

ELECTRONIC EXPERIMENT  
AND MULTISIM SIMULATION

# 电子技术实验 与Multisim仿真

主 编 王艳春

副主编 丁方莉 罗少轩 孙长伟

ELECTRONIC EXPERIMENT  
AND MULTISIM SIMULATION

# 电子技术实验 与Multisim仿真

主 编 王艳春

副主编 丁方莉 罗少轩 孙长伟

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验与 Multisim 仿真 / 王艳春 主编. —合肥: 合肥工业大学出版社, 2011. 4  
ISBN 978-7-5650-0396-7

I. ①电… II. 王… III. ①电子技术—实验 ②电子—电路—电路设计: 计算机辅助设计—应用软件, Multisim IV. ①TN-33 ②TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 029937 号

电子技术实验与 Multisim 仿真

王艳春 主编

策划: 兰亭工作室

责任编辑 罗季重 方立松 王 磊

出 版 合肥工业大学出版社  
地 址 合肥市屯溪路 193 号  
邮 编 230009  
电 话 总编室: 0551—2903038  
发行部: 0551—2903198  
网 址 www.hfutpress.com.cn  
E-mail press@hfutpress.com.cn

版 次 2011 年 6 月第 1 版  
印 次 2011 年 6 月第 1 次印刷  
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16  
印 张 11  
字 数 265 千字  
印 刷 合肥工业大学印刷厂  
发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-0396-7

定价: 20.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题, 请与出版社发行部联系调换。

# 前言

电子技术课程是高等学校电子、电气、计算机类等专业的专业基础课程,实践性很强。电子技术课程中的许多理论知识比较抽象,需要在实验室进行验证实验,才能加深对知识的理解和掌握。因此,电子技术实验是电子技术课程重要的组成部分,它对培养学生的基本实验技能,提高学生实际动手能力、电子电路设计能力与综合应用能力起着重要的作用。

传统的实验方法是在实验室通过搭建电子电路,用仪器仪表测量验证和设计电子电路。随着科学技术的迅猛发展,集计算机技术、电子技术、信号处理技术于一体的 EDA 技术已发展成为现代电子设计的核心。在众多的 EDA 仿真软件中,美国国家仪器(National Instruments, NI)公司的 Multisim 软件是一款电子线路分析与设计的优秀仿真软件,其人性化的界面、庞大的虚拟器件仪表库和完善的分析方法,非常适合辅助电子技术课程教学,对于改革电子技术课程的教学内容和教学手段,加强学生工程实践能力和创新能力的培养,具有重要的意义。

本书按照高等学校电气、电子信息类电子技术基础课程教学基本要求,结合多年电子技术课程实践教学经验,并根据 EDA 技术的广泛应用以及教学改革不断深入的需要而编写,旨在加强学生实践能力、创新思维的培养及对 EDA 新技术的应用能力。本书中介绍的电子电路虚拟仿真实验方法是实际实验的一种辅助手段,既可作为学生上实验课前对实验内容的预先仿真,也可作为对一些实验室无法开设的实验内容以及学生自主创新的实验内容进行虚拟仿真,变被动实验为主动实验,从而提高学生学习积极性,改善实验效果。

本书共分为 6 章,第 1 章为模拟电子技术实验,介绍了 11 个模拟电路基础实验。第 2 章为数字电子技术实验,介绍了 9 个数字电路基础实验。第 3 章为 Multisim 10 使用简介,介绍了 Multisim 10 的基本功能,以及各种常用虚拟仪器的功能和使用方法。第 4 章为模拟电子技术仿真实验,介绍了 10 个模拟电路仿真实验。第 5 章为数字电子技术仿真实验,介绍了 8 个数字电路仿真实验。第 6 章为附录,介绍了电子技术实验装置及部分集成电路引脚排列,以供查阅。

本书由蚌埠学院王艳春任主编,负责全书的组织和统稿。第 1 章由铜陵学院丁方莉编写,第 2、4、5 章由蚌埠学院王艳春编写,第 3 章由蚌埠学院孙长伟编写,第 6 章由蚌埠学院罗少轩编写。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 3 月

