



应用电子信息类专业实验教学丛书

MONI DIANZI JISHU JICHU SHIYAN JIAOCHENG

模拟电子技术基础 实验教程

孟庆斌 刘广伟 葛付伟 编著



南开大学出版社

应用电子信息类专业实验教学丛书

模拟电子技术基础

实验教程

孟庆斌 刘广伟 葛付伟 编著

南开大学出版社

天津

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础实验教程 / 孟庆斌, 刘广伟, 葛付伟编著. —天津: 南开大学出版社, 2009.10
ISBN 978-7-310-03254-9

I. 模… II. ①孟…②刘…③葛… III. 模拟电路—电子技术—实验—高等学校—教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 176923 号

版权所有 侵权必究

南开大学出版社出版发行

出版人: 肖占鹏

地址: 天津市南开区卫津路 94 号 邮政编码: 300071

营销部电话: (022)23508339 23500755

营销部传真: (022)23508542 邮购部电话: (022)23502200

*

河北省迁安万隆印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月第 1 次印刷

787×960 毫米 16 开本 12.25 印张 222 千字

定价: 22.00 元

如遇图书印装质量问题, 请与本社营销部联系调换, 电话: (022)23507125

高等院校电子信息类实验教程丛书 专家编审委员会

主任:	李维祥	教授	南开大学滨海学院
副主任:	沈保锁	教授	天津大学
委员:	孙桂玲	教授	南开大学
	杨文霞	教授	南开大学
	徐开友	教授	天津理工大学
	付晓梅	副教授	天津大学
	栗田禾	高级工程师	天津工程师范学院
	郭振武	讲师	南开大学滨海学院

丛书前言

应用型电子信息类专业人才必需具备能跟踪新技术发展的良好专业素质、娴熟的专业技能和突出的实践能力。对于学生的这种专业素质、技能与能力的培养,必须建立一套科学有效的理论与实验教学体系,大力加强学生的实践动手能力的训练,其中包括实验基地和实验教材的建设。

本套丛书由南开大学滨海学院联合天津部分高校相关专业的教师编写而成。丛书是参照电子信息类实验教学大纲的要求,结合应用型电子信息类专业人才目标而编写的。丛书内容主要体现了在培养学生的基本实验技能的同时,特别注重对学生的电路设计与综合应用能力和自主开发能力的启发与培养,以全面提高学生的专业素质和创新能力。

该丛书既保持了每个实验的独立性,又保证了整个系统的一致性和完整性。每个实验可以单独开课,各实验之间又相互连接,本着由浅入深、由基础到应用、由单元到系统的原则。内容力求浅显易懂,便于操作。每门实验除验证实验外,均设有自主设计性实验和开发性创新实验,便于学生自主创新的培养。每个实验教材后均附有思考题,便于学生开阔思路,培养学生分析问题和解决问题的能力,很好的完成实验。

本丛书的编写过程中得到天津市通信学会高等教育工作委员会和南开大学滨海学院领导的大力支持和帮助,得到相关实验设备生产企业的大力协助,在此致以衷心的感谢。

丛书编写中的不足,敬请指正。

丛书编写委员会

2009年7月于南开大学滨海学院

前 言

随着电子信息行业的飞速发展,新技术、新器件如雨后春笋般的不断涌现,电子信息类专业电子技术基础实验也迫切需要改革。如何在模拟电子技术基础实验课程中突出实验课程独立的教学体系,如何突破实验课只是理论验证,如何强化实验课培养学生动手能力、创新意识和工程实践能力,如何提高实验课教学效率,这些都是编者在从事模拟电子技术基础实验课程教学过程中不断思考和探索的问题。本书是编者在近几年教学改革实践的基础上,对原开设的模拟电子技术基础实验课程的内容进行的优化整合,突出了操作性(动手能力训练)、设计性(分析能力训练)和应用性(工程实践能力训练和创新意识培养)。

本书主要包括四部分:第一部分是模拟电子电路测量方法;第二部分是模拟电子技术硬件实验,涵盖了模拟电子技术基础绝大部分的知识点,包括对理论的验证和对实用电路的分析设计;第三部分是基于 Pspice 仿真软件的仿真实验;第四部分是对实验中使用仪器的介绍。

