同平

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

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: 12.75 字数: 320 千字

版 次: 2015 年 2 月第 1 版

印 次: 2015 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 29.90 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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

电子线路课程是高等工科院校一门重要的技术基础课程。为了培养高素质的专业技术人才，在理论教学的同时，必须十分重视和加强实验教学环节。如何在实验教学过程中，培养学生的实践能力，独立分析问题和解决问题的能力，创新思维能力和理论联系实际的能力，以及书面表达能力，是高等工科院校着力探索与实践的重大课题。

本书是根据教学大纲的要求，适应当前教学改革的需要，总结了近几年来实验教学改革的经验而编写的。全书在实验的安排上既考虑了与理论教学保持同步，又考虑了培养学生能力的循序渐进的过程，采用了从验证到设计再到综合型设计的教学模式，有利于在培养学生基本实践能力的基础上，培养他们的创新意识和创新能力。

全书共 6 章。第 1 章模拟电子线路实验、第 2 章数字电路实验、第 3 章高频电子线路实验，这三章以电子线路的验证型实验和设计性实验为主要内容，目的是使学生掌握基本的电子线路实验方法，加深对理论内容的理解；第 4 章电子线路计算机辅助设计工具，主要介绍当前主流的计算机辅助设计工具，为 EDA 实验和综合实验提供技术平台；第 5 章 EDA 实验，以计算机仿真和设计实验为主要内容，目的是使学生将传统的电子线路设计思路和现代的电子线路设计手段相结合，培养他们的现代电子技术工程设计能力；第 6 章电子线路综合设计，给出七个综合设计性项目，目的是培养学生电子线路综合设计和创新思维的能力。

本书由王建新主编，负责全书的总体策划。第 1 章、4.1~4.3 节、5.1~5.3 节和 6.1~6.3 节由吴少琴编写，第 2 章由王建新编写，第 3 章和 6.7 节由刘光祖编写，4.4~4.6 节、5.4~5.7 节和 6.4~6.6 节由姜萍编写。

本书承蒙蒋立平教授审稿，花汉兵老师也对本书提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中的不妥及疏漏之处敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 模拟电子线路实验	(1)	4.3.5 参数扫描分析 (Parametric Analysis)	(100)
1.1 常用电子实验仪器的使用	(1)	4.3.6 温度分析(Temperature (Sweep))	(102)
1.2 基本放大电路	(5)	4.3.7 蒙特卡罗分析 (Monte Carlo)	(103)
1.3 射极输出器	(10)	4.3.8 最坏情况分析	(107)
1.4 负反馈放大电路	(12)	4.4 可编程逻辑器件简介	(109)
1.5 集成功率放大电路	(16)	4.4.1 概述	(109)
1.6 集成运算放大器应用	(19)	4.4.2 开发过程	(111)
1.7 直流稳压电源	(23)	4.5 Quartus II 的基本使用	(112)
第 2 章 数字电路实验	(27)	4.5.1 建立工程	(113)
2.1 逻辑门电路测试	(27)	4.5.2 建立设计文件	(116)
2.2 组合逻辑电路设计	(30)	4.5.3 编译设计文件	(118)
2.3 触发器功能及应用	(35)	4.5.4 仿真	(119)
2.4 计数器设计及应用	(39)	4.5.5 编程与下载	(121)
2.5 移位寄存器及应用	(44)	4.6 VHDL 语言简介	(123)
2.6 计数、译码与显示电路设计	(47)	4.6.1 VHDL 的基本结构	(123)
2.7 脉冲波形的产生及应用	(50)	4.6.2 VHDL 的基本语法	(129)
第 3 章 高频电子线路实验	(56)	4.6.3 VHDL 常用语句	(131)
3.1 高频小信号谐振放大实验	(56)	第 5 章 EDA 实验	(138)
3.2 电容反馈三点式振荡器实验	(58)	5.1 基本放大电路设计与仿真	(138)
3.3 高频谐振功率放大器实验	(61)	5.2 差分放大电路设计与仿真	(140)
3.4 晶体管混频实验	(64)	5.3 负反馈放大器设计与仿真	(143)
3.5 模拟乘法器混频实验	(67)	5.4 BCD 码转换电路设计	(146)
3.6 幅度调制与解调实验	(70)	5.5 步长可调的可逆计数器设计	(148)
3.7 变容二极管调频实验	(73)	5.6 多功能数字钟的 EDA 设计	(151)
第 4 章 电子线路计算机辅助 设计工具	(76)	5.7 正弦函数计算器设计	(154)
4.1 Cadence/OrCAD PSpice 16.6 简介	(76)	第 6 章 电子线路综合设计	(157)
4.2 Cadence/OrCAD PSpice 16.6 流程	(87)	6.1 阶梯波发生器设计	(157)
4.3 PSpice A/D 的分析方法	(92)	6.2 音频放大器设计	(160)
4.3.1 静态工作点 分析 (Bias Point)	(92)	6.3 数字温度计的设计	(167)
4.3.2 直流扫描分析	(94)	6.4 数字计时器设计	(176)
4.3.3 交流分析(AC Sweep)	(95)	6.5 直接数字频率合成器设计	(179)
4.3.4 瞬态分析(Time Domain (Transient))	(98)	6.6 基于 DDS 的 AM 信号产生 电路的设计	(184)
		6.7 正交发射机与正交接收机设计	(187)
		参考文献	(196)