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 模拟电子技术实验 .....          | 1  |
| 1.1 常用电子仪器的使用 .....           | 1  |
| 1.2 晶体管共射极单管放大器 .....         | 5  |
| 1.3 射极跟随器 .....               | 12 |
| 1.4 负反馈放大器 .....              | 16 |
| 1.5 差动放大器 .....               | 18 |
| 1.6 模拟运算电路 .....              | 22 |
| 1.7 电压比较器 .....               | 26 |
| 1.8 波形发生器 .....               | 29 |
| 1.9 OTL 功率放大器 .....           | 33 |
| 1.10 串联型晶体管稳压电源 .....         | 37 |
| 1.11 集成稳压器 .....              | 41 |
| 第 2 章 数字电子技术实验 .....          | 45 |
| 2.1 TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试 ..... | 45 |
| 2.2 组合逻辑电路的设计与测试 .....        | 48 |
| 2.3 译码器及其应用 .....             | 51 |
| 2.4 数据选择器及其应用 .....           | 55 |
| 2.5 触发器及其应用 .....             | 60 |
| 2.6 计数器及其应用 .....             | 65 |
| 2.7 移位寄存器及其应用 .....           | 69 |
| 2.8 555 时基电路及其应用 .....        | 74 |
| 2.9 智力竞赛抢答器 .....             | 79 |
| 第 3 章 Multisim10 使用简介 .....   | 81 |
| 3.1 Multisim10 的操作界面 .....    | 81 |
| 3.2 原理图的绘制 .....              | 86 |
| 3.3 虚拟仪器及其使用 .....            | 92 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第 4 章 模拟电子技术仿真实验</b> .....     | 100 |
| 4.1 测量晶体管输出特性 .....               | 100 |
| 4.2 单管共射极放大电路仿真实验 .....           | 101 |
| 4.3 射极跟随器仿真实验 .....               | 108 |
| 4.4 负反馈放大器仿真实验 .....              | 111 |
| 4.5 差动放大器仿真实验 .....               | 114 |
| 4.6 模拟运算电路仿真实验 .....              | 117 |
| 4.7 电压比较器仿真实验 .....               | 121 |
| 4.8 波形发生器仿真实验 .....               | 123 |
| 4.9 OTL 功率放大器仿真实验 .....           | 126 |
| 4.10 直流稳压电源仿真实验 .....             | 128 |
| <b>第 5 章 数字电子技术仿真实验</b> .....     | 131 |
| 5.1 TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试仿真实验 ..... | 131 |
| 5.2 组合逻辑电路的设计与测试仿真实验 .....        | 134 |
| 5.3 译码器及其应用仿真实验 .....             | 136 |
| 5.4 数据选择器及其应用仿真实验 .....           | 139 |
| 5.5 触发器及其应用仿真实验 .....             | 142 |
| 5.6 计数器功能测试及应用仿真实验 .....          | 146 |
| 5.7 移位寄存器及其应用仿真实验 .....           | 151 |
| 5.8 555 时基电路及其应用仿真实验 .....        | 154 |
| <b>第 6 章 附 录</b> .....            | 158 |
| 6.1 DZX-2 型电子学综合实验装置使用说明 .....    | 158 |
| 6.2 电阻器的标称值及精度色环标志法 .....         | 161 |
| 6.3 部分集成电路引脚排列 .....              | 163 |
| <b>参考文献</b> .....                 | 167 |



# 第1章 模拟电子技术实验

## 1.1 常用电子仪器的使用

### [实验目的]

1. 学习电子电路实验中常用的电子仪器——示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表、频率计等的主要技术指标、性能及正确使用方法。
2. 初步掌握用双踪示波器观察正弦信号波形和读取波形参数的方法。

### [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、交流毫伏表及频率计等。它们和万用电表一起,可以完成对模拟电子电路的静态和动态工作情况的测试。

实验中要对各种电子仪器进行综合使用,可按照信号流向,以连线简捷、调节顺手、观察与读数方便等原则合理布局。各仪器与被测实验装置之间的布局与连接如图 1-1 所示。

**注 意:**

- ① 接线时,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。
- ② 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。

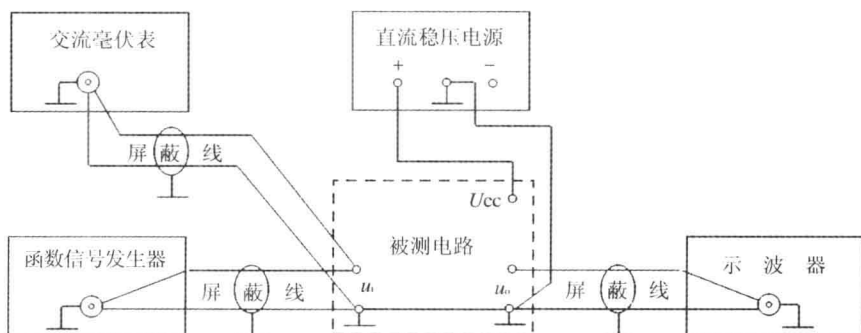


图 1-1 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

### 1. 示波器

示波器是一种用途很广的电子测量仪器,它既能直接显示电信号的波形,又能对电信号进行各种参数的测量。现着重指出下列几点:

(1) 寻找扫描光迹。将示波器Y轴显示方式置“ $Y_1$ ”或“ $Y_2$ ”,输入耦合方式置“GND”,开机预热后,若在显示屏上不出现光点和扫描基线,可按下列操作去找到扫描线:① 适当调节亮度旋钮;② 触发方式开关置“自动”;③ 适当调节垂直、水平“位移”旋钮,使扫描光迹位于屏幕中央(若示波器设有“寻迹”按键,可按下“寻迹”按键,判断光迹偏移基线的方向)。

