

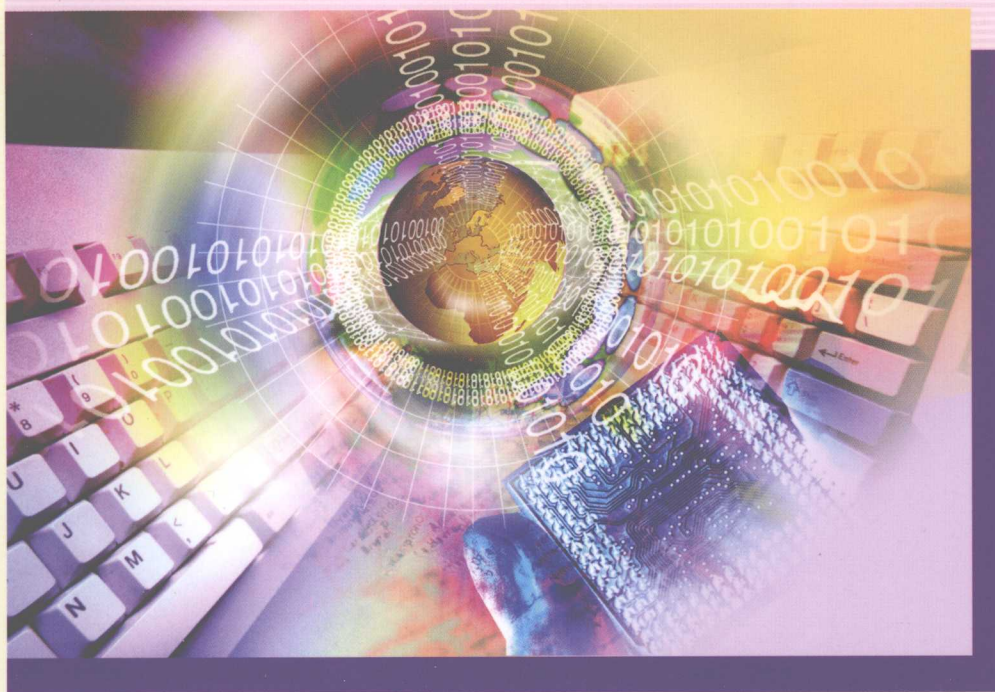


新世纪电子信息平台课程系列教材

# 模拟电路单元及系统实验

吕念玲 主编

MONI DIANLU DANYUAN JI XITONG SHIYAN



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



新世纪电子信息平台课程系列教材

# 模拟电路单元及系统实验

主编 吕念玲  
参编 甘伟明 刘凤军  
主审 吴运昌



机械工业出版社

本书是参照高等学校电子、电气信息类专业电子技术实验（模拟部分）教学的基本要求，在作者多年教学和科研实践基础上编写而成的。本书创新了实验教材的编撰方式，将实验项目以模拟系统架构为模块进行分类，各模块自成体系；全书内容又有机地构建为模拟系统，务求达到单元电路与系统融合、基础实践技能学习与系统设计训练并举的目的，以期给予读者以模拟电路及实验方法的完整认识。

全书共4章，内容包括课程绪论、模拟电路性能指标的测量技术、电子电路设计指南等，以及21个实验项目及附录。

本书可作为高等学校本科和工程专科电子、电气信息类专业电工电子实践课程教材，也可供成人和职业教育相关专业学生或电气、电子技术工程人员参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

模拟电路单元及系统实验/吕念玲主编. —北京：机械工业出版社，2007.8

新世纪电子信息平台课程系列教材  
ISBN 978-7-111-21769-5

I. 模… II. 吕… III. 模拟电路-高等学校-教材  
IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字（2007）第094759号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）  
责任编辑：贡克勤 版式设计：冉晓华 责任校对：魏俊云  
封面设计：陈沛 责任印制：洪汉军  
北京京丰印刷厂印刷  
2007年9月第1版·第1次印刷  
184mm×260mm·8.75印张·212千字  
标准书号：ISBN 978-7-111-21769-5  
定价：16.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换  
销售服务热线电话：（010）68326294  
购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643  
编辑热线电话：（010）88379727  
封面无防伪标均为盗版

# 新世纪电子信息平台课程系列教材 编 委 会

主任委员	徐向民			
副主任委员	殷瑞祥	贡克勤		
委 员	褚庆昕	冯穗力	傅予力	金连文
	林土胜	陆以勤	丘水生	尹俊勋

# 前 言

模拟电子线路实验是电子、电气信息类专业学生的一门重要实践课程。在本书编写过程中，参照高等学校电子、电气信息类专业电子技术实验教学的基本要求，保留了经典的验证实验内容；同时以作者多年的教学实践为基础，在强化系统概念和面向开放式实验方面做了尝试。较之以往同类教材，本书具有以下特点：