第 1 章 模拟电子线路实验

1.1 常用电子实验仪器的使用

一、实验目的

1. 了解双踪示波器，低频信号发生器，直流稳压电源，交流毫伏表，万用表的简单工作原理和主要技术指标；
2. 掌握示波器测量交流电压幅度、频率及相位的基本方法；
3. 掌握信号发生器面板各按钮的作用和使用方法；
4. 掌握使用交流毫伏表定量测量电信号的方法；
5. 掌握直流稳压电源和万用表的使用方法。

二、实验原理

电子仪器是电子技术实验的基本工具，离开它们是无法工作的。常用的电子仪器主要分为两大类：

(1) 测量仪器：只有输入端口，输入量就是被测电路的电参量。例如：示波器、交流毫伏表、万用表等。

(2) 激励源仪器：只有输出端口，输出量就是被测电路需要的电参量。例如：信号发生器和直流稳压电源等。

在电子技术实验中，仪器常用来测量和定量分析电路的静态和动态工作状态，它们在测试电路中的接线情况如图 1.1.1 所示。接线时应注意，因大多数电子仪器的两个测量端点是不对称的，为了防止外界干扰，各仪器的公共地端应连接在一起，称为“共地”。

各仪器的主要用途如下：

(1) 直流稳压电源：为电路或电子设备提供直流电压，在电网电压或负载变化时，直流稳压电源仍基本保持其输出电压值不变。

(2) 信号发生器：也称为信号源，是输出各种电子信号的仪器，为电路提供各种频率和幅度的输入信号。通过面板上的选择按键可以产生正弦波、方波、三角波、调频、调幅、调相、FSK、ASK、PSK、线性频率扫描、对数频率扫描等信号的发生功能，并且可以实现函数信号任意个数发生功能。

(3) 示波器：一种综合性的电子图示测量仪器，不但能测量电信号的幅度，而且能

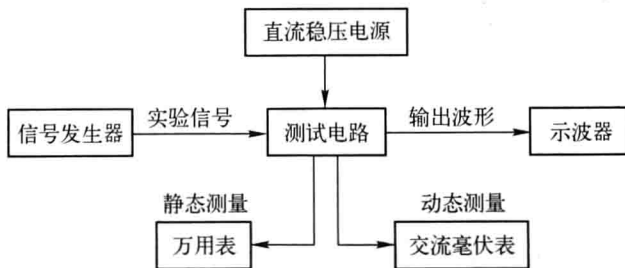


图 1.1.1 电子技术实验中常用电子仪器的连接图

测量电信号的频率、周期和相位，以及脉冲信号的上升时间、下降时间和脉宽等参数。示波器按照工作原理或信号处理方式的差异，可以分成模拟示波器和数字示波器两大类。模拟示波器采用的是模拟电路(示波管、其基础是电子枪)向屏幕发射电子，发射的电子经聚焦形成电子束，并打到屏幕上。而屏幕的内表面涂有荧光物质，这样电子束打中的点就会发出光来。数字示波器则是通过数据采集、A/D 转换、软件编程等一系列技术制造出来的高性能示波器，它在功能、精度和带宽等方面都优于传统的模拟示波器。数字示波器的基本框图如图 1.1.2 所示，输入的模拟信号通过 A/D 转换器转换成数字信号，并将数字信号存入数字存储器，通过 D/A 转换器将数字信号恢复成模拟信号，显示在示波管荧屏上。

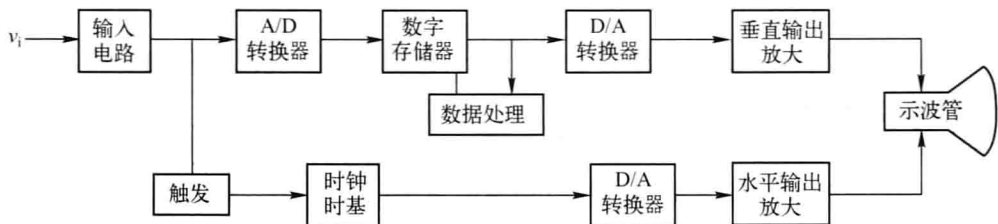


图 1.1.2 数字示波器的基本框图

(4) 交流毫伏表：用于测量正弦电压信号的交流电压表。交流毫伏表只能在其工作频率范围内，用来测量正弦交流电压的有效值。交流毫伏表灵敏度较高，打开电源后，在较低量程时由于干扰信号的作用，指针会发生偏转，因此在不测试信号时应将量程旋钮旋到较高的量程挡，以免打弯指针；调整信号时，也应先将量程旋钮旋到较大量程，改变信号后，再逐渐减小。