(2) 双踪示波器一般有5种显示方式,即“ $Y_1$ ”、“ $Y_2$ ”、“ $Y_1 + Y_2$ ”三种单踪显示方式和“交替”“断续”两种双踪显示方式。“交替”显示一般适宜于输入信号频率较高时使用,“断续”显示一般适宜于输入信号频率较低时使用。

(3) 为了显示稳定的被测信号波形,“触发源选择”开关一般选为“内”触发,使扫描触发信号取自示波器内部的Y通道。

(4) 触发方式开关通常先置于“自动”调出波形后,若被显示的波形不稳定,可置触发方式开关于“常态”,通过调节“触发电平”旋钮找到合适的触发电压,使被测试的波形稳定地显示在示波器屏幕上。

有时,由于选择了较慢的扫描速率,显示屏上将会出现闪烁的光迹,但被测信号的波形不在X轴方向左右移动,这样的现象仍属于稳定显示。

(5) 适当调节“扫描速率”开关及“Y轴灵敏度”开关使屏幕上显示1~2个周期的被测信号波形。

#### 注 意:

① 在测量幅值时,应将“Y轴灵敏度微调”旋钮置于“校准”位置,即顺时针旋到底,且听到关的声音。

② 在测量周期时,应注意将“X轴扫速微调”旋钮置于“校准”位置,即顺时针旋到底,且听到关的声音。

③ 注意“扩展”旋钮的位置。

被测波形在屏幕坐标刻度上垂直方向所占的格数(DIV)与“Y轴灵敏度”开关指示值(VOLTS/DIV)的乘积,即为信号幅值的实测值。

被测信号波形一个周期在屏幕坐标刻度水平方向所占的格数(DIV)与“扫速”开关指示值(SEC/DIV)的乘积,即为信号频率的实测值。

### 2. 函数信号发生器

函数信号发生器按需要输出正弦波、方波、三角波三种信号波形。输出电压最大可达 $20V_{p-p}$ 。通过输出衰减开关和输出幅度调节旋钮,可使输出电压在mV级到V级范围内连续调节。函数信号发生器的输出信号频率可以通过频率分档开关进行调节。

函数信号发生器作为信号源,它的输出端不允许短路。

### 3. 交流毫伏表

交流毫伏表只能在其工作频率范围之内,用来测量正弦交流电压的有效值。

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上,然后在测量中逐挡减小量程。

## [实验设备与器件]

函数信号发生器;双踪示波器;交流毫伏表。



## [实验内容]

## 1. 用机内校正信号对示波器进行自检

## (1) 扫描基线调节

将示波器的显示方式开关置于“单踪”显示( $Y_1$  或  $Y_2$ ),输入耦合方式开关置“GND”,触发方式开关置于“自动”。开启电源开关后,调节“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”等旋钮,使荧光屏上显示一条细而且亮度适中的扫描基线。然后调节“X轴位移”和“Y轴位移”旋钮,使扫描线位于屏幕中央,并且能上下左右移动自如。

## (2) 测试“校正信号”波形的幅度、频率

将示波器的“校正信号”通过专用电缆线引入选定的Y通道( $Y_1$  或  $Y_2$ ),将Y轴输入耦合方式开关置于“AC”或“DC”,触发源选择开关置“内”,内触发源选择开关置“ $Y_1$ ”或“ $Y_2$ ”。调节X轴“扫描速率”开关(SEC/DIV)和Y轴“输入灵敏度”开关(VOLTS/DIV),使示波器显示屏上显示出一个或数个周期稳定的方波波形。

① 校准“校正信号”幅度。将“Y轴灵敏度微调”旋钮置“校准”位置,“Y轴灵敏度”开关置适当位置,读取校正信号幅度,记入表1-1。

② 校准“校正信号”频率。将“扫速微调”旋钮置“校准”位置,“扫速”开关置适当位置,读取校正信号周期,记入表1-1。

③ 测量“校正信号”的上升时间和下降时间。调节“Y轴灵敏度”开关及微调旋钮,并移动波形,使方波波形在垂直方向上正好位于中心轴上,且上、下对称,便于阅读。通过扫速开关逐级提高扫描速度,使波形在X轴方向扩展(必要时可以利用“扫速扩展”开关将波形再扩展5倍),并同时调节触发电平旋钮,从显示屏上清楚的读出上升时间和下降时间,记入表1-1。

**注意:**不同型号示波器标准值有所不同,请按所使用示波器将标准值填入表中。

表 1-1 校正信号幅度、频率测量

|                  | 标 准 值 | 实 测 值 |
|------------------|-------|-------|
| 幅度 $U_{p-p}$ (V) |       |       |
| 频率 $f$ (kHz)     |       |       |
| 上升沿时间( $\mu$ s)  |       |       |
| 下降沿时间( $\mu$ s)  |       |       |

