



高等学校应用型“十二五”规划教材·电子信息类

# 模拟电子技术基础 实验与综合设计 仿真实训教程

李雪梅 童强 何光普 编著



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

高等学校应用型“十二五”规划教材·电子信息类

# 模拟电子技术基础实验 与综合设计仿真实训教程

李雪梅 童强 何光普 编著

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书是模拟电子技术基础课程的配套实验与课程设计教材。全书共分为三大部分,第一部分为基础实验教学,主要介绍模拟电子技术课程各个章节的验证性实验和基础性实验。第二部分为综合实用电子电路仿真设计与分析,主要收集整理了近几年教学中实施的有关模拟电子电路的综合性设计和课程设计项目,具有一定实用性、趣味性和典型性。第三部分为基于 Proteus 的电子电路仿真设计,主要介绍利用 Proteus 软件进行电子电路辅助设计和辅助分析的方法和实例。

本书面向实际应用,提供了大量的设计方案和参考电路,而且每个综合设计实验均配有原理说明、仿真设计和思考题。可作为高等学校电子、电气、信息、通信、自动化、测控等专业本、专科生模拟电子技术的实验指导和课程设计教材,也可为参加各类电子设计竞赛、毕业设计、工程项目的人员提供极其有用的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础实验与综合设计仿真实训教程/李雪梅,童强,何光普编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2015.1

高等学校应用型“十二五”规划教材·电子信息类

ISBN 978-7-5606-3536-1

I. ①模… II. ①李… ②童… ③何… III. ①模拟电路—电子技术—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 286377 号

策 划 李惠萍

责任编辑 李惠萍 宁晓蓉

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 9

字 数 205千字

印 数 1~3000册

定 价 17.00元

ISBN 978-7-5606-3536-1/TN

**XDUP 3828001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

## 前 言

模拟电子技术基础课程是电子、电气、控制、通信与计算机类工科专业的一门专业技术基础课程。它对于培养学生初步具备扎实的电子电路分析理论功底具有重要的作用,同时课程本身具有较强的工程实践性,能起到提高实验技术,加强实践能力,启发创新思维的效果。

本书作为模拟电子技术基础课程配套的实验与课程设计指导书,是在多年教学实践和课程改革的基础上,参照国家教委《高等工业学校电子技术基础教学基本要求》及《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的文件精神,以培养卓越的电子技术工程师为出发点,整理自编讲义与实战项目而编著的。

考虑到不同专业对这门课程的课时安排和学习要求不同,本书在内容上既有基础实验教学部分,又有综合实用电子电路分析与设计部分。其中,基础实验教学部分安排的13个基础实验涵盖了常规模拟电子技术课程教学各个章节的验证性和综合性实验,强调对学生模拟电子技术基本实验技能和实验方法的培养。

在综合实用电子电路分析与设计部分,本书渐进性地安排了10个具有一定实用性、趣味性和典型性的综合设计性实验,既可以作为学生学习完模拟电路基础知识后的课程设计要求,又可以作为“任务驱动、项目导向”式教学的实例,能够同时适应模拟电子技术课程设计要求独立设课和不独立设课的要求。每个综合设计项目都附有设计要求、设计参考方案和仿真测试。在教学中,我们倡导让多数学生利用课余时间,按1~2人/组的分组方式,通过自学或引导,在寝室和学校电子实验室中独立完成实验内容,最终由教师对学生制作完成的设计作品进行评定打分。这样可以充分调动学生学习模拟电路知识的积极性和主动性,使学生在实践过程中加深对模拟电路的理解、思索、探究和研讨。

从事电子产品设计、开发等工作的人员,经常需要对所设计的电路进行仿真模拟和调试。其目的,一方面是验证所设计的电路是否能达到设计要求的技术指标,另一方面,通过改变电路中元器件的参数,使整个电路性能达到最佳值,同时缩短研发周期,降低设计成本。为了适应新时代发展的要求,突出借助于计算机仿真平台对电子电路进行辅助设计和辅助分析的能力和方法的培养,本书在第三部分专门安排了一章介绍基于Proteus的电子电路仿真设计方法和实例,并且在第二章的综合实用电路设计部分,每个实验均利用了Proteus软件来对模拟电路进行仿真验证或实验演示。作为电子类相关课程的辅助教学和实训手段,仿真设计既可以弥补实验仪器、元器件缺乏带来的不足,又可以帮助学生更快、更好地掌握课堂讲述的内容,加深对概念、原理的理解,弥补课堂理论教学的不足,进一步培养学生的综合分析能力、排除故障能力和开发、创新能力。由于仿真软件的限制,仿真电路图(加框图)中元件序号都为正体、主体字,相应文字内容随图。

