



普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材

Electronic Technology
Experiment and Course Design

电子技术 实验与课程设计

◎ 李震梅 房永钢 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气工程与自动化（应用型）“十二五”规划教材 -20

电子技术实验与 课程设计

主 编 李震梅 房永钢
副主编 谷笑娜
参 编 白 明 王艳萍 张 丹
主 审 王瑞兰



机械工业出版社

本书是按照高等学校电子技术实验和课程设计的教学要求,结合作者多年的实践性教学环节的改革成果和经验编写的。全书共分五章,包括:模拟电子技术基础实验、模拟电子技术基础课程设计、数字电子技术基础实验、数字电子技术基础课程设计和电子技术综合设计。实验分成基础型、设计型、综合型、研究型四个层次,把 Multisim 及 Max + plusII 等先进的 EDA 技术引入到实验及课程设计中,做到了软、硬件的有机结合,旨在提高学生的实践能力、系统设计能力和创新能力。

本书可作为普通本科层次电气、电子信息、通信和计算机等电类各专业电子技术实验和课程设计的教材或教学参考书,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术实验与课程设计/李震梅,房永钢主编. —北京:机械工业出版社, 2011.2

普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-32600-7

I. ①电… II. ①李…②房… III. ①电子技术-实验-高等学校-教材
②电子技术-课程设计-高等学校-教材 IV. ①TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 235365 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:王雅新 责任编辑:王雅新 卢若薇

版式设计:霍永明 责任校对:任秀丽

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2011 年 2 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.75 印张 · 310 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-32600-7

定价:25.00 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

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

普通高等教育电气工程与自动化（应用型）“十二五”规划教材

编审委员会委员名单

主任委员：刘国荣

副主任委员：

张德江 梁景凯 张 元 袁德成 焦 斌
吕 进 胡国文 刘启中 汤天浩 黄家善
钱 平 王保家

委 员（按姓氏笔画排序）：

丁元明 马修水 王再英 王 军 叶树江
孙晓云 朱一纶 张立臣 李先允 李秀娟
李海富 杨 宁 陈志新 周渊深 尚丽萍
罗文广 罗印升 罗 兵 范立南 娄国焕
赵巧娥 项新建 徐建英 郭 伟 高 亮
韩成浩 蔡子亮 樊立萍 穆向阳

前 言

本书是根据当前电子技术发展的趋势和 21 世纪对人才能力培养的需要,针对普通高等学校本科学生的具体情况,按照电子技术实验和课程设计的教学要求,结合作者多年的实践性教学环节的改革成果和经验,本着“精选内容,注重应用,启发创新”的原则编写的。在编写时,主要考虑了以下几点:

1) 根据学生掌握知识的规律,循序渐进,由浅入深,按照基础型、设计型、综合型、研究型的“阶梯式”实验教学内容,设计了不同难度、不同训练目标的系列实验。对于基础试验,其内容主要包括实验目的、实验设备与器件、预习要求、实验内容及实验步骤等;对于设计型试验,主要是提出实验目的、设计要求及实验要求等,让学生独立完成电路设计、元器件的选择、电路的安装和调试、拟定实验步骤和测试方法;对于综合型、研究型实验,其内容主要包括实验目的、设计指标、预习要求、实验设备与器件、实验原理、实验内容及实验步骤等,这样做有利于因材施教和提高学生的动手能力,强化学生的实践意识。实验中所用仪器设备均是通用的,便于各校根据实际情况进行选择,适应性强。

2) 课程设计内容充实新颖、选题广、实用性强,具有综合性、趣味性、先进性,突出反映了中大规模集成电路的应用。从小型课题到较大系统课题,从简单到复杂,既有模拟电路课程设计、数字电路课程设计,又有结合模拟电路、数字电路及 EDA 技术的电子技术综合课程设计,每项课题都提供设计指标、电路的工作原理、单元电路设计与仿真、整机电路与仿真、电路的安装与调试。

3) 把 Multisim 及 Max + plusII 等先进的 EDA 技术引入到实验及课程设计中,做到了软件、硬件的有机结合,提高了学生的实践能力、系统设计能力和创新能力。

4) 为了增强对不同专业的适应性,教材中包含了多个典型的综合应用课题以供选用,同时,某些课题提供了多种设计方法,如数字钟的设计包括经典设计方法、基于 Multisim 设计方法和基于 VHDL 语言的设计方法。这些设计方法各有特点,不同专业可以根据设计要求进行选择。