## 2. 用示波器和交流毫伏表测量信号参数

调节函数信号发生器有关旋钮,使输出频率分别为100Hz、1kHz、10kHz、100kHz,有效值均为1V(交流毫伏表测量值)的正弦波信号。

改变示波器“扫速”开关及“Y轴灵敏度”开关等位置,测量信号源输出电压频率及峰峰值,记入表1-2。

表 1-2 信号参数测量

| 信号电压频率 | 示波器测量值 |        | 信号电压<br>毫伏表读数(V) | 示波器测量值 |        |
|--------|--------|--------|------------------|--------|--------|
|        | 周期(ms) | 频率(Hz) |                  | 峰峰值(V) | 有效值(V) |
| 100Hz  |        |        |                  |        |        |
| 1kHz   |        |        |                  |        |        |
| 10kHz  |        |        |                  |        |        |
| 100kHz |        |        |                  |        |        |

### 3. 测量两波形间相位差

(1) 观察双踪显示波形“交替”与“断续”两种显示方式的特点

$Y_1$ 、 $Y_2$  均不加输入信号,输入耦合方式置“GND”,扫速开关置扫速较低挡位(如  $0.5\text{s}/\text{DIV}$  挡)和扫速较高挡位(如  $5\mu\text{s}/\text{DIV}$  挡),把显示方式开关分别置“交替”和“断续”位置,观察两条扫描基线的显示特点,记录之。

(2) 用双踪显示测量两波形间相位差

① 按图 1-2 所示连接实验电路,将函数信号发生器的输出电压调至频率为  $1\text{kHz}$ ,幅值为  $2\text{V}$  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  $u_i$  和  $u_R$ ,分别加到双踪示波器的  $Y_1$  和  $Y_2$  输入端。

**注意:**为便于稳定波形,比较两波形相位差,应使内触发信号取自被设定作为测量基准的一路信号。

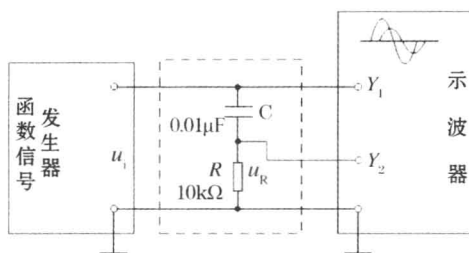


图 1-2 两波形相位差测量电路

② 把显示方式开关置“交替”,将  $Y_1$  和  $Y_2$  输入耦合方式开关置“GND”,调节  $Y_1$ 、 $Y_2$  的上下移位旋钮,使两条扫描基线重合。

③ 将  $Y_1$ 、 $Y_2$  输入耦合方式开关置“AC”,调节触发电平、扫速开关及  $Y_1$ 、 $Y_2$  灵敏度开关位置,使在荧屏上显示出易于观察的两个相位不同的正弦波形  $u_i$  及  $u_R$ ,如图 1-3 所示。根据两波形在水平方向差距  $X$ ,及信号周期  $X_T$ ,则可求得两波形相位差  $\theta = \frac{X(\text{DIV})}{X_T(\text{DIV})} \times 360^\circ$  式中, $X_T$  为一周期所占格数, $X$  为两波形在  $X$  轴方向差距格数。

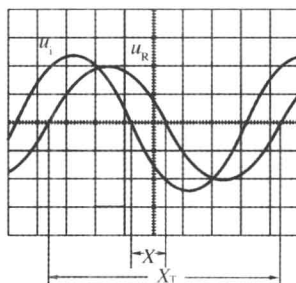


图 1-3 双踪示波器显示两相位不同的正弦波

记录两波形相位差于表 1-3。

表 1-3 两波形间相位差测量

| 一周期格数 $X_T$ | 两波形 $X$ 轴差距格数 $X$ | 相位差 $\theta$ |     |
|-------------|-------------------|--------------|-----|
|             |                   | 实测值          | 计算值 |
|             |                   |              |     |

注意:为读数和计算方便,可适当调节扫速开关及微调旋钮,使波形一周期占整数格。

### [实验总结]

1. 整理实验数据,并进行分析。
2. 问题讨论
  - (1) 如何操纵示波器有关旋钮,以便从示波器显示屏上观察到稳定、清晰的波形?
  - (2) 用双踪显示波形,并要求比较相位时,为在显示屏上得到稳定波形,应怎样选择下列开关的位置?
    - ① 显示方式选择( $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_1 + Y_2$ 、交替、断续);
    - ② 触发方式(常态、自动);
    - ③ 触发源选择(内、外);
    - ④ 内触发源选择( $Y_1$ 、 $Y_2$ 、交替)。
3. 函数信号发生器有哪几种输出波形?它的输出端能否短接?如用屏蔽线作为输出引线,则屏蔽层一端应该接在哪个接线柱上?
4. 交流毫伏表是用来测量正弦波电压还是非正弦波电压?它的表头指示值是被测信号的什么数值?它是否可以用来测量直流电压的大小?