本书列举的实验内容较多,各院校可根据实际学时的多少和专业类别的不同要求,筛选实验内容。

本书由李维祥教授负责全书的统稿和定稿工作,第一部分由葛付伟执笔,第二部分由葛付伟、刘广伟、孟庆斌共同执笔,第三部分由孟庆斌执笔,第四部分由刘广伟执笔。

模拟电子技术基础是电子信息类专业课程的基石,模拟电子技术的教学改革任重道远,由于编者的水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年7月于南星湖畔

目 录

第一部分	模拟电子电路测量方法	(1)
第一节	测量的基本概念.....	(1)
第二节	电压测量方法.....	(3)
第三节	阻抗测量.....	(4)
第四节	增益及幅频特性的测量.....	(6)
第五节	频率、时间和相位的测量.....	(9)
第六节	失真系数的测量.....	(15)
第七节	调幅系数的测量.....	(16)
第八节	测量误差.....	(17)
第九节	测量数据处理.....	(23)
第二部分	模拟电子电路硬件实验	(27)
实验一	单级阻容耦合放大器.....	(27)
实验二	多级放大器的实验研究.....	(36)
实验三	负反馈放大器.....	(41)
实验四	差分放大器.....	(48)
实验五	集成运算放大器的基本应用.....	(55)
实验六	集成功率放大器.....	(64)
实验七	文氏桥正弦振荡器.....	(72)
实验八	LC 正弦波振荡器.....	(78)
实验九	集成函数发生器的应用.....	(85)
实验十	整流、滤波、稳压电路.....	(91)
实验十一	电压比较器.....	(102)
实验十二	有源滤波器的实验研究.....	(110)
实验十三	线性多用表.....	(117)
实验十四	音频放大电路.....	(124)
第三部分	模拟电子电路仿真实验	(128)
实验十五	单级放大器.....	(128)
实验十六	多级放大器.....	(134)

实验十七	集成运算放大器的基本应用	(139)
实验十八	文氏桥正弦振荡器	(142)
实验十九	整流、滤波电路	(145)
实验二十	有源滤波器的实验研究	(150)
第四部分	实验用仪器介绍	(154)
第一节	示波器	(154)
第二节	函数信号发生器	(168)
第三节	直流稳压电源	(171)
第四节	频率计	(176)
第五节	交流毫伏表	(178)
第六节	万用表	(181)
附 录	元器件清单	(184)
参考文献		(188)

第一部分 模拟电子电路测量方法

第一节 测量的基本概念

一、电子测量

测量——是为确定被测对象的量值而进行的实验过程,在这个过程中常借助专门的设备,把被测对象直接或间接地与同类已知单位进行比较,取得用数值和单位共同表示的测量结果,测量结果必须由数值和单位两部分组成,如 35.22Ω , 598Hz , 42.5V 等。凡是利用电子技术来进行的测量都可称为电子测量,模拟电子电路的测量,主要包括下面几个方面:

1. 电能量的测量。即测量电流、电压、电功率等;
2. 信号特性测量。如信号波形和失真度、频率、相位、脉冲参数、调幅度、信号频谱、信噪比等;
3. 元件及电路参数的测量。如电阻、电感、电容、电子器件(晶体管、场效应管)、集成电路、电路的频谱特性、带宽、增益等的测量。

二、计量的概念

以确定量值为目的的一组操作称为“计量”。它突出的两点:计量的目的是为了确定被计量对象的量值;其次,它本身是一种操作。也就是说计量是为了保证量值的统一和准确一致的测量。

计量基准分为国家基准、副基准和工作基准。

三、测量方法的分类

1. 直接测量和间接测量

(1) 直接测量

直接从测量的实测数据中得到测量结果的方法。如用 DC 电压表测量放大器的直流工作电压、欧姆表测电阻等。

(2) 间接测量

通过测量一些与被测量有函数关系的量,然后通过计算而获得被测量值的测量方法。如测量电阻上消耗的功率 $P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$,可以通过直接测量电压、电流或测量电流、电阻等方法而求出功率 P ,又如测放大器的增益 $A_v=V_o/V_i$,一般是分别测量放大器的输入电压 V_i 和输出电压 V_o ,然后计算得 A_v 值。