(5) 万用表：可以进行交直流电压、电流以及电阻等多种电量的测量，还可用来测量电子元器件的好坏、电路及导线的通断等。有些还可测量功率、电容量、电感量、双极晶体管的电流放大系数等，并且每种测量项目还可以有多个测量量程。一般万用表的交流电压挡只能测量 1V 以上的交流电压，而且测量交流电压的频率一般不超过 1kHz。

三、实验内容

1. 示波器操作

(1) 垂直设置

“垂直位置”旋钮：旋转该按钮可在屏幕上下移动通道波形。按下该按钮，波形回到屏幕垂直位置中间。

“CH1 MENU”或“CH2 MENU”按钮：按下一次，可显示波形和菜单；再按下一次，可删除波形显示。

注意：只有将“伏/格”设定为粗调，才会有效控制波形的显示高度

(2) 水平设置

“水平位置”旋钮：旋转该按钮可在屏幕左右移动通道波形。按下该旋钮，波形回到屏幕水平位置中间。

“秒/格”时间旋钮：用来改变水平时间刻度，水平放大或压缩波形。

(3) 触发设置

“TRIG MENU”键：按下显示触发菜单，常采用边沿触发。选择触发信号源后调节触发电平到最佳位置，就可以定量地显示出稳定单一的波形。

(4) 使用“自动设置”

“自动设置”按钮：按下后会自动获得并显示稳定的单一波形，它可以自动调整垂直刻度、水平刻度和触发设置。自动设置也可在刻度区域显示几个自动测量结果，这取决于信号类型。

2. 信号发生器操作

(1) 信号发生器幅值的调整与测定

将信号调成频率 f 为 1 kHz 的正弦信号，然后调节幅度，使输出电压有效值(利用交流毫伏表测量确定)按表 1.1.1 所示的数值变化，同时用示波器定量测定其输出电压对应的峰-峰值，填表记录测量结果。

(2) 信号发生器频率的调整与测定

调整信号发生器的幅度，用示波器观察使 V_{op-p} 为 5 V，并保持不变，信号频率按表 1.1.2 所提供的数据调整，用示波器定量测定其频率，并与调定值进行比较。

表 1.1.1 示波器观测信号源幅度的测量记录表

输入 V_{ip-p} (V)	波形高度		输出 V_{op-p} (V)	有效值 电压 V_o (V)
	伏/格	格数		
				5
				0.5
				0.05

表 1.1.2 示波器观测信号源频率的测量记录表

信号频率 (kHz)	秒/格 (每格时间)	一个周期 所占格数	频率 $f=1/T$
1			
10			
100			

3. 直流稳压电源操作

双路直流稳压电源一般都具有稳压、稳流功能，且稳压与稳流状态可随负载自动转换。两路电源具有串联主从工作功能，左电源为主，右电源为从，在跟踪状态下，从路的输出电压随主路而变化。这对于需要对称且可调双极性电源的场合特别适用。仪器配有两块能指示电压、电流的双功能表，由“VOLTS”、“AMPS”键进行功能切换。

(1) 单电源输出的操作

输出+6V 为例：选择左路电源，抬起左路的电压电流转换按键，使表头切换为指示输出电压值，调节旋钮，观察表头指示值，使其输出指示 6 V，这样左路的输出就是 6 V。用万用表“直流电压”挡测定输出接线柱正负端电压值进行确认。

(2) 输出正负对称电源的操作

输出±12 V 为例：按下左路电源和右路电源之间的跟踪按键，使左右两路电源处于主从跟踪状态，并将左路负接线柱、右路正接线柱和公共地串接。调节旋钮使左路电源电压值为 12 V，右路电源将以“从”的方式同步跟踪至 12 V(即主从工作方式)，此时左路电源的正接线柱和右路电源的负接线柱分别为电源的正负电源输出端。

(3) 大于 32 V 电源的操作

输出+45 V 为例：抬起跟踪键，使两路输出为非跟踪状态，调节左路电压旋钮使左表头输出指示为 20 V，再调节右路电压旋钮使右表头指示 25 V，将左右两路正、负极短接(串

接)，从左路“正极”输入，右路“负极”输出，此时输出电压 $V_o=V_{左}+V_{右}$ 。即 $V_o=20\text{ V}+25\text{ V}=45\text{ V}$ 。

4. 万用表的使用

万用表是电子技术实验中必不可少的工具，应用范围极其广泛，除用来测量电压、电流、电阻外，还可用来判别器件的好坏、优劣。本实验只对常用二极管、三极管的性能及参数值进行测量。常用二极管、三极管根据材料的不同，有硅、锗之分，根据二极管的单向导电性及正反电阻的差异可以判断它们的引脚，通过正反向电阻的测量也可判别其好坏。

(1) 二极管的测量

首先选择万用表的“”挡，红表笔接二极管的正极，黑表笔接负极，若二极管是好的，万用表上显示的就是该二极管的正向导通电压，锗管为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$ ，硅管为 $0.6\sim 0.7\text{ V}$ 。若红表笔接二极管的负极，黑表笔接二极管的正极，万用表上显示的是“1”(万用表指示开路)时表明二极管反向截止。将测量结果填入表 1.1.3 中。