### [预习要求]

1. 阅读实验附录中有关示波器部分内容。
2. 已知  $C = 0.01\mu\text{F}$ 、 $R = 10\text{k}\Omega$ ,计算图 1-2 中  $RC$  移相网络的阻抗角。

## 1.2 晶体管共射极单管放大器

### [实验目的]

1. 学会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、输出电阻及最大不失真输出电压测试方法。
3. 熟悉常用电子仪器及模拟电路实验设备的使用。

### [实验原理]

图 1-4 为电阻分压式工作点稳定单管放大器实验电路图。它的偏置电路采用  $R_{B1}$  和  $R_{B2}$  组成的分压电路,并在发射极中接有电阻  $R_E$ ,以稳定放大器的静态工作点。当在放大器的输入端加入输入信号  $u_i$  后,在放大器的输出端便可得到一个与  $u_i$  相位相反,幅值被放大的输出信号  $u_o$ ,从而实现了电压放大。

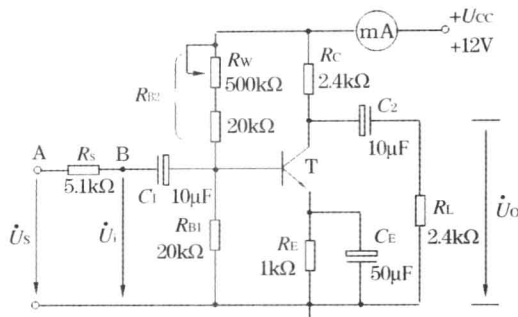


图 1-4 共射极单管放大器实验电路

在图 1-4 所示电路中,当流过偏置电阻  $R_{B1}$  和  $R_{B2}$  的电流远大于晶体管 T 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。

$$U_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$$

$$I_E \approx \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \approx I_C$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

电压放大倍数

$$A_u = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}}$$

输入电阻

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$$

输出电阻

$$R_o \approx R_C$$

由于电子器件性能的分散性比较大,因此在设计和制作晶体管放大电路时,离不开测量和调试技术。在设计前应测量所用元器件的参数,为电路设计提供必要的依据,在完成设计和装配以后,还必须测量和调试放大器的静态工作点和各项性能指标。一个优质放大器,必定是理论设计与实验调整相结合的产物。因此,除了学习放大器的理论知识和设计方法外,还必须掌握必要的测量和调试技术。

放大器的测量和调试一般包括:放大器静态工作点的测量与调试,消除干扰与自激振荡及放大器各项动态参数的测量与调试等。

### 1. 放大器静态工作点的测量与调试

#### (1) 静态工作点的测量

测量放大器的静态工作点,应在输入信号  $u_i = 0$  的情况下进行,即将放大器输入端与地端短接,然后选用量程合适的直流毫安表和直流电压表,分别测量晶体管的集电极电流  $I_C$  以及各电极对地的电位  $U_B$ 、 $U_C$  和  $U_E$ 。一般实验中,为了避免断开集电极,所以采用测量电压  $U_E$  或  $U_C$ ,然后算出  $I_C$  的方法,例如,只要测出  $U_E$ ,即可用

$$I_C \approx I_E = \frac{U_E}{R_E} \text{ 算出 } I_C \text{ (也可根据 } I_C = \frac{U_{CC} - U_C}{R_C} \text{, 由 } U_C \text{ 确定 } I_C \text{),}$$

同时也能算出  $U_{BE} = U_B - U_E$ ,  $U_{CE} = U_C - U_E$ 。

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。

## (2) 静态工作点的调试

放大器静态工作点的调试是指对管子集电极电流  $I_C$  (或  $U_{CE}$ ) 的调整与测试。

静态工作点是否合适,对放大器的性能和输出波形都有很大影响。如工作点偏高,放大器在加入交流信号以后易产生饱和失真,此时  $u_o$  的负半周将被削底,如图 1-5(a) 所示;如工作点偏低则易产生截止失真,即  $u_o$  的正半周被缩顶(一般截止失真不如饱和失真明显),如图 1-5(b) 所示。这些情况都不符合不失真放大的要求。所以在选定工作点以后还必须进行动态调试,即在放大器的输入端加入一定的输入电压  $u_i$ ,检查输出电压  $u_o$  的大小和波形是否满足要求。如不满足,则应调节静态工作点的位置。



图 1-5 静态工作点对  $u_o$  波形失真的影响

改变电路参数  $U_{CC}$ 、 $R_C$ 、 $R_B$  ( $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$ ) 都会引起静态工作点的变化,如图 1-6 所示。但通常采用调节偏置电阻  $R_{B2}$  的方法来改变静态工作点,如减小  $R_{B2}$ ,则可使静态工作点提高等。

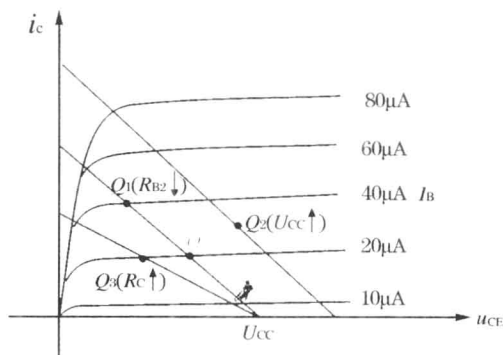


图 1-6 电路参数对静态工作点的影响

最后还要说明的是,上面所说的工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的,应该是相对信号的幅度而言,如输入信号幅度很小,即使工作点较高或较低也不一定会出现失真。所以确切地说,产生波形失真是信号幅度与静态工作点设置配合不当所致。如需满足较大信号幅度的要求,静态工作点最好尽量靠近交流负载线的中点。