(3) 组合测量

它是兼用直接测量与间接测量的方法,通过联立求解各函数关系式来确定被测量的大小。用计算机来求解,更为方便。

2. 直接测量法与比较测量法

(1) 直接测量法

利用电测量指示仪表在刻度线上读出测量结果的方法。如用电压表测电压。这种方法是根据仪表的读数来判断被测的大小,而量具并不直接参与测量的过程。

直接测量法操作方便,设备简单,得到广泛运用,但它准确度低,一般不能用于高准确度的测量。

(2) 比较测量法

比较测量法是将被测量与标准量直接进行比较而获得测量结果。电桥就是典型例子。利用标准电阻(电容、电感)对被测量进行测量。

由上可见,直接测量与直读法,间接测量与比较法并不相同,二者互有交叉。如电压、电流表法测量功率,是直接法,但属于间接测量法;又如电桥测电阻,是比较法而属于直接测量。

根据测量方式还可以分为自动测量和非自动测量。

从测量精确度可分为工程测量和精密测量。

3. 按被测量性质分类

(1) 时域测量

例如电流、电压等,它们有瞬态量和稳态量,前者用示波器显示其变化规律,后者用指示仪表测量。

(2) 频域测量

如测量线性系统的频率特性和信号的频谱分析。

(3) 数据域测量

利用逻辑分析仪对数字量进行测量的方法。

(4) 随机测量

如对各类干扰信号,噪声的测量和利用噪声信号源等进行的动态测量。

第二节 电压测量方法

在电压测量中,要根据被测电压的性质(直流或交流)、工作频率、波形、被测电路阻抗、测量精度等,来选择测量仪表(如仪表量程、阻抗、频率、准确度等级)。

一、交、直流电压的测量方法

1. 直接测量法

用模拟指针式电压表,可以直接测量交、直流电压的各主要参数。如磁电系仪表可以测量直流或周期变化的交流平均值,电磁系或电动系仪表可以测量交流电流的有效值,也适用于低频交流电流或电压测量。

测量时,考虑电表输入阻抗、量程、频率范围,尽量使被测电压的指示值在仪表量程的 $2/3$ 以上。这样可以减少测量误差。

2. 比较测量法——示波器法

比较测量法是用已知电压值(一般为峰—峰值)的信号波形与被测信号电压波形比较,并算出电压值。

(1) 示波器测量直流电压

将 AC—GND—DC 开关置于 GND,将扫描线移到示波器屏幕刻度中心作为零电压参考。然后将开关置 DC,扫描线即上移或下降,根据偏离值就可算出直流电压值即

$$\text{直流电压} = \text{偏离值(DIV)} \times \text{伏/DIV}$$

式中伏/DIV 为示波器面板上 Y 轴衰减器的旋钮指示值。扫描线上移为正电压,下降为负电压。

(2) 示波器测交流电压

将示波器的伏/DIV 微调和扫描时间/DIV 微调旋钮均置校准位置,若荧光屏显示的信号如图 1 所示。

VOLT/DIV(伏/分度)……在 5V 正弦信号的峰值电压(V_p)为

$$5.0\text{V/DIV} \times 2.0\text{DIV} = 10\text{V}$$

正弦信号峰—峰值电压:(V_{p-p})

$$5.0\text{V/DIV} \times 4.0\text{DIV} = 20\text{V}$$

正弦电压的有效值:

$$V = V_p / \sqrt{2} = V_{p-p} / 2\sqrt{2} = 7.07\text{V}$$

对于非正弦的脉冲信号电压,一般不能用毫伏表来测量,而采用示波器显示

与测量(方法同测正弦交流电压一样)。

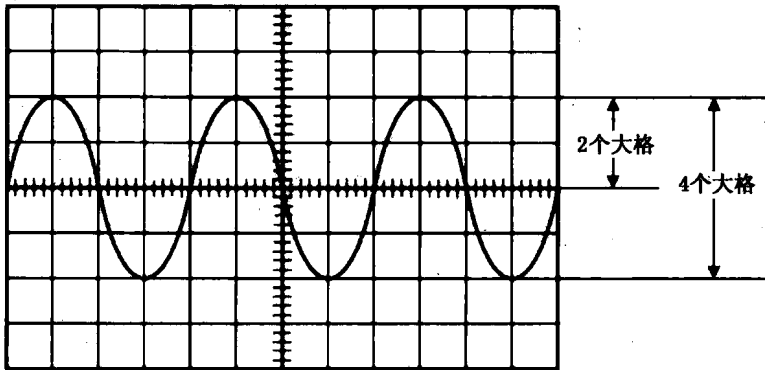


图 1 交流电压测量图

二、用微差法测大电压的变化量

为了正确测量出大电压的微小变化量(如直流稳压源,由于电网或负载变化而引起输出电压的变化),可用多位的数字电压表直接测量,若无数字电压表,可用微差法来测量。如图 2 所示, E 是一标准电源, $E=V_o$,当稳压电源有 $0.01V$ 量级的变化时,就能得到较高的测量精度。微差法测量精度取决于标准电源 E 和小量程电压表 V 的精度组合关系。