(2) 晶体管的测量

从结构上看，双极型晶体管是由两个背靠背的 PN 结构成的。对于 NPN 型管，基极是两个等效二极管的公共“阳极”；而 PNP 型管，基极则是公共“阴极”。因此，可以通过判别晶体管的基极是公共的“阳极”还是公共的“阴极”，来判断晶体管的管型，同时通过正向导通压降值得出它的材料。判别方法与二极管相同，使用万用表的“”挡测量晶体管的两个 PN 结，得到晶体管的管型和材料，并找到基极，将测量结果填入表 1.1.4。

表 1.1.3 万用表测量二极管的记录表

器件	正向导通电压	管材料
二极管		

表 1.1.4 万用表测量晶体管参数记录表

器件	正向导通电压	管材料	管型	最大 β 值	最小 β 值	标出晶体管全部引脚
双极型晶体管						

接着根据已测得晶体管的结构和基极，将万用表旋钮调到“ h_{FE} ”挡，选择对应 h_{FE} 测试插座的结构插孔，把基极引脚插入，另外两引脚分别插入 E 和 C 的插孔，读出读数，接着对调 E 和 C 插孔上的管脚，再次读数，记录两次测量结果，结果为较大值时对应 E 和 C 插孔的管脚就是实际晶体管的管脚。从而得到晶体管的电流放大倍数 β 和确定 E、B、C 引脚，将结果填入表 1.1.4 中。

四、实验仪器

1. 数字存储示波器
- 1 台
2. 低频信号源
- 1 台
3. 交流毫伏表
- 1 只
4. 双路直流稳压电源
- 1 台
5. 万用表
- 1 只

五、实验报告内容

1. 说明本实验中使用的仪器的作用。
2. 整理实验数据, 填入实验表格中。
3. 画出使用直流稳压电源输出+6 V、 ± 12 V 以及 45 V 时, 仪器的连接示意图。
4. 总结实验过程中遇到的问题及其解决方法。

六、思考题

1. 在实验中均要求用单线连接电源, 用屏蔽电缆线连接信号, 屏蔽网络状线应接实验系统的地, 芯线接信号, 对于交流信号能颠倒吗? 为什么?
2. 测量中示波器测得的正弦波峰-峰值大于交流毫伏表测得的示值, 这是什么原因?
3. 交流毫伏表能测量直流电压吗? 它在其工作频率范围内用来测量正弦交流信号的什么数值? 万用表的交流电压挡能测量任何频率的交流信号吗?
4. 若某实验电路要求信号源提供 50 mV, 频率为 1 kHz 的交流正弦输入信号, 请说出信号源各电压调节钮的正确调整方法。
5. 用示波器观察信号波形时, 为了得到以下特征:
(1) 波形清晰; (2) 亮度适中; (3) 波形稳定; (4) 移动波形位置; (5) 改变波形个数; (6) 改变波形高度; (7) 同时可显示两个信号波形。
需要分别调整哪些旋钮?

1.2 基本放大电路

一、实验目的

1. 学习基本放大电路静态工作点及电压放大倍数的调整与测试方法。
2. 观察静态工作点和负载电阻改变对电路工作状态、输出波形及 A_v 的影响。
3. 掌握放大电路输入、输出电阻的测量方法。

二、实验原理

固定偏置的单级共射放大电路如图 1.2.1 所示。

1. 静态工作点的设置

静态工作点是指输入交流信号为零时三极管的基极电流 I_{BQ} 、集电极电流 I_{CQ} 和集电极与发射极之间的压降 V_{CEQ} 。图 1.2.2 示意了通过图解法可在三极管输出特性曲线上得到放大器静态工作点的值。

放大器的偏置电路的功能是给放大器提供一个合适的工作点。合适的静态工作点是放大电路放大的前提。如果工作点过高或工作点过低都会影响放大器对信号放大的质量。工作点过高, 接近饱和区, 输出信号容易出现饱和失真, 如图 1.2.3 所示; 如果工作点设置过低, 接近截止区, 输出信号容易出现截止失真, 如图 1.2.4 所示。因此, 最佳的静态工作点应选