## 2. 放大器动态指标测试

放大器动态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(动态范围)和通频带等。

### (1) 电压放大倍数 $A_u$ 的测量

调整放大器到合适的静态工作点,然后加入输入电压  $u_i$ ,在输出电压  $u_o$  不失真的情况下,用交流毫伏表测出  $u_i$  的有效值  $U_i$  和  $u_o$  的有效值  $U_o$ ,则

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

### (2) 输入电阻 $R_i$ 的测量

为了测量放大器的输入电阻,按图 1-7 所示电路在被测放大器的输入端与信号源之间串入一已知电阻  $R$ ,在放大器正常工作的情况下,用交流毫伏表测出  $U_S$  和  $U_i$ ,则根据输入电阻的定义可得

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_R}{R}} = \frac{U_i}{U_S - U_i} R$$

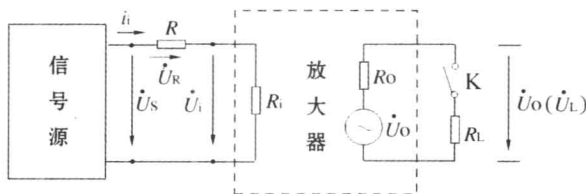


图 1-7 输入、输出电阻测量电路

#### 注 意:

① 由于电阻  $R$  两端没有电路公共接地点,所以测量  $R$  两端电压  $U_R$  时必须分别测出  $U_S$  和  $U_i$ ,然后按  $U_R = U_S - U_i$  求出  $U_R$  值。

② 电阻  $R$  的值不宜取得过大或过小,以免产生较大的测量误差,通常取  $R$  与  $R_i$  为同一数量级为好,本实验  $R$  可取  $1 \sim 2 \text{ k}\Omega$ 。

### (3) 输出电阻 $R_o$ 的测量

按图 1-7 所示电路,在放大器正常工作条件下,测出输出端不接负载  $R_L$  的输出电压  $U_o$  和接入负载后的输出电压  $U_L$ ,根据

$$U_L = \frac{R_L}{R_o + R_L} U_o \text{ 即可求出 } R_o = \left( \frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L,$$

注意:在测试中,必须保持  $R_L$  接入前后输入信号的大小不变。

### (4) 最大不失真输出电压 $U_{opp}$ 的测量(最大动态范围)

如上所述,为了得到最大动态范围,应将静态工作点调在交流负载线的中点。为此在放大器正常工作情况下,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  $u_o$ ,当输出波形同时出现削底和缩顶现象(如图 1-8 所示)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,且无明显失真时,用交流毫伏表测出  $U_o$ (有效值),则动态范围等于  $2\sqrt{2}U_o$ ,或用示波器直接读出  $U_{opp}$ 。

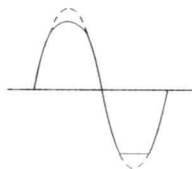


图 1-8 静态工作点正常,输入信号太大引起的失真

### (5) 放大器幅频特性的测量

放大器的幅频特性是指放大器的电压放大倍数  $A_u$  与输入信号频率  $f$  之间的关系曲线。单管阻容耦合放大电路的幅频特性曲线如图 1-9 所示。 $A_{um}$  为中频电压放大倍数,通常规定电压放大倍数随频率变化下降到中频放大倍数的  $1/\sqrt{2}$  倍,即  $0.707A_{um}$ ,所对应的频率分别称为下限频率  $f_L$  和上限频率  $f_H$ ,则通频带  $f_{BW} = f_H - f_L$ 。

放大器的幅率特性就是测量不同频率信号时的电压放大倍数  $A_u$ 。为此,可采用前述测  $A_u$  的方法,每改变一个信号频率,测量其相应的电压放大倍数。

**注意:**测量时取点要恰当,在低频段与高频段应多测几点,在中频段可以少测几点。此外,在改变频率时,要保持输入信号的幅度不变,且输出波形不失真。

### [实验设备与器件]

+12V 直流电源;函数信号发生器;双踪示波器;交流毫伏表;直流电压表;直流毫安表;频率计;万用电表;3DG6  $\times 1$  ( $\beta = 50 \sim 100$ ) 或 9011  $\times 1$  (管脚排列如图 1-10 所示)、电阻器、电容器若干。