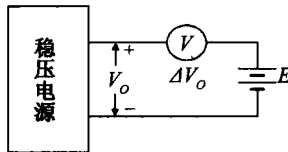


图 2 微差法测量电路

第三节 阻抗测量

阻抗是描述一切电路系统的传输及变换特性的一个重要参数。测量条件不一样,阻抗测量值也不相同。

在直流情况下:

$$R = \frac{E}{I} \quad (1)$$

在交流情况下:

$$Z = \frac{E}{I} = R + jX \quad (2)$$

下面简单模拟性电路中低频条件下,有源二端网络(或放大器)输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的测量方法。

一、替代法测输入电阻 R_i

测量电路如图 3 所示,将有源二端网络的输入电阻等效为 R_i 。当开关 K 置“a”点时测量①、②两端电压为 V_1 值, K 置 b 点时,调电位器 R_w 使①、②两端电压仍为 V_1 值,则 R_w 的值就等于输入电阻 R_i 值。

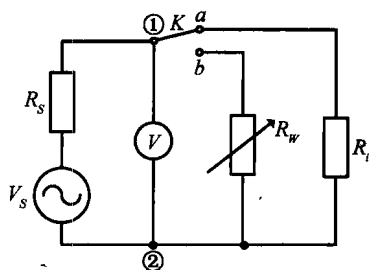


图 3 替代法测量电路

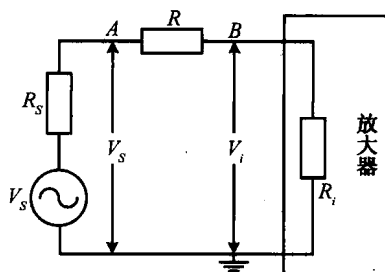


图 4 换算法测量电路

二、换算法测输入电阻 R_i

1. 当被测电路的输入电阻为低阻时,如图 4 所示,在信号源与有源二端网络(如放大器)之间串一已知电阻 R ,只要用毫伏表分别测出电阻 R 两端对地的电位 V_s 和 V_i 值,则

$$R_i = \frac{V_i}{V_s - V_i} R = \frac{R}{\frac{V_s}{V_i} - 1} \quad (3)$$

注意:选 R 与 R_i 为同一数量级,若 R 过大易引起干扰,若 R 过小测量误差较大。

2. 当被测电路为高输入电阻时(如场效应管放大器),输入电阻 R_i 的测量电路如图 5(a)所示。

3. 由于毫伏表的内阻与放大器输入电阻 R_i 数量级相当,不能直接在输入端测量。而在输入端串一已知电阻 R 与 R_i 数量级相当。由于 R 的接入,在放大器输出端引起 V_o 的变化,用毫伏表在放大器输出端测 K 闭合时的 V_{o1} 和 K

断开时的 V_{O2} 。则

$$R_i = \frac{V_{O2}}{V_{O1} - V_{O2}} R \quad (4)$$

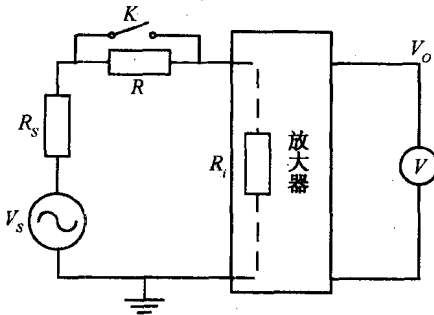


图 5(a) 换算法测高输入电阻

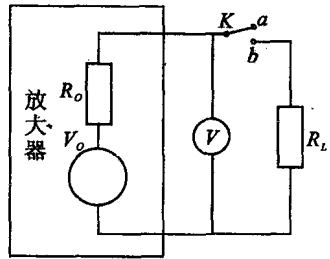


图 5(b) 换算法测输出电阻

图 5 换算法测高输入电阻与输出电阻

三、输出电阻 R_o 的测量方法(同样采用换算法)