参加本书编写的教师多年从事电子技术课程体系、课程内容的教学改革与实践,具有丰富的电子技术课程的教学和实践经验。山东理工大学李震梅教授组织了本书的编写,制定了详细的编写提纲,并负责了全书的统稿。全书共五章,其中第 1 章由谷笑娜和房永钢编写,第 2 章由谷笑娜、张丹编写,第 3 章由白明和李震梅编写,第 4 章由李震梅和王艳萍编写,第 5 章由李震梅和房永钢编写,附录由白明编写。

本书由王瑞兰教授主审,她提出了许多建设性意见和建议;本书的编写还得到了山东理工大学电工电子教研室全体老师的大力支持,编者在这里一并向他们表示感谢。在编写过程中参阅或引用了部分参考资料,对这些作者,我们也表示衷心的感谢。

限于编者的水平，本书中不妥和错误之处在所难免，望读者及同行老师们给予批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 模拟电子技术基础实验 1

1.1 基础型实验 1

1.1.1 常用电子仪器的使用 1

1.1.2 单级放大电路 3

1.1.3 射极跟随器 6

1.1.4 差动放大器 7

1.1.5 负反馈放大电路 9

1.1.6 集成运算放大器的应用 11

1.2 设计型实验 14

1.2.1 多级放大电路的设计及调试 14

1.2.2 运算电路的设计 15

1.2.3 有源 RC 滤波器的设计及应用 16

1.2.4 集成稳压电源的应用 16

1.3 综合型、研究型实验 17

1.3.1 波形发生及功率放大电路 17

1.3.2 温度监测及控制电路 25

1.3.3 直流稳压电源 29

第 2 章 模拟电子技术基础

课程设计 35

2.1 模拟电子电路的设计方法及 安装调试 35

2.1.1 模拟电子电路的设计方法 35

2.1.2 模拟电子电路的安装与调试 37

2.2 语音放大电路的设计 38

2.2.1 设计指标及工作原理 38

2.2.2 经典设计方式 39

2.2.3 基于 Multisim 的语音放大 电路的设计 42

2.2.4 电路的安装与调试 46

2.3 基于 Multisim 的多功能波形发 生器的设计 49

2.3.1 设计指标及工作原理 49

2.3.2 单元电路设计 49

2.3.3 整机电路及仿真 55

2.3.4 电路的安装与调试 56

2.4 模拟显示万用表测量电路的设计 57

2.4.1 设计指标及工作原理 57

2.4.2 单元电路设计 57

2.4.3 整机电路及仿真 60

2.4.4 电路的安装与调试 60

2.5 直流稳压电源的设计 61

2.5.1 设计指标及工作原理 61

2.5.2 单元电路设计 62

2.5.3 整机电路及仿真 64

2.5.4 电路的安装与调试 65

2.6 音调可调的功率放大电路的设计 66

2.6.1 设计指标及工作原理 66

2.6.2 单元电路设计 66

2.6.3 整机电路及仿真 73

2.6.4 电路的安装与调试 73

第 3 章 数字电子技术基础实验 74

3.1 基础型实验 74

3.1.1 门电路逻辑功能及测试 74

3.1.2 组合逻辑电路 77

3.1.3 译码器和数据选择器 79

3.1.4 触发器 80

3.1.5 时序电路测试及研究 83

3.1.6 555 时基电路的应用 85

3.2 设计型实验 86

3.2.1 楼梯照明电路的设计 86

3.2.2 计数译码显示电路的设计 87

3.2.3 彩灯控制器的设计 88

3.2.4 信号采样显示电路的设计 89

3.3 综合型、研究型实验 90

3.3.1 数字电子秒表 90

3.3.2 拔河游戏机 93

3.3.3 直流数字电压表 96

第 4 章 数字电子技术基础课程

设计 102

4.1 数字电子系统的设计方法及 安装调试 102

4.1.1 数字电子系统的设计方法 102

4.1.2 数字电子系统的安装与调试 103

4.2 数字钟的设计	105
4.2.1 设计指标及工作原理	105
4.2.2 经典设计方式	106
4.2.3 基于 Multisim 的数字钟的设计 ...	108
4.2.4 基于 VHDL 语言的数字钟的设计	117
4.2.5 电路的安装与调试	129
4.3 基于 Multisim 的交通灯控制器的设计	130
4.3.1 设计指标及工作原理	130
4.3.2 单元电路设计	131
4.3.3 整机电路及仿真	140
4.3.4 电路的安装与调试	140
4.4 基于 Multisim 的智力竞赛抢答器的设计	140
4.4.1 设计指标及工作原理	140
4.4.2 单元电路设计	142
4.4.3 整机电路及仿真	147
4.4.4 电路的安装与调试	149
4.5 基于 Multisim 的数字频率计的设计 ...	149
4.5.1 设计指标及工作原理	149