择在交流负载线的中间，既保证了输出信号不易出现失真，也提高了输出信号的动态范围。

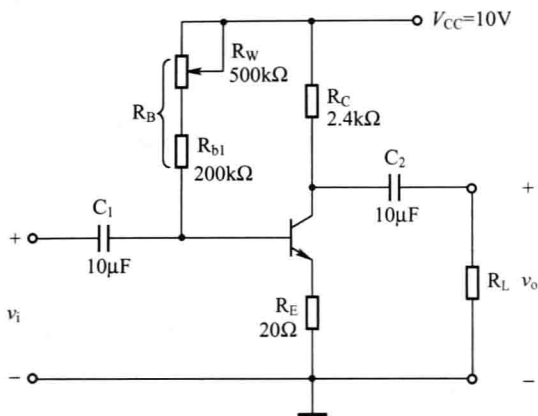


图 1.2.1 单级共射放大电路

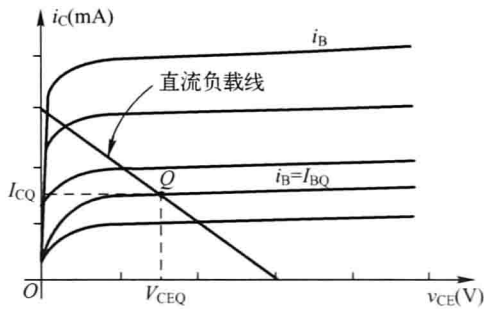


图 1.2.2 图解法得到静态工作点的值

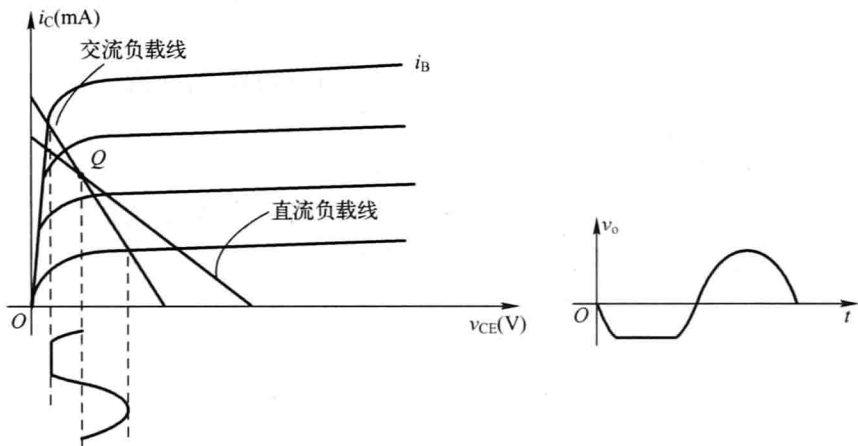


图 1.2.3 工作点过高时三极管输出端的输出波形和放大器对应输出波形

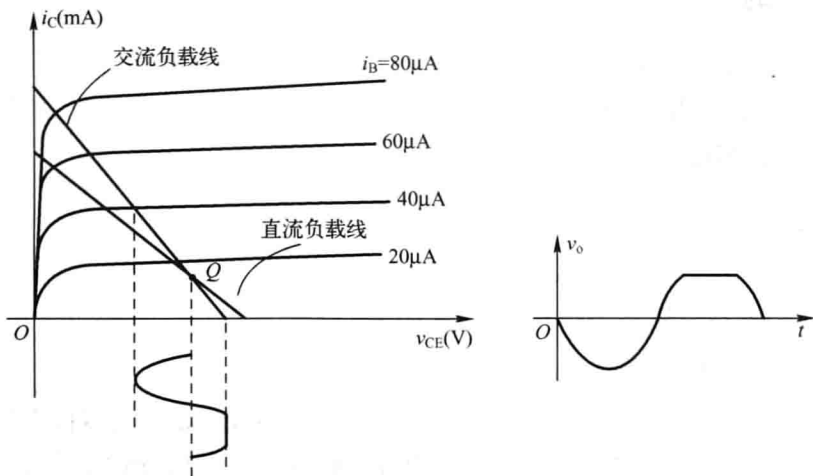


图 1.2.4 工作点过低时三极管输出端的输出波形和放大器对应输出波形

2. 放大电路电压增益的测量

增益又称为放大倍数，它反映放大器放大信号的能力。如图 1.2.5 所示的放大器示意图中，电压增益为输出电压和输入电压之比。

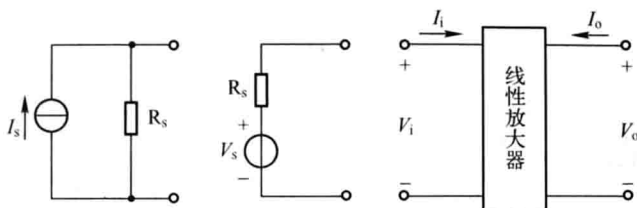


图 1.2.5 放大器及信号源

$$A_v = V_o / V_i \quad (1.2.1)$$

实验中, 用示波器监视放大电路输出电压的波形不失真时, 用交流毫伏表分别测量输入、输出电压, 然后按增益公式就可以计算出电压增益。

对应于图 1.2.1 所示电路参数, 放大电路的电压增益理论值为:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{\beta R_C // R_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} \quad (1.2.2)$$

当选定三极管和负载电阻后, 增益主要取决于静态工作点。

3. 输入电阻的测量

放大器的输入电阻定义为从放大器的输入端看进去的等效电阻。它的大小表示放大电路从信号源或前级放大电路获取电流的多少。在放大器的设计过程中, R_i 是设计的大些或是小些主要看信号源的情况。放大器的输入电阻, 可以看成信号源的负载, 放大器的输入端得到的信号越强对信号的放大越有利。因此, 如果信号源是电压源, 则放大器的输入电阻 R_i 越大越好; 若信号源是电流源, 则 R_i 越小越好。

对于图 1.2.1 所示电路参数, 放大电路的输入电阻理论值为:

$$R_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta) R_E] \quad (1.2.3)$$