本书的主要实验设备包括模拟电子技术实验箱、信号发生器、示波器、数字万用表、交流毫伏表和直流电源等。综合设计实践主要包括项目的选题、开题、实施和验收等过程,要求学生能够掌握电子产品开发的整个过程,提高学生的模拟电路设计、制作、调试能力。

实验要求学生认真做好课前预习，积极查找相关技术资料，如实记录实验数据，独立写出严谨、有理论分析、实事求是、文理通顺、字迹端正的实验报告。

参加本书编写工作的有李雪梅、童强、何光普、黄川等，其中李雪梅编写了第一章和第三章，童强编写了第二章，何光普负责统稿和审阅。近两年参加过本书实验和课程设计教学工作的余江、黄川等同志，为本书的编写和应用提供了宝贵的意见和有力的支持，在此表示衷心的感谢。

本书既可作为高等院校电子、电气、信息、通信、自动化、测控等专业的本、专科实验教材，同时也可作为参加各类电子设计竞赛学生自学的参考书，还可供相关工程技术人员参考。

编著

2014年8月

# 目 录

<b>第一章 基础实验教学</b> .....	1
实验一 晶体管共射极单管放大器 .....	1
实验二 射极跟随器 .....	9
实验三 场效应管放大器 .....	13
实验四 负反馈放大器 .....	17
实验五 差动放大器 .....	21
实验六 RC 正弦波振荡器 .....	26
实验七 集成运算放大器的基本应用(模拟运算电路) .....	31
实验八 集成运算放大器的基本应用(有源滤波电路) .....	39
实验九 集成运算放大器的基本应用(电压比较电路) .....	43
实验十 低频功率放大器(OTL 功率放大器) .....	49
实验十一 集成音频功率放大器 LM386 的应用 .....	53
实验十二 直流稳压电源 .....	57
实验十三 晶闸管主要特性参数测量及应用 .....	61
<b>第二章 综合实用电子电路仿真设计与分析</b> .....	64
综合设计项目一 扩音机前置放大电路 .....	64
综合设计项目二 低噪声小信号放大器 .....	67
综合设计项目三 音频滤波器设计 .....	71
综合设计项目四 楼道灯声光自动控制电路 .....	74
综合设计项目五 多路输出直流稳压电源设计 .....	78
综合设计项目六 频率可调的简易波形发生器 .....	82
综合设计项目七 集成运算放大器的综合应用及信号源制作 .....	86
综合设计项目八 双限值的温度控制电路 .....	93
综合设计项目九 温度监测及控制电路 .....	97
综合设计项目十 AD592 温度采集与转换信号调理电路 .....	104
<b>第三章 基于 Proteus 的电子电路仿真设计</b> .....	112
3.1 Proteus 软件简介 .....	112
3.1.1 Proteus 软件组成 .....	112
3.1.2 Proteus 软件特点 .....	112
3.2 Proteus 虚拟系统仿真 .....	113
3.2.1 操作工具 .....	113
3.2.2 Proteus 仿真库简介 .....	114
3.2.3 激励源 .....	116
3.2.4 虚拟仪器 .....	116
3.2.5 探针 .....	116

3.2.6	电路图表分析 .....	117
3.3	Proteus 软件基本操作 .....	117
3.3.1	Proteus ISIS 工作界面 .....	117
3.3.2	基本操作 .....	118
3.3.3	其他操作 .....	119
3.3.4	电源与地 .....	119
3.3.5	交互式电路仿真 .....	120
3.4	基于 Proteus 的电路设计与仿真实例 .....	120
3.4.1	模拟电路仿真 .....	120
3.4.2	数字电路仿真 .....	121
3.5	模拟电路仿真实验范例(共射极单管放大电路) .....	123
附录 1	Proteus 菜单说明 .....	130
附录 2	电子仪器使用注意事项 .....	133
附录 3	温度传感器资料 .....	135
参考文献	.....	138