4.5.2 单元电路设计	150
4.5.3 整机电路及仿真	156
4.5.4 电路的安装与调试	156
第5章 电子技术综合设计	158
5.1 脉搏测试仪的设计	158
5.1.1 设计指标及工作原理	158
5.1.2 单元电路设计	159
5.1.3 整机电路及仿真	165
5.1.4 电路的安装与调试	165
5.2 可选题目	167
5.2.1 数字电子秤的设计	167
5.2.2 数字测温计的设计	169
5.2.3 洗衣机控制器的设计	170
5.2.4 医院住院病人呼喊器的设计	172
附录	175
附录 A 电阻器	175
附录 B 电容器	177
附录 C 半导体分立器件	181
附录 D 半导体集成电路	182
参考文献	194

第 1 章 模拟电子技术基础实验

1.1 基础型实验

1.1.1 常用电子仪器的使用

1. 实验目的

- 1) 学会万用表的使用方法。
- 2) 学会用示波器测试电压波形、幅度、频率的基本方法。
- 3) 学会正确调节信号发生器频率、幅度的方法。
- 4) 学会交流毫伏表的使用方法等。

2. 实验设备与器件

- 1) DS—5000 系列数字示波器。
- 2) TH—SG10 数字合成信号发生器。
- 3) FLUKE—15B 数字万用表。
- 4) 智能真有效值交流数字毫伏表。

3. 预习要求

在电子技术实验中，经常使用的电子仪器有示波器、信号发生器、万用表、交流毫伏表等，在实验台上，与电子电路相互连接，可以完成对电子电路的各种测试。在实验中要对各种电子仪器进行综合使用，可按照信号的流向，以连线简捷、调节顺手、观察和读数方便的原则合理布局。接线时注意各仪器的公共接地端应连接在一起，称为共地。

4. 实验内容及实验步骤

(1) 数字万用表的使用

FLUKE—15B（福禄克）数字万用表可以用来测量交直流电压和电流、电阻、电容、二极管正向压降等。使用时要注意黑表笔接“COM”。数字万用表接线示意图如图 1-1-1 所示。

万用表有手动和自动量程两个选择。在自动量程模式内，万用表会为检测到的输入选择最佳量程。你可以手动选择按“RANGE”来自动改变量程。要退出手动量程选择只要按住“RANGE”2s 即可。

★在实验台上直流稳压电源区分别测量一下 +5V、-5V、+12V、-12V 和 0~35V 三组电源的电压值。

(2) TH—SG10 数字合成信号发生器

TH—SG10 数字合成信号发生器如图 1-1-2 所示，本仪器具有输出函数信号、调频、FSK、PSK、频率扫描等信号的功能，输出波形有正弦波、方波和 TTL 波。

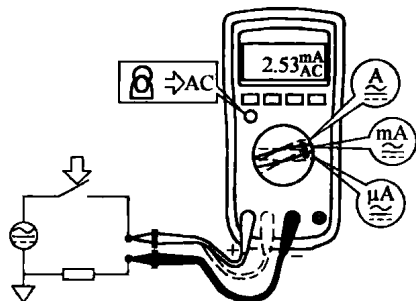


图 1-1-1 数字万用表接线示意图

频率范围为 10mHz ~ 10MHz, 分辨率为 1 μ Hz, 频率误差小于等于 $\pm 5 \times 10^{-5}$ Hz。

幅度范围为 2mV ~ 20V (P-P) (高阻)、1mV ~ 10V (P-P) (50 Ω), 最高分辨率为 2 μ V (P-P) (高阻)、1 μ V (P-P) (50 Ω)。其中 V (P-P) 表示电压的峰-峰值。

例如, 设置输出 “20mV (P-P), 10kHz” 正弦信号的步骤如下:

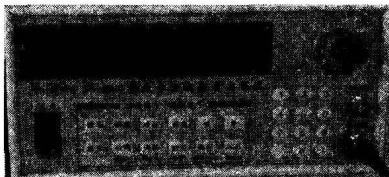


图 1-1-2 TH-SG10 数字合成信号发生器

1) 打开电源。

2) 按下 “频率” 按键 → 由右侧数码键盘分别输入 “1、0” → 按单位按键 “调制/kHz”, 此时, 屏幕显示 “10kHz”;