输入电阻的值同样和静态工作点有着直接的关系。

实验中测量输入电阻的原理图如图 1.2.6 所示, 在放大电路与信号源之间串入固定电阻 R_s , 在输入电压波形不失真的条件下, 用交流毫伏表测量 V_s 和对应的 V_i 的值, 按照式 (1.2.4) 就可以计算出输入电阻 R_i :

$$R_i = \frac{V_i}{V_s - V_i} R_s \quad (1.2.4)$$

电阻 R_s 的值不易取得过大, 过大容易引入干扰; 但也不易取得太小, 太小容易引起较大测量误差, 当 $R_s = R_i$ 时, 测量误差最小。

4. 输出电阻的测量

放大器的输出电阻定义为从放大器的输出端看进去的等效电阻, 它的大小表示电路带负载能力的大小。输出电阻越小, 带负载能力越强。图 1.2.1 所示电路的输出电阻理论值近似等于集电极电阻 R_C , 晶体管的输出电阻 r_{ce} 越大, 越接近 R_C 。

实验中输出电阻的测量原理如图 1.2.7 所示, 在输出电压波形保持不失真的情况下, 用交流毫伏表测出电路带负载时的输出电压 V_{oL} , 和空载时的输出电压 V_o , 按照下式就可以计算出 R_o :

$$R_o = \left(\frac{V_o}{V_{oL}} - 1 \right) R_L \tag{1.2.5}$$

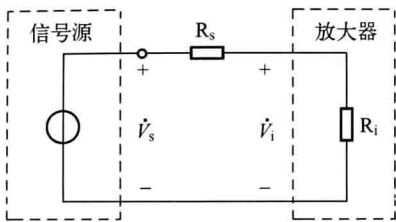


图 1.2.6 测量输入电阻的原理图

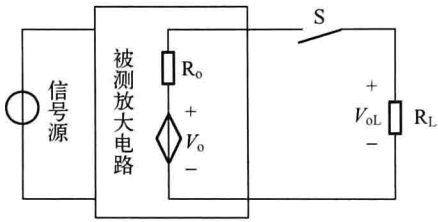


图 1.2.7 测量输出电阻的原理图

三、实验内容

1. 静态工作点调整与测试

- 调整双路直流稳压电源 $V_{CC}=10\text{ V}$ ，并接入电路。
- 不接输入信号下，调节图 1.2.1 的滑动变阻器 R_W 使得 Q 点处在不同的位置，按表 1.2.1 测量与计算相应的数值，并最终调至最佳位置，记录相应电压值。
- 从低频信号源输出频率 $f=1\text{ kHz}$ ，信号源幅度为 10 mV 的正弦信号并加入放大器的输入端，观察滑动变阻器为最小或最大时输出波形的失真情况，填入表 1.2.1 中，并分析失真的类型和原因。

表 1.2.1 静态工作点测量和失真波形情况

$R_W\text{ (k}\Omega\text{)}$	静态工作点		失真波形	失真性质
最小	测量值	$V_{CEQ}=\text{___}, V_{BEQ}=\text{___}, V_{R_{b1}}=\text{___},$ $V_{R_E}=\text{___}, V_{R_C}=\text{___}$		
	计算值	$I_{CQ}=\text{___}, I_{BQ}=\text{___}, \beta=\text{___}$		
	理论值	$I_{CQ}=\text{___}, I_{BQ}=\text{___}, V_{CEQ}=\text{___}$		
最佳工作点	测量值	$V_{CEQ}=\text{___}, V_{BEQ}=\text{___}, V_{R_{b1}}=\text{___}, V_{R_E}=\text{___},$ $V_{R_C}=\text{___}$		
	计算值	$I_{CQ}=\text{___}, I_{BQ}=\text{___}, \beta=\text{___}$		
	理论值	$I_{CQ}=\text{___}, I_{BQ}=\text{___}, V_{CEQ}=\text{___}$		
最大	测量值	$V_{CEQ}=\text{___}, V_{BEQ}=\text{___}, V_{R_{b1}}=\text{___}, V_{R_E}=\text{___},$ $V_{R_C}=\text{___}$		
	计算值	$I_{CQ}=\text{___}, I_{BQ}=\text{___}, \beta=\text{___}$		
	理论值	$I_{CQ}=\text{___}, I_{BQ}=\text{___}, V_{CEQ}=\text{___}$		

2. 测交流电压放大倍数

- 将滑动变阻器置于实验内容 1 中调节的最佳工作点处。
- 将低频信号源频率调至 $f=1\text{ kHz}$ ，将低频信号源的输出接入实验电路的输入端，按表 1.2.2 调节输入信号 V_i 的幅度，测出对应 V_o 值，填表记录测量结果，最后一行的 V_i 幅度

为输出电压幅度最大且不失真时所对应的输入电压的值。表格中最后一列定性画出示波器上显示的波形。

3. 测量输入电阻 R_i

按图 1.2.6 所示连接电路，取输入端串联电阻 $R_s=1\text{ k}\Omega$ ，调输入电压 V_s 使得 V_i 为 10 mV(有效值)左右，记录 V_i 、 V_s ，将结果记录在表 1.2.3 中。