# 第一章 基础实验教学

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、观察与读数方便为原则进行合理布局,各仪器与被测实验装置之间的布局与连接如图 1.1 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。

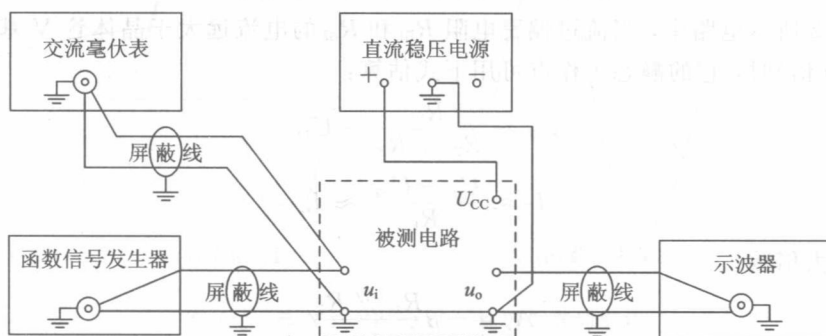


图 1.1 基本模拟电子技术实验系统布局图

## 实验一 晶体管共射极单管放大器

### 一、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的测试方法。
- (3) 熟悉常用电子仪器仪表的使用。

### 二、实验原理

图 1.2 为电阻分压式静态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  $R_{B2}$  组成分压电路,并在发射极接有电阻  $R_E$ ,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。

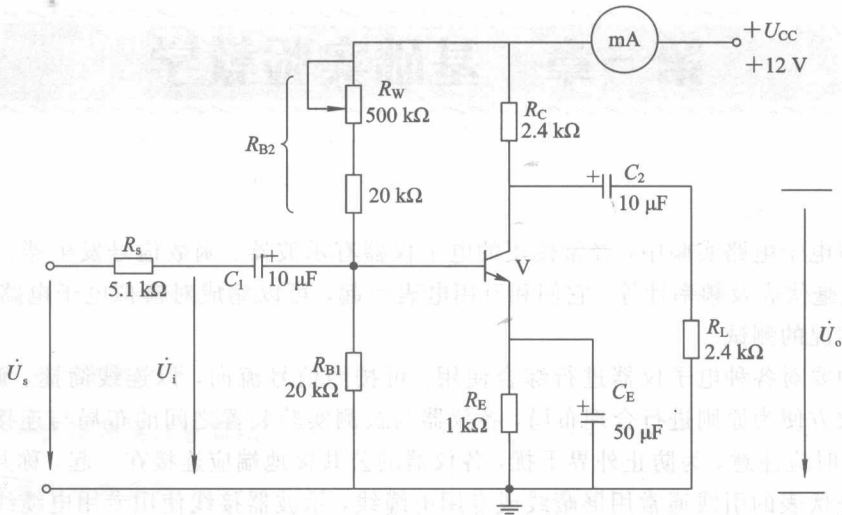


图 1.2 共射极单管放大器实验电路

在图 1.2 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 V 基极电流  $I_B$  (一般 5~10 倍) 时, 它的静态工作点可用下式估算:

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

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

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  $U_E$ 。实验中为了避免断开集电极,一般采用先测量电压  $U_E$  或  $U_C$ ,然后算出  $I_C$  的方法。

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

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三极管集电极电流  $I_C$  (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。如静态工作点偏高,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 1.3(a) 所示;如静态工作点偏低则易产生截止失真,即  $u_o$  的正半周被缩顶,如图 1.3(b) 所示。这些情况都不符合不失真放大的要求。所以在选定静态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。