(1) 适合独立设课的要求。本教材就基本知识和基本实验原理作了系统的介绍，以利学生自学；每个实验附有详尽的实验原理介绍或设计提示，以帮助学生准确理解实验的要求，把握学习的重点。

(2) 注重单元电路与系统的融合。单元实验项目，按模拟系统的信号产生、信号处理及信号变换的架构进行模块化分类。每一模块实验项目都设置有基础实验和设计实验，方便实验项目的自由组合，满足不同层次的教学需求。各模块垒接起来便是一个完整的模拟电路系统，给学生一个真实和具体的系统概念。

(3) 传统实验与开放式实验相结合。为适应开放式实验要求，编者对书中实验教学内容做了相应的调整。教学要求分3种不同层次，通过循序渐进的过程，培养学生的动手能力和自主学习能力。

第一层基础实验范例。要求学生按教材提供的完整实验方案进行基本训练。

第二层部分实验内容开放。要求学生自主选择实验仪器，自主调整实验电路参数，自拟实验步骤等，培养学生设计实验项目的基本技能。

第三层提出设计要求，学生自主完成设计、安装和调试过程，进一步提升学生的实验设计能力。

本书共4章。第1章介绍本课程的特点、学习目的和学习方法，为用好本书提供指南；第2章介绍模拟电路主要性能指标的测试方法；第3章系统介绍电子电路的一般设计方法，及典型模拟电路的设计方法；第4章是21个实验项目，包括基础实验、设计性实验及数模结合的综合设计课题（大实验）3种类型。本书最后部分是附录。

本书由吕念玲任主编，并负责统稿和定稿。第2章及3.3、4.2节由甘伟明编写；第3章（3.3节除外）及4.1节由刘凤军编写；第1章及4.3节由吕念玲编写；董俊负责整理附录；吕毅恒为4.3节的设计举例做了实验验证工作；袁炎成参与了校对。在本书的编写过程中，得到了贺前华教授和陈相副教授的关心和指导；吴运昌教授负责本书的审稿，在审阅过程中提出了许多宝贵的意见和建议，在此，谨向他们致以最诚挚的谢意！

由于我们的水平和经验有限，加上时间仓促，书中难免有不当之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

# 目 录

## 前言

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 本课程的特点 .....	1
1.2 学习方法与要求 .....	1
1.3 本课程的目的 .....	3
<b>第2章 电路性能指标的测量技术</b> .....	4
2.1 电压增益的测量 .....	4
2.2 输入电阻的测量 .....	4
2.3 输出电阻的测量 .....	6
2.4 放大电路幅频特性的测量 .....	7
2.5 放大电路动态范围的测量 .....	8
2.6 失真度的测量 .....	8
2.7 电路传输特性曲线的测量 .....	9
<b>第3章 电子电路设计指南</b> .....	11
3.1 电子电路设计的一般方法 .....	11
3.2 模拟电子系统的特点及设计的	

注意事项 .....	15
3.3 典型电路设计指南 .....	17
3.4 设计性实验的操作法 .....	57
3.5 电路的安装与调试 .....	58
3.6 电路故障的分析与处理 .....	60
<b>第4章 实验室作业</b> .....	66
4.1 信号的产生 .....	66
4.2 信号的处理 .....	70
4.3 信号的变换 .....	87
<b>附录</b> .....	108
附录A 二极管 .....	108
附录B 晶体管 .....	110
附录C 常用集成器件 .....	112
附录D 部分数字集成电路参考资料 .....	127
附录E 实验报告参考格式 .....	131
<b>参考文献</b> .....	133

# 第1章 绪 论

## 1.1 本课程的特点

电子技术实验课,是电子、电气及信息类专业学生的专业基础课,从强化学生动手能力、培养创新能力的目的出发,很多院校已将本门课程独立设课。电子技术实验课根据实验电路所传输信号的性质不同,分为模拟电子技术实验和数字电子技术实验两部分。

模拟电子技术实验以信号产生、处理和变换、传输、驱动及控制等单元电路,以及由上述单元构成的系统为研究对象。本课程的特点如下:

1) 实验对象多样。电子元器件由于品种繁多,分立与集成并存,特性各异,所以正确合理选用器件是从事实验研究的基本功;同时模拟单元电路的组态多样,模拟系统功能各异,要求实验者有丰富的实践经验。

2) 实测值与设计值偏差大。由于模拟电子元器件标称值存在偏差、特性的离散性大,电源波动、负载变化及各种干扰因素的存在,致使实验电路及系统的技术指标和稳定性与设计指标有一定的偏差。所以,有通过实验手段对电路参数进行调整的必要。

3) 电路级间关联关系突出。如系统电路中前级要根据后级的要求来设计;级与级之间讲究耦合的方式和匹配关系,才能确保各级电路工作在最佳工作状态,保证整机性能的充分发挥。