3) 按 “幅度” 按键 → 由右侧数码键盘分别输入 “2、0” → 按单位按键 “偏移/mV”, 此时, 屏幕显示 “20mV (P-P)”;

4) 按 “波形” 键, 选择输出正弦波, 此时, 屏幕显示为正弦波形符号。

★ 改变频率和幅度进行几组数据的设置练习, 最后调出 “ $f = 1\text{kHz}$, 50mV (P-P)” 的正弦波信号。

注意: 信号发生器输出幅度为电压的峰-峰值, 而不是有效值, 两者的换算关系读者可以思考一下。

(3) DS-5000 系列数字示波器

DS-5000 系列数字示波器如图 1-1-3 所示, 示波器的液晶显示屏上所显示的是被测电压随时间变化的波形, 即被测电压的瞬时值与时间在直角坐标系中的函数图像。

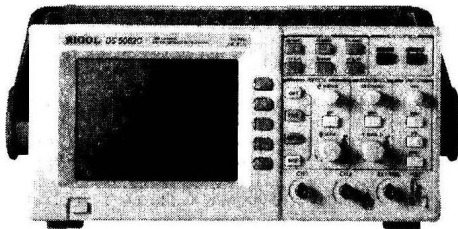


图 1-1-3 DS-5000 系列数字示波器

DS-5000 系列数字示波器有两个信号输入通道: “CH1 和 CH2”, 还有一个外触发通道 “EXT TRIG”。

垂直系统

1) 使用垂直 “POSITION” 旋钮使得波形上下位置在窗口居中显示。

垂直 “POSITION” 旋钮控制信号的垂直显示位置。当转动垂直 “POSITION” 旋钮时, 指示通道地 (GROUND) 的标识跟随波形而上下移动。

2) 调节垂直 “SCALE” 旋钮, 改变垂直设置。

转动垂直 “SCALE” 旋钮, 改变 “Volt/div (伏/格)” 垂直挡位, 液晶显示屏下方的状态信息栏发生了改变, 如由 “2mV/格” 变为 “5mV/格” 等, 同时, 液晶屏幕上显示的波形幅宽也发生了变化。

水平系统

1) 使用水平 “POSITION” 旋钮使得波形左右位置在窗口居中显示。

2) 调节水平 “SCALE” 旋钮, 改变波形周期个数的设置。

转动水平 “SCALE” 旋钮, 改变 “s/div (秒/格)” 水平挡位, 液晶显示屏下方的状态信息栏发生了改变, 如由 “10 μ s/格” 变为 “10ns/格” 等, 同时, 液晶屏幕上显示的波形的周期个数也发生了变化。一般显示 3 ~ 5 个周期比较合适。

触发系统

触发系统由一个旋钮 “LEVEL” 和三个按钮 “MENU、50%、FORCE” 组成。转动旋

钮“LEVEL”，可以改变触发电平设置。按“MENU”按钮可以调出触发菜单以改变触发设置等。

波形信号的自动设置

DS—5000 系列数字示波器具有自动设置的功能。根据输入的信号，可以自动调整电压倍率、时基以及触发方式至最好形态显示。

使用自动设置显示波形的操作步骤如下：

- 1) 打开电源。
- 2) 将被测信号连接到信号输入通道 CH1 或 CH2。
- 3) 按下“AUTO”按钮。

示波器将自动设置垂直、水平和触发控制。如需要，可以手工调整这些控制使波形显示达到最佳。

DS—5000 系列数字示波器可以进行电压的峰-峰值、瞬时值、周期、带宽等多种量的测量，详细情况可参考该仪器的用户使用手册。

★请用信号发生器调出“ $f = 1\text{kHz}$, 50mV (P-P)”的正弦波信号，然后送到示波器 CH1 通道，观察记录显示的波形并计算其频率和幅度大小。

(4) 智能真有效值交流数字毫伏表

该表是数码显示，有自动转换量程的功能，打开电源后把被测电压接入输入端，显示屏将自动显示出输入交流电压的有效值。

交流数字毫伏表只能用来测量其工作频率范围内的周期交流信号的有效值。

★请用信号发生器调出“ $f = 1\text{kHz}$, 50mV (P-P)”的正弦波信号，然后再利用交流数字毫伏表测量该信号的有效值。

5. 实验报告

实验报告应包括以下内容：

- 1) 整理测试数据，画出用示波器观察到的实验波形。
- 2) 简述用示波器测量正弦波的值和用交流毫伏表测量正弦波的值有何不同。
- 3) 简述使用示波器自动显示被测波形的基本步骤。
- 4) 简述使用信号发生器设置输出正弦波信号的基本步骤。
- 5) 简述使用交流毫伏表的注意事项。