表 1.2.2 放大倍数测量表

V_i (mV)	V_o (mV)	$A_v=V_o/V_i$	输出波形(定性)
10			
15			
20			
()			最大不失真输出

表 1.2.3 输入电阻和输出电阻测量表

输入电阻 R_i		输出电阻 R_o	
$R_L=\infty$		$R_L=\infty$	$R_L=1.5\text{ k}\Omega$
$V_s=$	$V_i=$	$V_o=$	$V_{oL}=$
$R_i=$		$R_o=$	

4. 测量输出电阻 R_o

按图 1.2.7 所示连接电路，去除上述实验内容 3 中的串联电阻 R_s ，输入端加信号源，测量空载时输出电压 V_o ；然后加入负载取 $R_L=1.5\text{ k}\Omega$ ，测量此时负载两端的输出电压 V_{oL} 值。将结果记录在表 1.2.3 中(V_o 的变化不明显可适当减小 V_i 的值)。

四、实验仪器

1. 数字存储示波器
- 1 台
2. 低频信号源
- 1 台
3. 交流毫伏表
- 1 只
4. 双路直流稳压电源
- 1 台
5. 万用表
- 1 只

五、实验报告内容

1. 记录和整理测试数据，按要求填入表格并画出波形图。
2. 分析饱和失真和截止失真的产生原因。
3. 对测试结果和理论计算结果进行比较，找出误差产生的原因。
4. 总结实验过程中遇到的问题及其解决方法。

六、思考题

1. 分析电路中 R_E 的作用。
2. 静态工作点 I_{CQ} 为什么不能直接测量，而是通过测量 V_{R_c} 间接得到？
3. 负载电阻变化时，对放大电路静态工作点有无影响？对电压增益有无影响？
4. 说明测量输出电阻都有哪些方法？
5. 总结静态工作点的调节方法。

1.3 射极输出器

一、实验目的

1. 掌握射极输出器的性能和基本特点。
2. 进一步熟悉放大电路电压增益、输入电阻和输出电阻的测量方法。
3. 掌握最大跟随电压的调整与测量。

二、实验原理

射极输出器如图 1.3.1 所示, 信号由晶体管的基级输入、发射极输出, 所以称为射级输出器。该电路具有如下特点: 电压放大倍数近似为 1, 且恒小于 1; 输出电压信号与输入电压信号同相位; 输入电阻高, 而输出电阻低。适合作为多级放大器的输入、输出级, 或作为前后级间的阻抗变换。

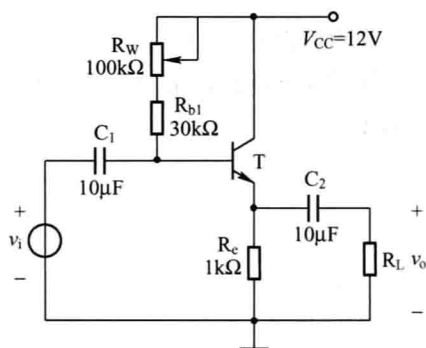


图 1.3.1 射极输出器

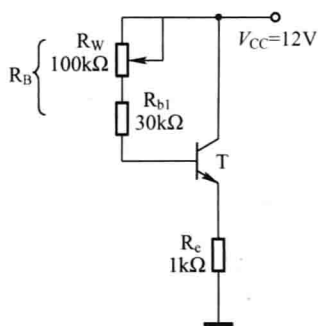


图 1.3.2 直流通路

(1) 静态分析: 图 1.3.1 所示放大电路的直流通路如图 1.3.2 所示。由图可得:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) R_e} \quad (1.3.1)$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \quad (1.3.2)$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ} R_e \quad (1.3.3)$$

(2) 电压增益:

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L}, \text{ 其中: } R'_L = R_L // R_e \quad (1.3.4)$$

由于射极输出器的电压增益接近于 1, 同时输出电压与输入电压是同相的, 所以射极输出器通常叫做电压跟随器。

(3) 输入电阻:

$$R_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta) R'_L], \text{ 其中: } R'_L = R_L // R_e \quad (1.3.5)$$

(4) 输出电阻:

$$R_o = R_e // \frac{r_{be}}{1 + \beta} \quad (1.3.6)$$

(5) 电压跟随范围：是指射极输出器输出电压 V_o 跟随输入电压 V_i 做线性变化的区域。当输入电压 V_i 超过某一范围时，输出电压就不能跟随输入电压做线性变化，即 V_o 波形就会出现失真。

三、实验内容

(1) 静态工作点测量

调整直流稳压电源输出 $V_{CC}=12\text{ V}$ ，并接入图 1.3.2 的电路。完成表 1.3.1。

(2) 测量电压放大倍数

调信号源频率 $f=1\text{ kHz}$ ，按表 1.3.2 加输入电压 V_i ，测量 V_o ，并求出 A_v 。

(3) 测量最大跟随电压

继续加大输入电压 V_i ，用示波器监视输出电压 V_o 的波形使之达到最大不失真，按表 1.3.2 记录下所测得的 V_o 和 V_i 值。

表 1.3.1 静态工作点测量

测量值	$V_{CEQ}=\rule{1cm}{0.4pt}$, $V_{BEQ}=\rule{1cm}{0.4pt}$, $V_{R_{b1}}=\rule{1cm}{0.4pt}$, $V_{R_{b2}}=\rule{1cm}{0.4pt}$, $V_{R_E}=\rule{1cm}{0.4pt}$
计算值	$I_{CQ}=\rule{1cm}{0.4pt}$, $I_{BQ}=\rule{1cm}{0.4pt}$, $\beta=\rule{1cm}{0.4pt}$
理论值	$I_{CQ}=\rule{1cm}{0.4pt}$, $I_{BQ}=\rule{1cm}{0.4pt}$, $V_{CEQ}=\rule{1cm}{0.4pt}$