1. 用换算法测有源二端网络(如放大器)的输出电阻 R_o , 测量电路如图 5(b)所示。

(1) 首先 K 置“a”用毫伏表直接测出开路电压 V_o , 再将 K 置 b 并用毫伏表测出有负载时负载上的电压 V_{OL} , 然后用(5)式计算。

$$R_o = \left(\frac{V_o}{V_{OL}} - 1 \right) R_L \quad (5)$$

(2) 测输出端电流、电压变化量。在有源二端网络的输出端串一负载电阻 R_L , 改变 R_L 值, 可测电流、电压的变化量。则

$$R_o = \left| \frac{V_{O1} - V_{O2}}{I_{O1} - I_{O2}} \right| \quad (6)$$

若测交流阻抗, 一般集中参数(指电容、电感值), 常用交流电桥测量法, 准确度较高。这部分内容属电磁学实验内容, 故这里不再赘述。

第四节 增益及幅频特性的测量

增益是网络传输特性的主要参数。一个有源网络电流、电压、功率的增益, 可用下式表示:

$$\begin{aligned}
 A_i &= I_o / I_i \\
 A_v &= V_o / V_i \\
 A_p &= P_o / P_i = A_i \cdot A_v
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

在通信系统测试中,往往是用分贝(dB)来表示电压比或功率比,所以网络增益又可以用下式表示

$$\begin{aligned}
 G_i &= 20 \log \frac{I_o}{I_i} \\
 G_v &= 20 \log \frac{V_o}{V_i} \\
 G_p &= 10 \log \frac{P_o}{P_i}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

电路的幅频特性,是指输出电压与输入电压之比值(即电压增益)和频率之间的关系,是一个与频率有关的量。

一、逐点法测量幅频特性

在保持输入信号电压值不变的情况下(用毫伏表或示波器监视),逐点改变输入信号的频率,分别测出不失真时的输出电压值(用毫伏表或示波器测量),计算对应于不同频率下的电压增益 $A_v = \frac{V_o}{V_i}$,即可得到被测网络的幅频特性。这种测量速度慢,不能测量动态频率特性。目前更多的是用扫频法测量频率特性。

二、扫频法测量幅频特性

用扫频仪测量网络的频率特性曲线是目前广泛应用的方法。

这种测量方法速度快,又能直观地显示出网络的幅频特性曲线。扫频仪的工作原理方框图及各点波形如图6所示。图6(a)中的扫频信号发生器实质上为调频信号发生器,它由调制信号控制,按调制信号的规律改变其频率,而幅度保持恒定不变。调制信号和扫频信号如图6(b)①、②所示。将扫频信号加到被测设备的输入端,被测设备输出电压和频率的关系即为频率特性。如被测设备是选频放大器,则为图6(b)③所示,该输出经扫频仪的峰值检波器检出包络,如图6(b)④所示,将此信号送至示波器Y轴方向显示被测设备的输出电压幅度。而示波器的X轴方向即为频率轴。所以加到示波器X轴偏转板上的电压应与扫频信号的频率变化的功率一致,这样示波器屏幕上才能显示出清晰的幅频特性曲线。

第五节 频率、时间和相位的测量

在电子技术领域内,频率是一个最基本的参数。频率的测量精确度可以做得很高。因此,目前在电子测量中,频率的测量显得更为重要。

一、频率的测量

频率的测量方法如下表:

频率的测量方法分为	直读法	电桥法
		谐振法
	比较法	拍频法
		差频法
计数法	示波器法	李沙育图法 测周期法
	电子计数器	电容充放电式

下面我们介绍几种常用的测频方法。

1. 谐振法测频率

测量电路如图 7 所示,由 L、C 和一高频电流表组成串联谐振电路。调节电容 C,使电流表指针偏转最大,这时电路谐振,谐振时,被测信号频率为:

$$f_x = f_0 = 1 / (2\pi \sqrt{LC}) \quad (9)$$

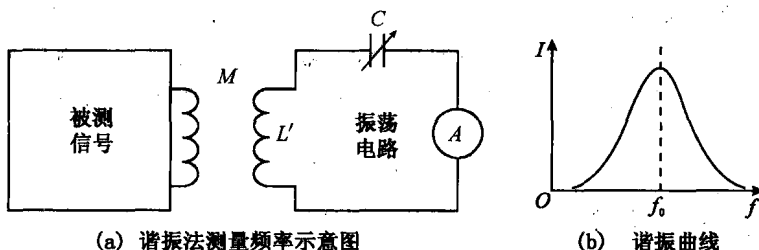


图 7 谐振法测量频率

式中, L' 为串联回路的等效电感。

谐振法一般用于测量较高的频率。频率可从与谐振电容 C 相关的度盘上