1.1.2 单级放大电路

1. 实验目的

- 1) 熟悉电子元件和模拟电路实验装置。
- 2) 掌握放大电路静态工作点的调试方法及其对放大电路性能的影响。
- 3) 学习测量放大电路的静态工作点、放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 的方法，了解共发射极放大电路特性。
- 4) 学习放大电路的动态性能。

2. 实验设备与器件

- 1) 数字示波器。
- 2) 数字万用表。

- 3) 信号发生器。
- 4) 模拟电路实验装置。
- 5) 直流电源，3DG6 晶体管 ×1，电阻、电容若干。

3. 预习要求

- 1) 单级放大电路的工作原理。
- 2) 放大电路动态及静态值的计算。

4. 实验内容及实验步骤

单级放大电路如图 1-1-4 所示。

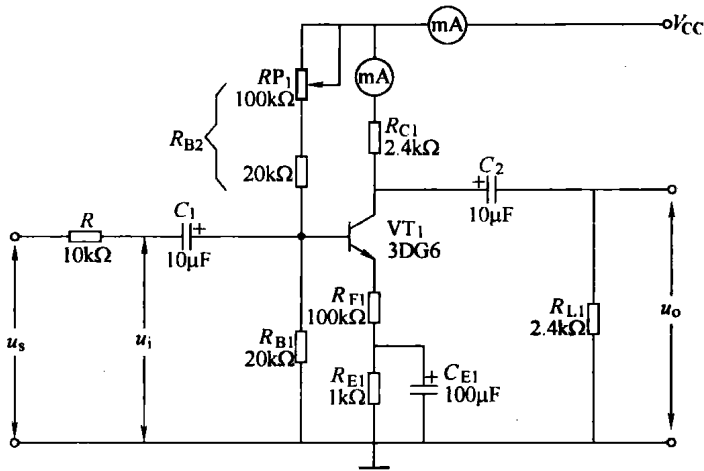


图 1-1-4 单级放大电路

(1) 静态调试

- 1) 用万用表判断晶体管好坏。
- 2) 设置放大电路的静态工作点。检查电路连接无误后接通 +12V 电源 (u_i 和 u_s 不接)，调节电位器 RP_1 使 $U_E = 2.2V$ ，测量 U_{BEQ} 、 U_{CEQ} 和 R_{B2} 的值，并填入表 1-1-1。

表 1-1-1 静态工作点测量结果 (1)

U_{BEQ}/V	U_{CEQ}/V	$R_{B2}/k\Omega$

- 3) 改变电位器 RP_1 的值，使 $U_E = 2.2V$ ，记录 I_C 值，测量晶体管 VT_1 的基极电压 U_B 、基极电阻 R_{B2} 和 R_{B1} 的值并填入表 1-1-2，计算晶体管 VT_1 的基极电流 I_B 和共射电流放大倍数 β 。

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_B}{R_{B2}} - \frac{U_B}{R_{B1}}, \quad \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

注意：测量电阻值时一定要断开外电路及电源。

表 1-1-2 中的电流 I_B 和放大倍数 β 是根据测量数据计算出来的。

表 1-1-2 静态工作点测量结果 (2)

I_C/mA	U_B/V	$R_{B2}/k\Omega$	$R_{B1}/k\Omega$	I_B/mA	β

(2) 动态调试

1) 调节信号发生器, 输出一个频率为 $f=1\text{kHz}$ 、峰-峰值为 50mV 的正弦波, 接到放大电路输入端 u_i , 观察输入 u_i 和输出 u_o 波形, 并比较它们的相位, 将 u_i 和 u_o 的值填入表1-1-3中。

2) 保持 u_i 频率为 $f=1\text{kHz}$ 不变, 逐渐增大 u_i 的幅度, 用示波器观察 u_o 波形变化, 测量 u_o 不失真时的最大值, 填入表1-1-3。

表 1-1-3 动态调试结果 (1)

实测值		实测计算值	理论计算值
u_i/mV	u_o/V	A_u	A_u
50mV(P-P)			

注意: u_i 和 u_o 的波形可以用示波器观察, 也可以用“智能真有效值数字毫伏表”测量其有效值, 表1-1-3中需要注明是峰-峰值(V(P-P))还是有效值(V_{RMS})。