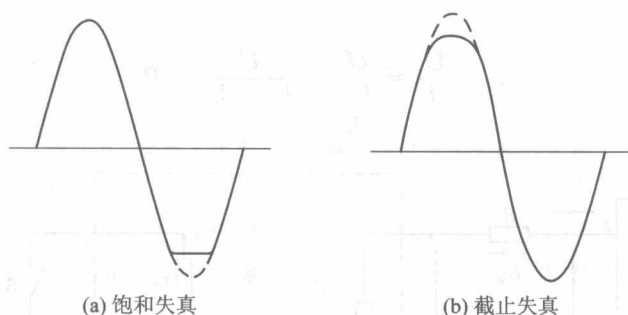


图 1.3 静态工作点  $Q$  对  $u_o$  波形失真的影响

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 1.4 所示。

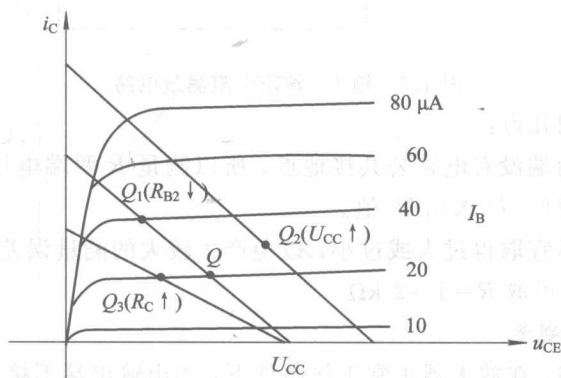


图 1.4 电路参数对静态工作点的影响

通常多采用调节偏置电阻  $R_{B2}$  的方法来改变静态工作点。例如减小  $R_{B2}$ ,则可使静态工作点提高等。

最后还要说明的是,上面所说的静态工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的,而是相对于信号的幅度而言的。如输入信号幅度很小,即使静态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  $u_i$  和  $u_o$  的有效值  $U_i$  和  $U_o$ ,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 1.5 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

$$r_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_R}{R}} = \frac{U_i}{U_s - U_i} \times R$$

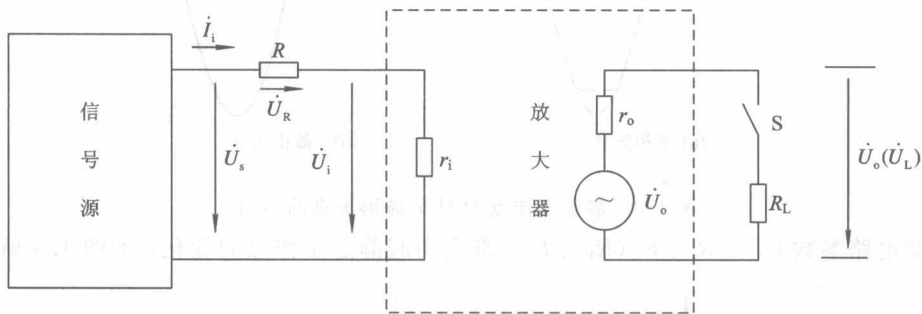


图 1.5 输入、输出电阻测量电路

测量时应注意下列几点:

(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,本实验可取  $R = 1 \sim 2 \text{ k}\Omega$ 。

### 3) 输出电阻 $r_o$ 的测量

如图 1.5 所示电路,在放大器正常工作条件下,测出输出端不接负载  $R_L$  时的输出电压  $U_o$  和接入负载后的输出电压  $U_L$ ,根据

$$U_L = \frac{R_L}{r_o + R_L} U_o$$

即可求出

$$r_o = \left( \frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L$$

在测试中应注意, 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 1.6 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  $2\sqrt{2}U_{om}$ , 也可用示波器直接读出  $U_{opp}$ 。

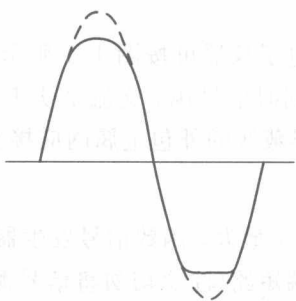


图 1.6 静态工作点正常, 输入信号太大引起的失真

#### 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 1.7 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  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  倍, 即  $0.707A_{um}$  时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  $f_{BW} = f_H - f_L$ 。