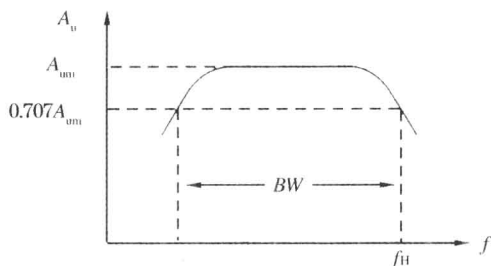


图 1-9 幅频特性曲线

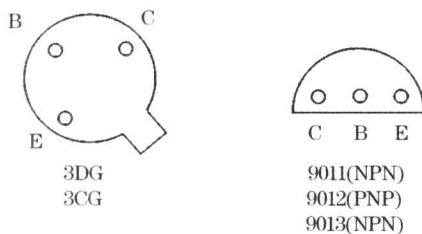


图 1-10 晶体三极管管脚排列

### [实验内容]

实验电路如图 1-4 所示。各电子仪器可按实验 1.1 中图 1-1 所示方式连接。为防止干扰,各仪器的公共端必须连在一起,同时信号源、交流毫伏表和示波器的引线应采用专用电缆线或屏蔽线,如使用屏蔽线,则屏蔽线的外包金属网应接在公共接地端上。

#### 1. 调试静态工作点

接通直流电源前,先将  $R_W$  调至最大,函数信号发生器输出旋钮旋至零。接通 +12V 电源、调节  $R_W$ ,使  $I_C = 2.0\text{mA}$  (即  $U_E = 2.0\text{V}$ )。用直流电压表测量  $U_B$ 、 $U_E$ 、 $U_C$  及用万用电表测量  $R_{B2}$  值,记入表 1-4。

表 1-4 静态工作点测试 ( $I_C = 2\text{mA}$ )

| 测 量 值           |                 |                 |                          | 计 算 值              |                    |                  |
|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| $U_B(\text{V})$ | $U_E(\text{V})$ | $U_C(\text{V})$ | $R_{B2}(\text{k}\Omega)$ | $U_{BE}(\text{V})$ | $U_{CE}(\text{V})$ | $I_C(\text{mA})$ |
|                 |                 |                 |                          |                    |                    |                  |

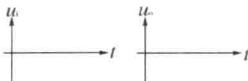
#### 2. 测量电压放大倍数

在放大器输入端加入频率为 1kHz 的正弦信号  $u_s$ ,调节函数信号发生器的输出旋钮,使放大器输入电压  $U_i \approx 10\text{mV}$ ,同时用示波器观察放大器输出电压  $u_o$  波形,在波形不失真的条



件下用交流毫伏表测量下述三种情况下的  $U_o$  值,并用双踪示波器观察  $u_o$  和  $u_i$  的相位关系,记入表 1-5。

表 1-5 电压放大倍数测量 ( $I_C = 2.0\text{mA}$   $U_i = 10\text{mV}$ )

| $R_C (\text{k}\Omega)$ | $R_L (\text{k}\Omega)$ | $U_o (\text{V})$ | $A_u$ | 观察记录一组 $u_o$ 和 $u_i$ 波形                                                            |
|------------------------|------------------------|------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.4                    | $\infty$               |                  |       |  |
| 1.2                    | $\infty$               |                  |       |                                                                                    |
| 2.4                    | 2.4                    |                  |       |                                                                                    |

### 3. 观察静态工作点对电压放大倍数的影响

置  $R_C = 2.4\text{k}\Omega$ ,  $R_L = \infty$ ,  $U_i$  适量,调节  $R_W$ ,用示波器监视输出电压波形,在  $u_o$  不失真的条件下,测量数组  $I_C$  和  $U_o$  值,记入表 1-6。

注意:测量  $I_C$  时,要先将信号源输出旋钮旋至零(即使  $U_i = 0\text{V}$ )。

表 1-6 静态工作点对电压放大倍数的影响 ( $R_C = 2.4\text{k}\Omega$   $R_L = \infty$   $U_i = 10\text{mV}$ )

| $I_C (\text{mA})$ |  |  | 2.0 |  |  |
|-------------------|--|--|-----|--|--|
| $U_o (\text{V})$  |  |  |     |  |  |
| $A_u$             |  |  |     |  |  |

### 4. 观察静态工作点对输出波形失真的影响

置  $R_C = 2.4\text{k}\Omega$ ,  $R_L = \infty$ ,  $u_i = 0$ ,调节  $R_W$  使  $I_C = 2.0\text{mA}$ ,测出  $U_{CE}$  值,再逐步加大输入信号,使输出电压  $u_o$  足够大但不失真。然后保持输入信号不变,分别增大和减小  $R_W$ ,使波形出现失真,绘出  $u_o$  的波形,并测出失真情况下的  $I_C$  和  $U_{CE}$  值,记入表 1-7 中。

注意:每次测  $I_C$  和  $U_{CE}$  值时,都要将信号源的输出旋钮旋至零。

表 1-7 静态工作点对输出波形失真影响测试 ( $R_C = 2.4\text{k}\Omega$   $R_L = \infty$ )

| $I_C (\text{mA})$ | $U_{CE} (\text{V})$ | $u_o$ 波形                                                                            | 失真情况 | 管子工作状态 |
|-------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|                   |                     |  |      |        |
| 2.0               |                     |  |      |        |
|                   |                     |  |      |        |