表 1.3.2 电压增益和最大跟随电压的测量

V_i (V)	V_o (V)	$A_v=V_o/V_i$
0.1V		
0.3V		
()		最大跟随电压

(4) 测量输入、输出电阻

(1) 输入电阻的测量原理如图 1.3.3 所示，输入端串联电阻 $R_s=3\text{ k}\Omega$ ，加输入电压 V_s ，按表 1.3.3 分别测量当 $R_L=\infty$ 和 $R_L=1\text{ k}\Omega$ 时的 V_i 值，代入式(1.3.7)，求出 R_i 和 R_i' ，观察比较 R_i 和 R_i' 的区别。

表 1.3.3 输入阻抗和输出阻抗的测量

输入电阻 R_i			输出电阻 R_o	
V_s (V)	$R_L=\infty$	$R_L=1\text{ k}\Omega$	$R_L=\infty$	$R_L=1\text{ k}\Omega$
0.1V	$V_i=\rule{1cm}{0.4pt}$	$V_i=\rule{1cm}{0.4pt}$	$V_o=0.1\text{V}$	$V_{oL}=\rule{1cm}{0.4pt}$
	$R_i=\rule{1cm}{0.4pt}$	$R_i'=\rule{1cm}{0.4pt}$	$R_o=\rule{1cm}{0.4pt}$	

输入电阻：
$$R_i = \frac{V_i}{V_s - V_i} R_s \tag{1.3.7}$$

(2) 输出电阻 R_o 的测量原理如图 1.3.4 所示，去除电阻 R_s ，输入信号 V_i ，分别测出 $R_L=\infty$ 和 $R_L=1\text{ k}\Omega$ 时的 V_o 和 V_{oL} 值，代入式(1.3.8)求出 R_o (若 V_o 的变化不明显可适当减小 V_i 的值)。

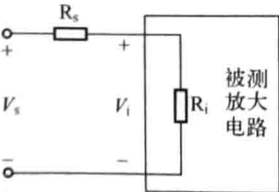


图 1.3.3 输入电阻的测量原理

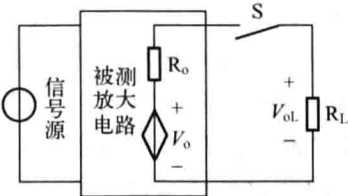


图 1.3.4 输出电阻的测量原理

输出电阻：
$$R_o = \left(\frac{V_o}{V_{oL}} - 1 \right) R_L \tag{1.3.8}$$

四、实验仪器

- | | |
|-------------|-----|
| 1. 数字存储示波器 | 1 台 |
| 2. 低频信号源 | 1 台 |
| 3. 交流毫伏表 | 1 只 |
| 4. 双路直流稳压电源 | 1 台 |
| 5. 万用表 | 1 只 |

五、实验报告内容

1. 说明射极输出器的电路特点。
2. 记录和整理测试数据，按要求填入表格。
3. 对测试结果进行理论分析，找出误差产生的原因。
4. 总结实验过程中遇到的问题及其解决方法。

六、思考题

1. 射极输出器具有高输入阻抗和低输出阻抗这一特点，在实际应用中起何作用？
2. 如果改变外接负载 R_L ，问对所测放大器的输出电阻有无影响？
3. 在测量放大倍数、输入电阻和输出电阻时，能否用示波器来测量电压幅度？为什么要用交流毫伏表？

1.4 负反馈放大电路

一、实验目的

1. 加深理解放大电路中引入负反馈的方法
2. 通过实验加深了解负反馈对放大器各项性能指标的影响。
3. 进一步熟练掌握放大器的静态工作点、放大倍数、输入电阻、输出电阻等性能指标的测量方法。

二、实验原理

反馈用于许多实际的电子系统和电子电路中，它是改善放大器性能的有效手段。反馈被广泛应用，可以说没有一个实际的电子系统不使用反馈的。反馈就是将放大器的输出端的量（可能是电压，也可能是电流）的一部分或全部，通过一定的方式回送到放大器的输入端的过程。存在反馈网络的放大器被称为反馈放大器。

若按反馈的极性给反馈分类，则反馈可以分为正反馈和负反馈两大类。如果从输出端引回到输入端的信号和输入信号的相位相同，即反馈信号加强了输入信号，则称其为正反馈；反之，如果从输出端引回到输入端的信号和输入信号的相位相反，即反馈信号削弱了输入信号，则称其为负反馈。