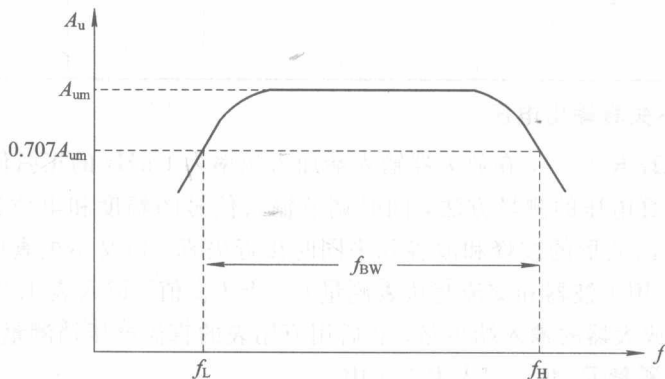


图 1.7 幅频特性曲线

放大器的幅频特性就是测量不同频率信号时的电压放大倍数  $A_u$ 。为此, 可用前述测量  $A_u$  的方法, 每改变一个信号频率, 测量其相应的电压放大倍数, 测量时应注意取点要恰当,

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，且输出波形不得失真。

### 三、实验设备与器件

- |  |            |
|--|------------|
| (1) +12 V 直流电源；  | (2) 双踪示波器； |
| (3) 直流电压表；   | (4) 频率计；   |
| (5) 函数信号发生器；   | (6) 交流毫伏表； |
| (7) 直流毫安表；   | (8) 万用电表；  |
| (9) 晶体三极管 3DG6×1( $\beta=50\sim 100$ )；(10) 电阻器、电容器若干。 |            |

### 四、实验内容

实验电路如图 1.2 所示。各电子仪器可按图 1.1 所示方式连接，为防止干扰，各仪器的公共接地端必须连接在一起。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。

#### 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。在测量时，先去掉信号源，再将放大器的输入端短路(注意切勿将信号源短路)，然后用万用表的直流电压挡测量。接通 +12 V 电源，调节  $R_w$ ，使  $I_C=2.0$  mA，用万用表的直流电压挡测量  $U_{BQ}$ 、 $U_{EQ}$ 、 $U_{CQ}$ ，用万用表的电阻挡测量  $R_{B2}$  值，记入表 1.1 中。

表 1.1 放大电路静态工作点测量结果

项目	集电极电位 $U_{CQ}/V$	基极电位 $U_{BQ}/V$	发射极电位 $U_{EQ}/V$	基极偏置电阻 $R_{B2}/k\Omega$	基极-发射极间电压 $U_{BE}/V$	集电极-发射极间电压 $U_{CE}/V$	集电极电流 $I_C/mA$
初步调试测量结果							
最大不失真输出测量结果							

#### 2. 测量最大不失真输出电压

置  $R_C=2.4$  k $\Omega$ ， $R_L=\infty$ ，在放大器输入端加入频率为 1 kHz 的正弦信号，按照实验原理中关于最大不失真电压的测量方法，同时调节输入信号的幅度和电位器  $R_w$ ，使输出电压  $u_o$  足够大，使输出波形的波峰和波谷几乎同时接近失真，但又不失真(这种状态称为最大不失真状态)时，用示波器和交流毫伏表测量  $U_{opp}$  及  $U_{om}$  值，记入表 1.2 中。在此基础上断开信号源，再将放大器的输入端短路，然后用万用表的直流电压挡测量  $U_{BQ}$ 、 $U_{EQ}$ 、 $U_{CQ}$ ，用万用表的电阻挡测量  $R_{B2}$  值，记入表 1.1 中。

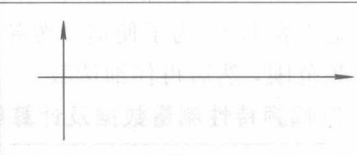


表 1.2 最大不失真输出电流、电压测量结果

$I_C/mA$	$U_{im}/mV$ (毫伏表)	$U_{om}/mV$ (毫伏表)	$U_{opp}/V$ (示波器)

### 3. 观察静态工作点对输出波形失真的影响

置  $R_C = 2.4 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = \infty$ , 在放大器输入端加入频率为  $1 \text{ kHz}$  的正弦信号。调节  $u_i$  和  $R_w$  使电路处于最大不失真状态, 测出  $U_{CE}$  和  $I_C$  的值。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 1.3 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。