4) 寄生参数和干扰对电路的影响不容忽视。

5) 电路调试繁杂。从上述特点看,模拟电路调试的难度大于数字电路。从元器件选择、电路组态,交直流并存的工作状态,处理各种负载效应,到为提高工作稳定性而考虑的共地、去耦、屏蔽等关于电路工艺方面的因素,每一环节都要求有足够的耐心。

6) 目前模拟集成电路发展有待完善,模拟系统的计算机辅助设计的进程发展较慢,设计过程仍需较多的人工介入。

## 1.2 学习方法与要求

### 1. 认真对待每一次实验

实验理论的纯熟运用和动手能力的提高是一次次动手实验,积累经验的结果,掌握实验课的学习规律,是提高实验质量的捷径。每次实验都应遵循以下几点要求:

#### (1) 预习要求

1) 实验前,认真阅读实验指导书、浏览教学网站的相关内容,明确实验任务,了解实验内容。

2) 了解相关仪器设备在实验中的使用方法。

3) 分析实验电路的结构,了解电路中重要元器件的作用(设计实验的要求则为:能根

据设计任务, 选用合适的电路形式, 正确设计电路参数及自拟调试步骤)。因实验独立设课, 难以保证与理论课同步进行, 故实验涉及的相关理论知识要提早自学。

4) 估计和预测实验数据的取值范围及曲线的变化趋势。

5) 撰写实验预习报告。

(2) 现场操作的要求

1) 按时进入实验室参加实验, 一人一组, 并应在规定时间内(每次3学时)完成实验任务。

2) 实验结束后, 待实验数据经老师审查签名, 才能拆解实验连线、关断仪器设备电源, 并整理好实验台后方可离开实验室。

3) 严格按照实验的基本操作规程要求进行操作。

①当实验过程中遇到故障时, 应保持冷静, 分析原因, 并能在教师指导下独立排除。

②测试参数做到心中有数, 数据采集完整、无误。

③教师将对每人每次的实验现场操作情况予以及时的记录和评价。

(3) 实验报告要求 实验报告是在预习报告的基础上, 由补充数据的处理、排除故障的说明、结果分析等内容构成。对实验报告的整体要求是:

1) 实验报告用专用的实验报告纸书写, 并注明实验台号, 提交实验报告时应装订整齐。

2) 实验报告必须具备完整的数据记录和实验结果分析, 其他内容可视具体情况添加。

3) 实验报告中的电路图需用直尺或绘图工具描画, 勿徒手绘制; 字体工整, 不应有涂改。

4) 实验报告中所有的曲线都用同一颜色的笔描绘在坐标纸上。

5) 实验报告应具备实验现场辅导教师签名的原始记录。

6) 实验报告分基础性实验报告和设计性实验报告(见附录E)两类, 请根据不同的实验类型, 按照规定的格式撰写。

(4) 中期小结的要求 完成3次实验后写中期小结, 字数在300字左右, 旨在总结前一阶段实验学习的经验和收获, 找出存在的问题, 以便有针对性地进行学习。同时也欢迎学生对教学工作提出意见和建议。

(5) 期末考核的要求 必须完成所有必修实验内容, 才能参加期末实验考核。实验考核时间为两个半小时, 考核内容含实验理论和实验操作两部分。实验考核成绩占实验总评成绩的50%。

## 2. 运用学过的理论指导实验

常问自己下面几个问题:

1) 会根据理论分析实验电路吗?

2) 能预测某个参数变化对实验结果的影响吗?

3) 当实验结果与理论不符时, 能找出原因吗?

## 3. 提高实际工作能力

在实验中做到不怕难、不依赖, 增强自觉提高实际工作能力的意识。



### 1.3 本课程的目的

- 1) 学会识别元器件的类型、型号、规格，并能根据设计的具体要求正确选用元器件。
- 2) 熟练掌握电子电路焊接和组装的基本技能。
- 3) 掌握常用电子仪器的选择与正确使用方法。
- 4) 学习构建测量系统，完成具体的实验任务。
- 5) 熟练使用 EDA 工具对实验方案进行论证。
- 6) 学会查阅和使用实用技术资料。
- 7) 独立完成小系统的设计、安装、调试和故障的排查。

## 第 2 章 电路性能指标的测量技术

### 2.1 电压增益的测量

增益是网络传输特性的重要参数。电压增益  $A_v$  定义为输出电压  $V_o$  与输入电压  $V_i$  的比值, 即  $A_v = V_o/V_i$ , 因此, 测量电压增益实质就是放大电路不失真输出电压  $V_o$  和此时的输入电压  $V_i$  的测量。电压增益测量系统框图如图 2-1 所示。

测量电压增益要注意以下几点:

1) 输入信号应选择在被测放大电路频率范围内中频段的某一频率上, 在模拟电路测量中, 典型测试信号的频率为 1kHz。

2) 输入信号幅度不能过大, 以免造成输出信号失真, 因此被测电路的输出端应接示波器监视输出波形。

3) 在连接测试电路时, 测试仪表、信号发生器的地线(机壳)应与被测放大电路的参考地相连, 以免引入干扰。

4) 信号源负载对输出电压的影响如图 2-2 所示。 $v_i$  一定是在信号源与被测放大电路正确连接后的实测值, 不能以信号源开路时的读数为准。因为信号源都有内阻  $R_s$ , 与被测电路连接后, 如图 2-2a 所示, 被测放大电路输入端所获得的电压为

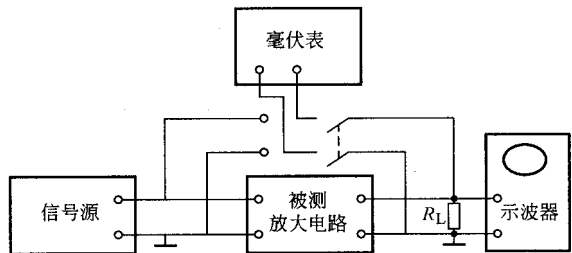


图 2-1 电压增益测量系统框图

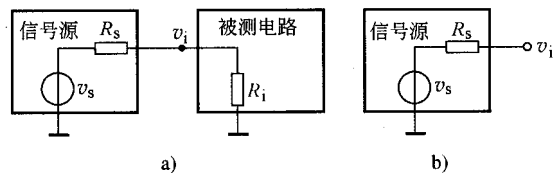


图 2-2 信号源负载对输出电压的影响

a) 信号源与被测电路连接 b) 输出开路

$$v_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} v_s$$

可见, 当  $R_i = R_s$  时 ( $R_s$  一般为  $50\Omega$ ),  $v_i$  只有  $v_s$  的一半; 而当信号源如图 2-2b 所示为输出开路 (相当于  $R_i = \infty$ ) 时,  $v_i$  才等于  $v_s$ 。显然,  $v_i$  的大小随  $R_i$  而变化, 并不总是与信号源表头上的读数相同。

### 2.2 输入电阻的测量

放大电路的输入电阻  $R_i$  是指从放大电路的输入端看进去的交流等效电阻, 即  $R_i = V_i/I_i$ , 是个交流参量。 $R_i$  的测量方法很多, 这里介绍几种常用方法。

#### 1. 串联电阻法

串联电阻法又称电阻取样法, 是一种最常用的测量方法, 其基本思路就是从定义出发,

分别测出  $v_i$  和  $i_i$ ，求取  $R_i$ 。 $i_i$  的测量通常采用电阻间接法。先在被测放大电路与信号源之间串入一个已知的标准电阻  $R_s$ ，然后输入交流电压，分别测出  $v_s$  和  $v_i$ 。输入电阻测试框图如图 2-3 所示。

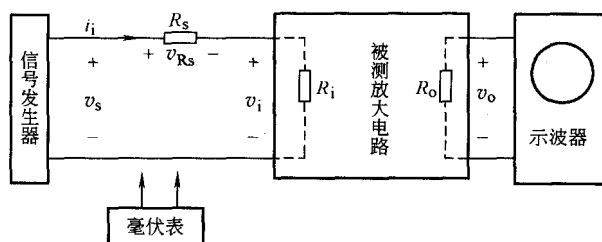


图 2-3 输入电阻测试框图

根据输入电阻的定义可得

$$i_i = \frac{v_s - v_i}{R_s}$$

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{v_i}{v_s - v_i} R_s$$

测量输入电阻要注意以下几点：

1) 输入信号  $v_s$  的幅度不能太大，以免造成输出信号失真，因此输出端应接示波器监视输出波形。

2) 使用毫伏表、示波器等仪器测量  $R_s$  两端的电压  $v_{R_s}$  时一般不能直接测量  $R_s$  两端的交流电压降  $v_{R_s}$ ，而是分别测量  $R_s$  两端对地的电压  $v_s$  和  $v_i$ ，再计算出  $v_{R_s}$ 。

3) 取样电阻  $R_s$  的取值不宜太大，也不能太小，通常选取与  $R_i$  相接近为宜。 $R_s$  取得太大， $v_i$  太小，容易引起干扰，将使测量误差加大； $R_s$  取得太小，则  $v_i$ 、 $v_s$  相接近，两者的读数误差也会使测量误差加大。

## 2. 半电压法

为了测量方便，也可用电位器 RP 代替标准电阻  $R_s$ ，半电压法测量输入电阻框图如图 2-4 所示。测试时，先调节电位器 RP，使其阻值为零，测得  $v_s = v_i$ 。然后调节电位器 RP，使得  $v_i = v_s/2$ 。（此时需保持信号发生器输出的  $v_s$  不变，则电位器之值就是被测输入电阻  $R_i$ 。此测量法称为半电压法。