### 5. 测量最大不失真输出电压

置  $R_C = 2.4\text{k}\Omega$ ,  $R_L = 2.4\text{k}\Omega$ ,按照实验原理 2(4) 所述方法,同时调节输入信号的幅度和电位器  $R_W$ ,用示波器和交流毫伏表测量  $U_{opp}$  及  $U_o$  值,记入表 1-8。

表 1-8 最大不失真输出电压测量 ( $R_C = 2.4\text{k}\Omega$   $R_L = 2.4\text{k}\Omega$ )

| $I_C (\text{mA})$ | $U_{im} (\text{mV})$ | $U_{om} (\text{V})$ | $U_{opp} (\text{V})$ |
|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
|                   |                      |                     |                      |

### \* 6. 测量输入电阻和输出电阻

置  $R_C = 2.4\text{k}\Omega$ ,  $R_L = 2.4\text{k}\Omega$ ,  $I_C = 2.0\text{mA}$ ,输入  $f = 1\text{kHz}$  的正弦信号,加到  $u_s$  端。在输出电压  $u_o$  不失真的情况下,用交流毫伏表测出  $U_s$ ,  $U_i$  和  $U_L$ ,记入表 1-9。

保持  $U_s$  不变,断开  $R_L$ ,测量输出电压  $U_o$ ,记入表 1-9。

表 1-9 输入电阻和输出电阻测量 ( $I_c = 2\text{mA}$   $R_c = 2.4\text{k}\Omega$   $R_L = 2.4\text{k}\Omega$ )

| $U_S(\text{mV})$ | $U_i(\text{mV})$ | $R_i(\text{k}\Omega)$ |     | $U_{Li}(\text{V})$ | $U_o(\text{V})$ | $R_o(\text{k}\Omega)$ |     |
|------------------|------------------|-----------------------|-----|--------------------|-----------------|-----------------------|-----|
|                  |                  | 测量值                   | 计算值 |                    |                 | 测量值                   | 计算值 |
|                  |                  |                       |     |                    |                 |                       |     |

## \* 7. 测量幅频特性曲线

取  $I_c = 2.0\text{mA}$ ,  $R_c = 2.4\text{k}\Omega$ ,  $R_L = 2.4\text{k}\Omega$ , 保持输入信号  $u_i$  的幅度不变, 改变信号源频率  $f$ , 逐点测出相应的输出电压  $U_o$ , 记入表 1-10。

注意: 为了信号源频率  $f$  取值合适, 可先粗测一下, 找出中频范围, 然后再仔细读数。

表 1-10 幅频特性曲线测量 ( $U_i = 100\text{mV}$ )

|                 | $f_1$ | $f_o$ | $f_n$ |
|-----------------|-------|-------|-------|
| $f(\text{kHz})$ |       |       |       |
| $U_o(\text{V})$ |       |       |       |
| $A_u = U_o/U_i$ |       |       |       |

## [实验总结]

1. 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比较(取一组数据进行比较), 分析产生误差原因。
2. 总结  $R_c$ 、 $R_L$  及静态工作点对放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的影响。
3. 讨论静态工作点变化对放大器输出波形的影响。
4. 分析讨论在调试过程中出现的问题。

## [预习要求]

1. 阅读教材中有关单管放大电路的内容并估算实验电路的性能指标。

假设 3DG6 的  $\beta = 100$ ,  $R_{B1} = 20\text{k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 60\text{k}\Omega$ ,  $R_c = 2.4\text{k}\Omega$ ,  $R_L = 2.4\text{k}\Omega$ 。估算放大器的静态工作点, 电压放大倍数  $A_u$ , 输入电阻  $R_i$  和输出电阻  $R_o$ 。

2. 能否用直流电压表直接测量晶体管的  $U_{BE}$ ? 为什么实验中要采用测  $U_B$ 、 $U_E$ , 再间接算出  $U_{BE}$  的方法?

3. 怎样测量  $R_{B2}$  阻值?

4. 当调节偏置电阻  $R_{B2}$ , 使放大器输出波形出现饱和或截止失真时, 晶体管的管压降  $U_{CE}$  怎样变化?

5. 改变静态工作点对放大器的输入电阻  $R_i$  有否影响? 改变外接电阻  $R_L$  对输出电阻  $R_o$  有否影响?

6. 在测试  $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  时, 怎样选择输入信号的大小和频率? 为什么信号频率一般选  $1\text{kHz}$ , 而不选  $100\text{kHz}$  或更高?

7. 测试中, 如果将函数信号发生器、交流毫伏表、示波器中任一仪器的两个测试端子接线换位(即各仪器的接地端不再连在一起), 将会出现什么问题?

[备注] 图 1-11 所示为共射极单管放大器与带有负反馈的两级放大器共用实验模块。如将  $K_1$ 、 $K_2$  断开, 则前级(I) 为典型电阻分压式单管放大器; 如将  $K_1$ 、 $K_2$  接通, 则前级(I) 与后级(II) 接通, 组成带有电压串联负反馈两级放大器。