3) 保持 u_i 的峰-峰值为 50mV , $f=1\text{kHz}$, 放大电路接入负载 R_{Ll} , 在改变 R_{Ll} 数值的情况下测量, 并将结果填入表1-1-4。

表 1-1-4 动态调试结果 (2)

给定参数		实测值		实测计算值	理论计算值
R_{Cl}	R_{Ll}	$u_i/\text{V(P-P)}$	$u_o/\text{V(P-P)}$	A_u	A_u
2.4k Ω	2.4k Ω				
2.4k Ω	10k Ω				

4) 保持 u_i 的峰-峰值为 50mV , $f=1\text{kHz}$, 增大和减小 RP_1 上的电阻 R_{RP1} , 用示波器观察 u_o 波形变化, 用万用表(直流)分别测量 U_{B} 、 U_{C} 和 U_{E} , 将结果填入表1-1-5。

表 1-1-5 动态调试结果 (3)

R_{RP1}	U_{B}/V	U_{C}/V	U_{E}/V	u_o 是否失真? 何种失真?
最大值				
合适值(即静态工作点附近的值)				
最小值				

注意: 如果输出波形的失真不明显, 可以增大或者减小 u_i 的幅值重测。

5) 测量放大电路的输入电阻。在输入端串接一个 $10\text{k}\Omega$ 的电阻, 如图1-1-5所示。测量 U_o 和 U_i , 将输入电阻计算出来, 填入表1-1-6。

6) 测量放大电路的输出电阻。在输出端接入一个可调电位器作为负载, 如图1-1-6所示, 调节 $R_{\text{L}}=2.4\text{k}\Omega$, 使得放大器输出不失真, 测量放大电路带负载 R_{L} 和空载时的输出电压 u_o , 将输出电阻计算出来, 填入表1-1-6。

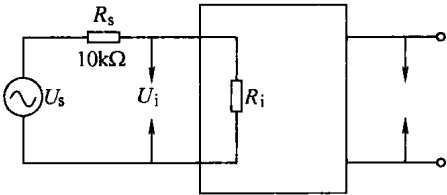


图 1-1-5 输入电阻测量

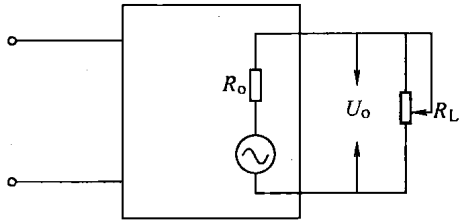


图 1-1-6 输出电阻测量

表 1-1-6 测量输入电阻与输出电阻

测量输入电阻				测量输出电阻			
实测值		测量值	理论值	实测值		测量值	理论值
U_s/mV	U_i/mV	$R_i/\text{k}\Omega$	$R_i/\text{k}\Omega$	U_o/V $R_L = \infty$	U_o/V $R_L = 2.4\text{k}\Omega$	$R_o/\text{k}\Omega$	$R_o/\text{k}\Omega$

5. 实验报告

实验报告应包括以下内容：

- 1) 完成测量数据，画出实验波形。
- 2) 写出用测量数据计算输入电阻和输出电阻的公式，并计算出输入电阻和输出电阻。
- 3) 总结实验过程中存在的问题及解决的方法。

1.1.3 射极跟随器

1. 实验目的

- 1) 掌握射极跟随器的特点。
- 2) 进一步学习放大电路各项参数的测试方法。

2. 实验设备与器件

- 1) 数字示波器。
- 2) 交流毫伏表。
- 3) 信号发生器。
- 4) 直流电压表。
- 5) 模拟电路实验装置。
- 6) 直流电源，3DG6 晶体管 $\times 1$ ，电阻、电容若干。

3. 预习要求

- 1) 射极跟随器的特点。
- 2) 射极跟随器动态及静态值的计算。

4. 实验内容及实验步骤

射极跟随器实验电路如图 1-1-7 所示。

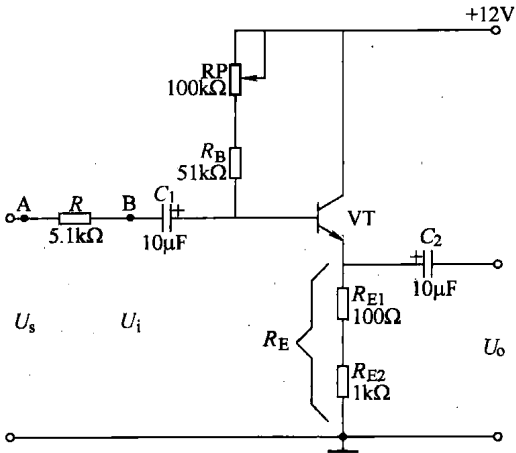


图 1-1-7 射极跟随器实验电路

(1) 静态工作点的调整

按图 1-1-7 连接电路，接通 +12V 电源，在

B 点加入 $f=1\text{kHz}$ 正弦信号 U_i (U_i 大于 100mV)，输出端用示波器监视，反复调整 RP 及信号源的输出幅度，使在示波器的屏幕上得到一个最大不失真输出波形。