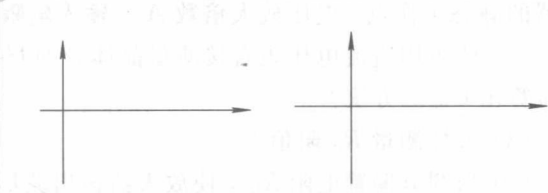
表 1.3 静态工作点对输出波形失真的影响

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

### 4. 测量电压放大倍数

在静态点调整合适的情况下, 在放大器输入端加入频率为  $1 \text{ kHz}$  的正弦波信号  $u_i$ , 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, 在输出波形不失真的条件下用交流毫伏表测量表 1.4 所示两种情况下的  $u_o$  值, 并用双踪示波器观察  $u_o$  和  $u_i$  的相位关系, 记入表 1.4。

表 1.4 测量电压放大倍数 ( $I_C = 2.0 \text{ mA}$   $u_i = 10 \text{ mV}$ )

$R_C/\text{k}\Omega$	$R_L/\text{k}\Omega$	$U_o/\text{V}$	$A_u$	观察记录一组 $u_o$ 和 $u_i$ 波形
2.4	$\infty$			
2.4	1			

### 5. 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, 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 1.5, 并计算输入电阻  $r_i$ 。图 1.2 实验电路中的  $R_s$  相当于在被测放大器输入端与信号源间串入的已知电阻。

保持  $U_s$  不变, 断开  $R_L$ , 测量输出电压  $U_o$ , 记入表 1.5, 并计算输出电阻  $r_o$ 。

表 1.5 测量输入电阻和输出电阻

$U_s$ /mV	$U_i$ /mV	$r_i/k\Omega$ $r_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} \times R_s$	$U_L/V$ (带负载时 输出电压)	$U_o/V$ (负载开路时 输出电压)	$r_o/k\Omega$ $r_o = \left(\frac{U_o}{U_L} - 1\right) R_L$

## 6. 测量幅频特性曲线

取  $R_C = 2.4 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 2.4 \text{ k}\Omega$ ,  $I_C = 2.0 \text{ mA}$ 。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 1.6。为了使信号源频率  $f$  取值合适, 可先粗略测一下, 找出上限和下限频率, 确定中频范围, 然后再仔细读数。

表 1.6  $u_i = 10 \text{ mV}$  时幅频特性测量数据及计算结果

$f/k\text{Hz}$			$f_L$						$f_H$		
$U_o/V$											
$A_u = U_o/U_i$											

说明: 本实验内容较多, 其中 1、2、3 项实验内容可安排一次实验, 4、5、6 项实验内容安排另一次实验完成。

## 五、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), 分析产生误差的原因。
- (2) 总结  $R_C$ 、 $R_L$  及静态工作点对放大器电压放大倍数的影响。
- (3) 讨论静态工作点变化对放大器输出波形的影响。

## 六、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先测  $U_B$ 、 $U_E$ , 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?

## 实验二 射极跟随器

### 一、实验目的

- (1) 掌握射极跟随器的特性及测试方法。
- (2) 进一步学习放大器各项参数的测试方法。

### 二、实验原理

射极跟随器的原理图如图 1.8 所示。它是一个电压串联负反馈放大电路，具有输入电阻高，输出电阻低，电压放大倍数接近于 1，输出电压能够在较大范围内跟随输入电压作线性变化以及输入、输出信号同相等特点。