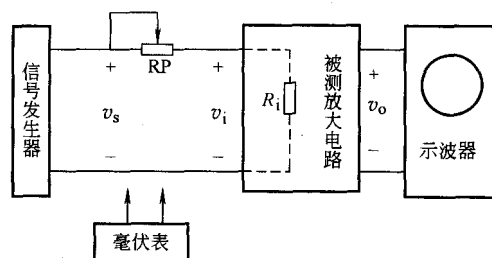


图 2-4 半电压法测量输入电阻框图

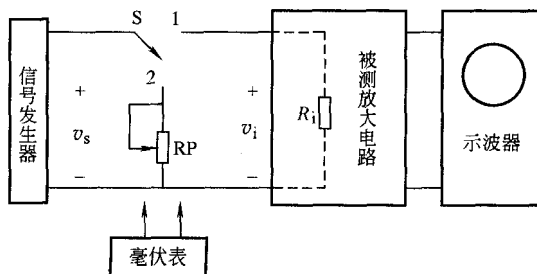


图 2-5 代替法测量输入电阻框图

## 3. 代替法

用代替法测量输入电阻框图如图 2-5 所

示。RP 为辅助电位器，当开关 S 置于“1”时测出 1 对地之间的电压  $v_i$ ，然后将 S 置于“2”，调节 RP，使 2 对地之间的电压仍为原来的电压  $v_i$ 。则电位器之值就是被测输入电阻  $R_i$ 。

#### 4. 高输入电阻的测量

对于某些具有高输入阻抗的放大电路，如场效应管源极跟随器，此类放大电路的输入电阻的测量不宜选用前述的测量方法，因为其  $R_i$  与仪表高输入电阻等数量级，若将测量仪表直接接到被测电路的输入端，测量  $v_o$  和  $v_i$ ，由于仪表内阻的并联接入，容易产生较大的测量误差。因此可以不直接测量放大电路的输入电压，而是利用放大电路低输出电阻的特点，采用间接测量法测量放大电路的输出电压后计算出输入电阻。高输入电阻测量框图如图 2-6 所示。

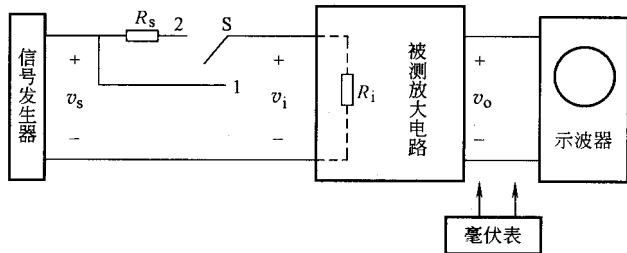


图 2-6 高输入电阻测量框图

具体方法是：在被测放大电路与信号源之间串入一个已知的标准

电阻  $R_s$ ，把开关 S 置于“1”（不接入  $R_s$ ），测出输出电压  $v_{o1}$  和  $v_s$ ，则  $v_{o1} = A_v v_s$ 。然后把开关 S 置于“2”（接入  $R_s$ ），保持  $v_s$  不变，测出此时的输出电压  $v_{o2}$ ，则

$$v_{o2} = \frac{v_s}{R_i + R_s} R_i A_v$$

根据上式中  $R_i A_v$  不变，可解得 
$$R_i = \frac{v_{o2}}{v_{o1} - v_{o2}} R_s$$

### 2.3 输出电阻的测量

放大电路的输出电阻  $R_o$  是指放大电路输入端对地交流短路时，从输出端看进去的等效内阻，也是个交流参量。放大电路的输出端可以等效成一个理想电压源  $v_o$ （开路电压）和输出电阻  $R_o$  相串联的电路。输出电阻测量框图如图 2-7 所示。 $R_o$  的测量方法常用的有换算法和半电压法。

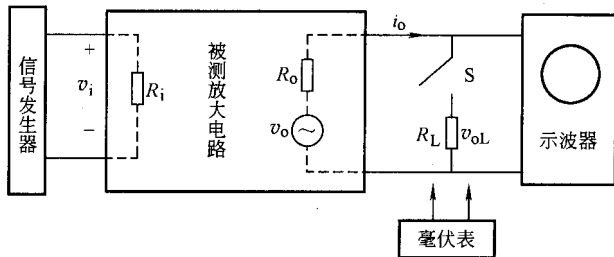


图 2-7 输出电阻测量框图

#### 1. 换算法

测试时，先测出不接负载时的输出电压  $v_o$ ，然后接上负载  $R_L$ ，再测出输出电压  $v_{oL}$ 。

根据

$$v_{oL} = \frac{R_L}{R_o + R_L} v_o$$

即可得出

$$R_o = \left( \frac{v_o}{v_{oL}} - 1 \right) R_L$$

测量输出电阻要注意以下几点:

1) 测量过程中, 输出端应接示波器监视输出波形, 保持输出信号在  $R_L$  接入前后都不失真。

2) 输入信号在测量过程中必须保持不变。

3) 为了提高测量精度,  $R_L$  取值要适当, 选取与  $R_o$  相接近为宜。

## 2. 半电压法

与测量输入电阻的半电压测试法一样, 用电位器  $RP$  代替  $R_L$ , 调节电位器  $RP$ , 使  $v_{oL} = \frac{1}{2}v_o$ , 则电位器之值就是被测输出电阻  $R_o$ 。

## 2.4 放大电路幅频特性的测量

电路中通常含有电抗元件, 因此输出电压  $v_o$  随频率的变化而变化, 亦即电压增益是频率的函数, 表示为  $\dot{A}_v = \dot{A}_v(f) / \varphi(f)$ 。其中  $A_v(f)$  称为幅频特性,  $\varphi(f)$  称为相频特性。

图 2-8 所示为典型的放大电路幅频特性曲线。该曲线大致分为 3 个区域: 中频区, 增益  $A_v$  基本不变 (与频率几乎无关), 其增益用  $A_{vm}$  表示; 高频区, 增益  $A_v$  随频率的升高而下降; 低频区, 电压增益随频率的下降而下降。当电压增益下降至  $0.707A_{vm}$  时, 对应的频率分别称为上限截止频率和 下限截止频率, 分别用  $f_H$  和  $f_L$  表示,  $f_H$  和  $f_L$  之间的频率范围称为通频带, 通常用  $BW$  表示,  $BW = f_H - f_L$ 。一般地, 因为  $f_H \gg f_L$ , 所以  $BW \approx f_H$ 。

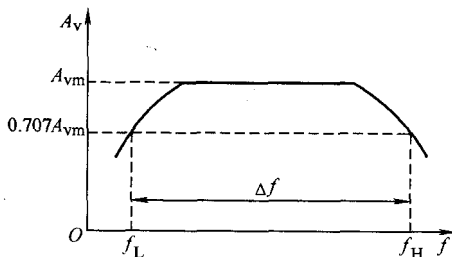


图 2-8 放大电路幅频特性曲线

测量幅频特性曲线的常用方法有逐点法和扫频法两种。

### 1. 逐点法

逐点法就是分别测量在各个频率下放大电路的放大倍数, 然后画出放大电路放大倍数随频率变化的关系曲线。这实际上就是不同频率下电路增益的测量。测量方法是:

1) 将输入信号加至被测电路的输入端, 保持输入电压幅度不变, 从低到高地改变信号源的输出频率, 分别测出每个频率所对应的放大倍数。

2) 以  $A_v$  为纵坐标, 以频率的对数 ( $\lg f$ ) 为横坐标, 将所测每个频率点的电压放大倍数绘制成曲线, 该曲线即为被测电路电压增益的幅频特性曲线。为了既节省时间又能准确地描绘出测试曲线, 可在曲线平坦的地方 (如图 2-8 中的中频区) 少测几个点, 而在曲线斜率变化较大的地方 (如图 2-8 中上、下限截止频率点附近) 多测几个点。

若只要求测量放大电路的通频带, 常采用三点法测量, 即分别测量  $1\text{kHz}$ 、 $f_H$ 、 $f_L$  三个频率点所对应的放大倍数  $A_v$  即可。测量方法是:

1) 将信号源频率调至  $1\text{kHz}$ , 幅度大小以保证输出电压不失真为准, 加至被测电路的输入端, 测出其输入电压  $v_i$  和输出电压  $v_o$ 。

2) 将信号源的频率向低端调节, 保持输入电压  $v_i$  不变, 当放大电路的输出电压下降到  $0.707v_o$  时, 信号源的输出频率就是放大电路的下限截止频率  $f_L$ 。

3) 同理, 将信号源的频率向高端调节, 当放大电路的输出电压下降到  $0.707v_o$  时, 信号源的输出频率就是放大电路的上限截止频率  $f_H$ 。

## 2. 扫频法

扫频法就是用扫频仪测量二端口网络幅频特性的方法。扫频法测量幅频特性曲线框图如图 2-9 所示。扫频仪集成了信号源和示波器的部分功能, 其信号发生电路可以产生频率连续变化的等幅正弦信号。扫频仪的信号检测电路对被测电路的输出信号进行测量, 并将结果与信号源的输出相除, 得出电路在各个频率点的增益, 并通过示波管直接显示出幅频特性曲线。扫频法直观, 可以一边调整被测放大电路中的有关元器件, 一边观察幅频特性曲线的变化, 从而得到符合要求的曲线。