然后置 $U_i=0$ ，用直流电压表测量晶体管各电极对地电位，将测得数据记入表 1-1-7。

表 1-1-7 静态工作点测量结果

U_E/V	U_B/V	U_C/V	$I_E = \frac{U_E}{R_E}/\text{mA}$

在下面整个测试过程中应保持 RP 值不变（即 I_E 不变）。

(2) 测量电压放大倍数 A_u

接入负载 $R_L=2\text{k}\Omega$ ，在 B 点加 $f=1\text{kHz}$ 正弦信号 U_i ，调节输入信号幅度，用示波器观察输出波形 U_o ，在输出最大不失真情况下，用交流毫伏表测 U_i 、 U_L 值。记入表 1-1-8。

(3) 测量输出电阻 R_o

断开负载 R_L ，在 B 点加 $f=1\text{kHz}$ 正弦信号 U_i （幅度通常取 100mV，下同），用示波器监视输出波形，测空载输出电压 U_o 。接上负载 $R_L=2\text{k}\Omega$ ，测出有负载时输出电压 U_L ，记入表 1-1-9。

表 1-1-8 电压放大倍数测量结果

U_i/V	U_L/V	$A_u = \frac{U_L}{U_i}$

表 1-1-9 输出电阻测量结果

U_o/V	U_L/V	$R_o = \left(\frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L/\text{k}\Omega$

(4) 测量输入电阻 R_i

在 A 点加 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号 U_s ，使得 U_i 在 100mV 以上，用示波器监视输出波形，用交流毫伏表分别测出 A、B 点对地的电位 U_s 、 U_i ，记入表 1-1-10。

5. 实验报告

实验报告应包括以下内容：

- 1) 分析射极跟随器的性能和特点。
- 2) 整理数据并列表进行比较。
- 3) 画出输出波形。

表 1-1-10 输入电阻测量结果

U_s/V	U_i/V	$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R/\text{k}\Omega$

1.1.4 差动放大器

1. 实验目的

- 1) 加深对差动放大器性能及特点的理解。
- 2) 学会对差动放大器的电压放大倍数、共模抑制比的测量方法。

2. 实验设备与器件

- 1) 数字示波器。
- 2) 交流毫伏表。

- 3) 直流电压表。
- 4) 信号发生器。
- 5) 模拟电路实验装置。
- 6) 直流电源, 3DG6 晶体管 ×3, 电阻、电容若干。

3. 预习要求

- 1) 差动放大器的工作原理。
- 2) 估算典型差动放大器和具有恒流源的差动放大器的静态工作点及差模电压放大倍数。

4. 实验内容及实验步骤

差动放大器实验电路如图 1-1-8 所示。

(1) 典型差动放大器性能测试

实验电路如图 1-1-8 所示, 开关 S 拨向左边构成典型差动放大器。

1) 测量静态工作点。将放大器输入端 A、B 与地短接, 接通 ±12V 直流电源, 用直流电压表测量输出电压 U_o , 调节调零电位器 RP, 使 $U_o=0$ 。

零点调好以后, 用直流电压表测量 VT₁、VT₂ 管各电极电位及发射极电阻 R_E 两端电压 U_{RE} , 记入表 1-1-11。

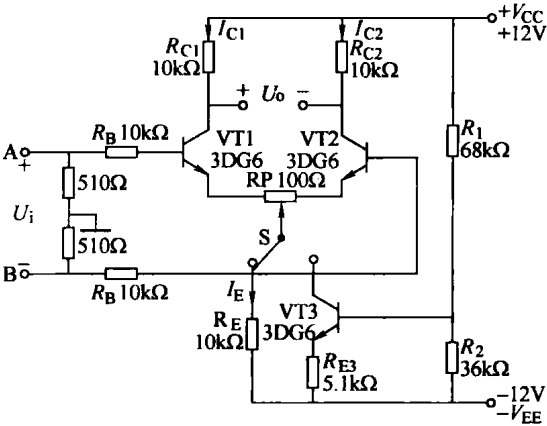


图 1-1-8 差动放大器实验电路

表 1-1-11 静态工作点测量结果

测量值	U_{C1}/V	U_{B1}/V	U_{E1}/V	U_{C2}/V	U_{R2}/V	U_{E2}/V	U_{RE}/V
计算值	I_C/mA		I_B/mA		U_{CE}/V		