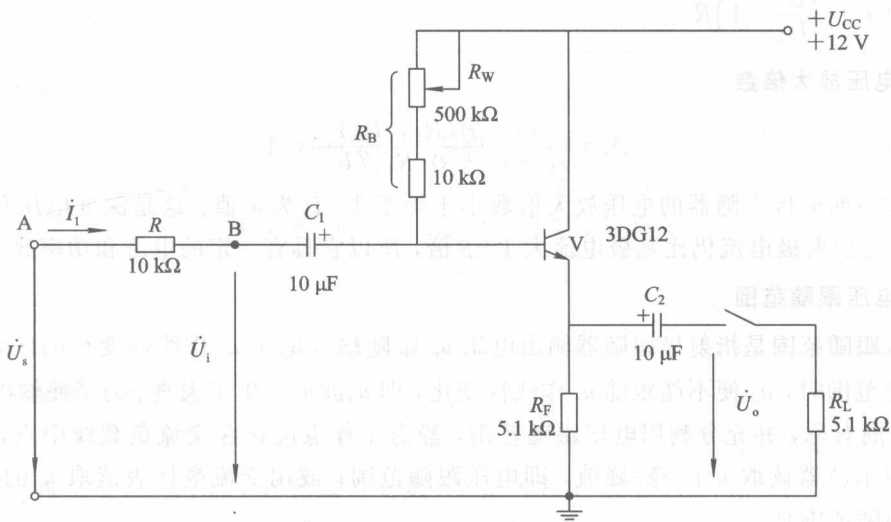


图 1.8 射极跟随器

射极跟随器的输出取自发射极，故又称其为射极输出器。

#### 1. 输入电阻 $r_i$

$$r_i = r_{be} + (1 + \beta)R_E$$

如考虑偏置电阻  $R_B$  和负载  $R_L$  的影响，则

$$r_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)]$$

由上式可知射极跟随器的输入电阻  $r_i$  比共射极单管放大器的输入电阻  $r_i = R_B // r_{be}$  要高得多，但由于偏置电阻  $R_B$  的分流作用，输入电阻难以进一步提高。输入电阻的测试方法同单管共射放大电路。

$$r_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{U_s - U_i} R$$

即只要测得 A、B 两点的对地电位即可计算出  $r_i$ 。



## 2. 输出电阻 $r_o$

$$r_o = \frac{r_{be}}{\beta} // R_E \approx \frac{r_{be}}{\beta}$$

如考虑信号源内阻  $R_s$ ，则

$$r_o = \frac{r_{be} + (R_s // R_B)}{\beta} // R_E \approx \frac{r_{be} + (R_s // R_B)}{\beta}$$

由上式可知射极跟随器的输出电阻  $r_o$  比共射极单管放大器的输出电阻  $r_o \approx R_C$  低得多。三极管的  $\beta$  愈高，输出电阻愈小。

输出电阻  $r_o$  的测试方法亦同单管共射放大电路，即先测出空载输出电压  $U_o$ ，再测接入负载  $R_L$  后的输出电压  $U_L$ ，根据

$$U_L = \frac{R_L}{r_o + R_L} U_o$$

即可求出  $r_o = \left( \frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L$ 。

## 3. 电压放大倍数

$$A_u = \frac{(1 + \beta)(R_E // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)} \leq 1$$

上式说明射极跟随器的电压放大倍数小于等于 1，且为正值。这是深度电压负反馈的结果。但它的射极电流仍比基极电流大  $1 + \beta$  倍，所以它具有一定的电流和功率放大作用。

## 4. 电压跟随范围

电压跟随范围是指射极跟随器输出电压  $u_o$  跟随输入电压  $u_i$  作线性变化的区域。当它超过一定范围时， $u_o$  便不能跟随  $u_i$  作线性变化，即  $u_o$  波形产生了失真。为了使输出电压  $u_o$  正、负半周对称，并充分利用电压跟随范围，静态工作点应选在交流负载线中点，测量时可直接用示波器读取  $u_o$  的峰-峰值，即电压跟随范围；或用交流毫伏表读取  $u_o$  的有效值，则电压跟随范围是

$$U_{opp} = 2\sqrt{2}U_{om}$$

## 三、实验设备与器件

- |   |                |
|---|----------------|
| (1) +12 V 直流电源；                         | (2) 函数信号发生器；   |
| (3) 双踪示波器；                              | (4) 交流毫伏表；     |
| (5) 直流电压表；                              | (6) 频率计；       |
| (7) 3DG12×1( $\beta=50\sim100$ )或 9013； | (8) 电阻器、电容器若干。 |

## 四、实验内容

按图 1.8 连接电路。

### 1. 静态工作点的调整

接通 +12 V 直流电源，在 B 点加入  $f=1$  kHz 的正弦信号  $u_i$ ，输出端用示波器监视输出波形，反复调整  $R_w$  及信号源的输出幅度，使示波器的屏幕上得到一个最大不失真输出