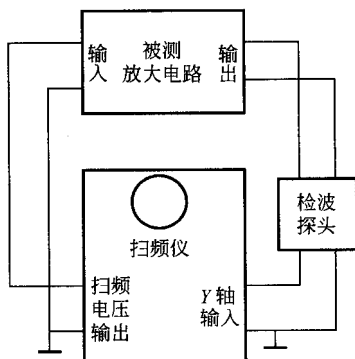


图 2-9 扫频法测量幅频特性曲线框图

## 2.5 放大电路动态范围的测量

放大电路的动态范围是指输入电压为正弦波条件下, 放大电路输出电压波形不产生明显失真时, 所能达到的最大输出电压峰-峰值  $V_{OPP}$ 。放大电路动态范围的测试框图如图 2-10 所示。

测试方法是:

1) 将示波器接在被测放大电路的输出端, 监测输出波形, 输入信号为正弦波, 频率取被测放大器中频段的某一频率。

2) 调节信号发生器使输出信号从 0 逐渐增大, 直到被测放大电路的输出波形刚刚出现削波为止, 此时器件进入饱和区或截止区, 减小输入信号, 使电路输出信号幅度达到最大但又不失真。用示波器测出此时输出电压的峰-峰值, 即为电路的动态范围。对应的输入电压峰-峰值为最大允许输入电压。

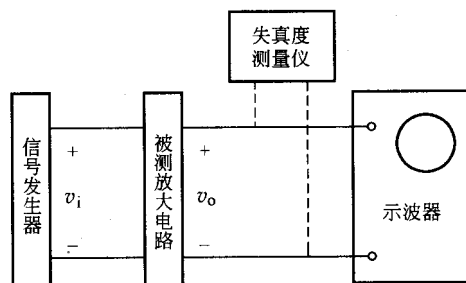


图 2-10 放大电路动态范围的测试框图

## 2.6 失真度的测量

信号在传输过程中, 可能产生线性失真和非线性失真。线性失真又称为频率失真, 是由于器件内部电抗效应和外部电抗元件的存在, 使得电路对同一信号中不同频率分量的传输系数或相移不同而引起的; 非线性失真这是由于器件的非线性引起的。两种失真的区别在于非线性失真使得电路的输出信号中产生了不同于输入信号的新的频率成分, 而线性失真则不会产生新的频率成分。

线性失真用电路的幅频特性曲线表示,其测量方法如前所述。这里介绍非线性失真的测量方法。

### 1. 非线性失真度的定义

按照傅里叶谐波分析的观点,任何一个非线性失真波形,都可看成是由正弦波的基波和它的谐波叠加而成,波形失真越严重,包含的谐波分量越大。失真度的测量一般指非线性失真程度的测量,它的大小用非线性失真系数来衡量,用  $D$  表示,其定义为

$$D = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \cdots + V_N^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中,  $V_1$  为基波分量电压的有效值。  $V_2$ 、  $V_3$ 、  $\cdots$ 、  $V_N$  分别为 2 次、3 次及  $N$  次谐波电压的有效值。

当  $D \leq 30\%$  时,式 2-1 可近似为

$$D_0 = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \cdots + V_N^2}}{\sqrt{V_1^2 + V_2^2 + \cdots + V_N^2}} \times 100\% \quad (2-2)$$

即  $D_0$  是被测信号中滤除了基波分量后各次谐波电压的有效值与被测电压有效值之比的百分数。

### 2. 失真度测量原理

由于实际测量被测信号的基波电压有效值比较困难,而测量被测信号的电压有效值比较容易,因此常用的测试非线性失真大小的仪器——失真度测试仪,其所测出的失真度系数  $D_0$ ,是根据公式 (2-2) 来定义的,这样,可以简化失真度测试仪的设计。

当  $D \leq 10\%$  时,  $D_0 \approx D$

当  $D > 10\%$  时,  $D_0$  与  $D$  的关系是

$$D = \frac{D_0}{\sqrt{1 - D_0^2}} \quad (2-3)$$

### 3. 失真度的测量方法

用自动失真仪测量失真度是一种便捷的方法,测量方法可参考本书常用电子测量仪器使用一章。

## 2.7 电路传输特性曲线的测量

电路传输特性是指电路输出信号与输入信号之间的关系曲线。在此以电压比较电路为例,说明传输特性的测量方法。

无滞后电压比较电路和迟滞电压比较电路的传输特性曲线如图 2-11a 和 b 所示,它们反映了电压比较电路输出状态随输入信号大小的变化而变化的规律,用示波器可以在荧光屏上直接观测电压比较电路的传输特性曲线。

用示波器观测迟滞电压比较电路传输特性曲线如图 2-12 所示。测量系统组成框图如图 2-12a 所示。测量方法如下:

1) 给电压比较电路输入 100Hz 以下的正弦波,正弦波的最大瞬时值应大于比较电路的上门限电压值,正弦波的最小瞬时值应小于比较电路的下门限电压值。

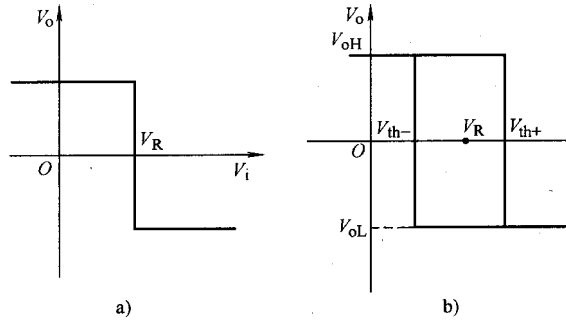


图 2-11 无滞后电压比较电路和迟滞电压比较电路的传输特性曲线

a) 无滞后电压比较电路 b) 迟滞电压比较电路

2) 将电压比较电路的输入端接到示波器的 CH<sub>1</sub> 通道，输出端接到示波器的 CH<sub>2</sub> 通道。

3) 将示波器置于 X-Y 工作方式，再将示波器两输入耦合开关置于 GND 挡，调节示波器的水平和垂直位移旋钮，将光点移至荧光屏的中心位置，最后将示波器两个输入耦合开关置于 DC 挡，便可观察到类似如图 2-12b 所示的电压比较电路的传输特性曲线。

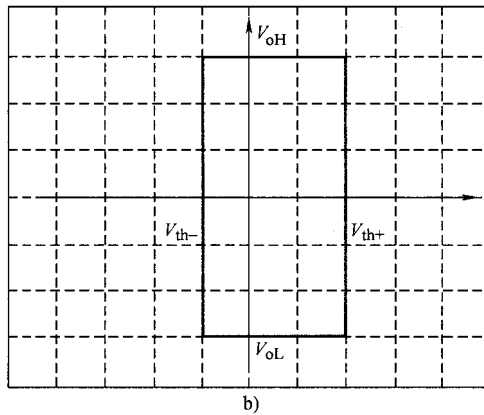
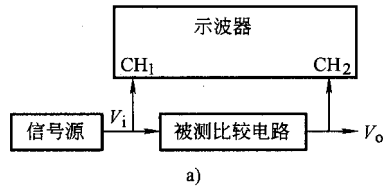


图 2-12 用示波器观测迟滞电压比较电路传输特性曲线

a) 测量系统组成框图 b) 电压比较电路传输特性曲线



## 第3章 电子电路设计指南

电子电路种类很多，设计方法也不尽相同，尤其是随着集成电路的迅速发展，各种专用功能的新型元器件大量涌现，使电路设计工作发生了巨大的变革。现在除了要熟悉分立元器件电路的设计方法，还要不断了解各种新型集成电路的性能、指标，根据总体要求设计最优的方案，选取合适的元器件，合理地进行连接、实验，完成总体的系统设计。

### 3.1 电子电路设计的一般方法

#### 3.1.1 电子电路设计流程

由于电子电路种类繁多，使得电路的设计过程和步骤也不完全相同。不过多数情况下，还是有共同的规律可遵循。一般来说，简单的电子电路设计流程如图 3-1 所示，其中包括：分析设计任务和指标要求，设计总体方案和框图，分析单元电路的功能、选择元器件与参数计算，画出并预设计总体电路图，电路的安装与调试，确定实际的总体电路等。

#### 3.1.2 设计前准备

在设计电路前，首先应该对系统的设计任务进行具体分析，充分了解系统的性能、指标、内容及要求，以明确系统应完成的任务。

制订粗略的设计进度时间表，有目的、有计划地开展设计工作。

#### 3.1.3 总体方案的设计与选择

##### 1. 方案原理的构想

(1) 提出原理方案 在对课题的任务、要求和条件进行仔细的分析与研究之后，提出实现该任务的原理与方法，并画出其原理框图。提出原理方案关系到设计全局，应广泛收集与查阅有关资料，广开思路，利用已有的各种理论知识，提出尽可能多的设计方案，以便作出更合理的选择。

(2) 原理方案的比较选择 原理方案提出后，必须对所提出的几种方案进行分析比较。在详细的总体方案尚未完成之前，只能就原理方案的简单与复杂，方案实现的难易程度进行分析比较，并作出初步的选择。如果有两种方案难以敲定，那么可对两种方案都进行后续阶

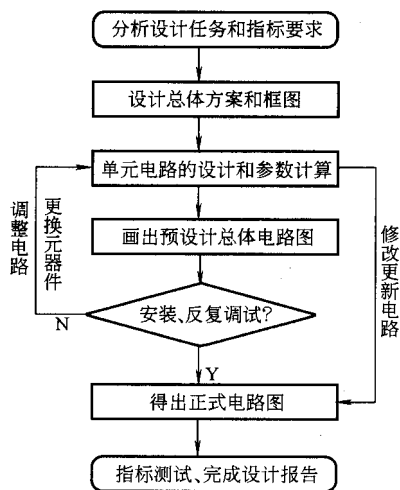


图 3-1 简单的电子电路设计流程