2) 测量差模电压放大倍数。断开短路线, 将信号发生器的输出通过平衡输入变压器接放大器的输入端 A、B (在本实验电路中, 将信号发生器的输出端接放大器输入端 A, 信号源输出地接放大器输入 B), 构成双端输入方式, 调节信号频率 $f=1kHz$ 的正弦信号, 先使输出信号大小为零, 用示波器监视输出端电压 (VT₁ 或 VT₂ 集电极与地之间的电压)。

逐渐增大输入电压 U_i (约 100mV), 在输出波形无失真的情况下, 用交流毫伏表测 U_i 、 U_{C1} 、 U_{C2} , 并用示波器观察 U_i 、 U_{C1} 、 U_{C2} 之间的相位关系及 U_{RE} 随 U_i 改变而变化的情况。

利用 $A_{d1} = \frac{U_{C1}}{U_i}$ 、 $A_{d2} = \frac{U_{C2}}{U_i}$ 及 $A_d = \frac{|U_{C1}| + |U_{C2}|}{U_i}$ 分别计算双端输入、单端输出时的差模电压增益 A_{d1} 和 A_{d2} 及双端输入、双端输出的差模电压增益 A_d 。

3) 测量共模电压放大倍数。将放大器 A、B 短接, (去掉平衡输入变压器), 信号源的输出端与放大器 A、B 相接, 信号源的地与电路的地相接。构成共模输入方式, 调节信号发生器, 使输入信号 $U_i=1V$, $f=1kHz$ 。在输出电压无失真的情况下, 测量 U_{C1} 、 U_{C2} 。用双踪

示波器观察 U_i 、 U_{c1} 、 U_{c2} 之间的相位关系及 U_{RE} 随 U_i 变化而变化的情况。

利用 $A_{c1} = \frac{U_{c1}}{U_i}$ 、 $A_{c2} = \frac{U_{c2}}{U_i}$ 及 $A_c = \frac{|U_{c1}| - |U_{c2}|}{U_i}$ 分别计算双端输入、单端输出时的共模电压增益 A_{c1} 和 A_{c2} 及双端输入、双端输出时的共模电压增益 A_c 。

(2) 具有恒流源的差动放大电路性能测试

将图 1-1-8 电路中的开关 S 拨向右边, 构成具有恒流源的差动放大电路。重复 (1) 中的各项内容。

5. 实验报告

实验报告应包括以下内容:

1) 整理实验数据, 列表比较实验结果和理论计算值, 分析误差原因:

①静态工作点和差模电压放大倍数;

②典型差动放大电路单端输出时的共模抑制比 CMRR 实验值与理论值比较;

③典型差动放大电路单端输出 CMRR 的实测值与具有恒流源的差动放大器 CMRR 实测值比较。

2) 比较 U_i 、 U_{c1} 和 U_{c2} 之间的相位关系。

1.1.5 负反馈放大电路

1. 实验目的

1) 研究负反馈对放大电路性能的影响。

2) 研究放大器中引入负反馈电路的类型。

2. 实验设备与器件

1) 数字示波器。

2) 数字万用表。

3) 信号发生器。

4) 模拟电路实验装置。

5) 3DG6 晶体管 $\times 2$, 电阻、电容若干。

3. 预习要求

1) 复习教材中有关负反馈放大电路的内容。

2) 按实验电路估算放大电路的静态工作点 ($\beta_1 = \beta_2 = 100$)。

3) 如按深度负反馈估算, 则闭环电压放大倍数 $A_{uf} = ?$ 和测量值是否一致? 为什么?

4) 负反馈对放大电路性能的影响。

5) 用电路分析软件 (EWB、Multisim) 仿真负反馈对放大电路性能的影响。

4. 实验内容及实验步骤

两级放大电路如图 1-1-9 所示。

(1) 测量开环状态下基本放大电路的性能

1) 测量静态工作点。按图 1-1-9 连接实验电路, 两只晶体管的型号是 3DG6, 将 R_L 开路, 使电路为两级放大电路, 取 $U_i = 0$, 分别测量第一级、第二级的静态工作点, 记入表 1-1-12。