



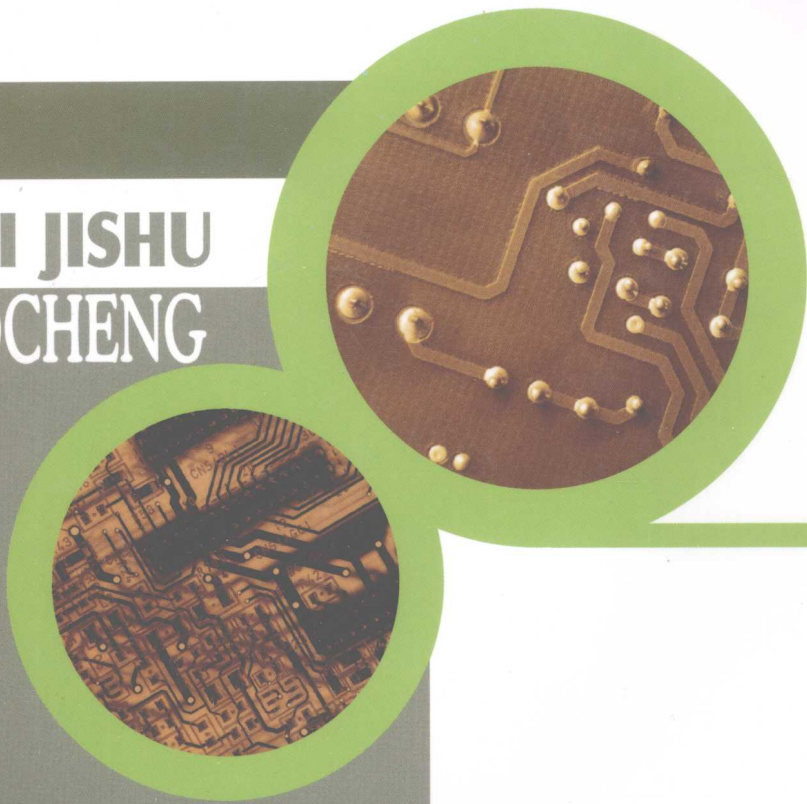
西南交通大学 323 实验室工程 系列教材

模拟电子技术实验教程

主编 杨小雪 副主编 王丹 史燕

主审 西南交通大学实验室及设备管理处

MONI DIANZI JISHU
SHIYAN JIAOCHENG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

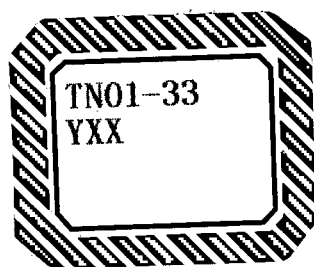
西南交通大学 323 实验室工程系列教材

模拟电子技术实验教程

主 编 杨小雪

副主编 王丹 史燕

主 审 西南交通大学实验室及设备管理处



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 提 要

本书参照高等学校电气信息类专业模拟电子技术实验教学要求编写,其特点如下:
① 加强了模拟单元电路的设计性实验和综合实验课题;② 以集成运算放大器为主,兼顾分立元件电路,前者着重于应用设计,后者侧重放大电路静态和动态关系研究;③ 引入电子电路仿真与设计平台。

全书共有 5 章和 1 个附录。第一章介绍电子技术实验基础知识及技术,包括电子测量技术、实验调试、故障检测及实验数据处理等基本知识。第二章介绍电子电路仿真与设计软件 ORCAD (PSPICE) 和 Multisim。第三章为模拟电路基础实验,各实验项目分基本型、提高型、仿真实验三个层次,共有 12 个实验项目。第四章为模拟电路综合设计实践,6 个课题。第五章介绍了模拟电子技术实验常用电子仪器的功能及使用方法。附录为常用元器件速查手册。

本书可作为高等院校电气信息类专业及其他相近专业本科生教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

模拟电子技术实验教程 / 杨小雪主编. —成都:西南交通大学出版社, 2007.8

(西南交通大学 323 实验室工程系列教材)

ISBN 978-7-81104-682-3

I. 模… II. 杨… III. 模拟电路—电子技术—实验—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113751 号

西南交通大学 323 实验室工程系列教材

模拟电子技术实验教程

主 编 杨小雪

*

责任编辑 黄淑文

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川锦祝印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 10.75

字数: 269 千字 印数: 1—3 000 册

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81104-682-3

定价: 12.50 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是为高等学校电气信息类(电气类、电子类)和其他相近专业而编写的实验教材。在编写过程中参照了教育部课程指导委员会2004年8月制定的《模拟电子技术基础课程教学基本要求》;考虑到电子技术发展应用现状,在其内容上作了相应的拓展,以适应当前电子科技发展和工科教育改革对加强实践性教学的要求。

本书在总结作者多年的实验教材和讲义的基础上,经过教改和实践,在编写内容和方法上进行了较大的修改、补充和完善。全书共有5章和1个附录,在内容编写和选择方面有如下考虑:

(1) 为了适应实验课独立设课需要,每个实验(课题)中都有预习要求、思考题、实验原理、参考电路及设计指导,多数学生可以通过自学教材和网络课件或在教师的指导下,自行完成设计任务,拟订实验步骤和测试方法,独立完成实验全过程。

(2) 实验项目及内容多层次设计:分基本型(含设计)、提高型,并对大部分实验明确提出了仿真设计实验要求。在基本实验之后,提供了较为丰富的模拟综合设计性课题,可供不同学时的基础实验教学和课程设计或电子电路设计制作等教学环节选用。

(3) 本书以实例形式简要介绍了Multisim、PSPICE软件,利于学生自学和快速仿真设计入门,为进行模拟电子技术实验和课程设计提供了软件平台。

(4) 为了突出基本技能的训练和培养学生分析和解决实际问题的能力,本教材力求做到目标明确、措施落实:

① 模拟电子基本测量技术及常用电子仪器测量电路的主要技术指标训练贯穿到每个实验内容中。重点培养学生熟练使用示波器,包括会用示波器测量相位、时间、频率、电压(或电流)的平均值、有效值、峰值和X-Y函数关系等。

② 所有实验都是由学生自行安装、调试,培养分析、查找和排除实验电路中故障的能力。

③ 把阅读和查阅电子器件手册作为一种基本训练列入有关实验中。

参加本书修订与撰写工作的教师分工如下:第一章由史燕、杨小雪完成;第二章由王丹完成;第三章、第四章由杨小雪、王丹、史燕完成;第五章由陈星完成;附录由杨磊完成。全书由杨小雪负责协调和统稿。贾贷松、刘鑫为本书绘制了大量的底图,徐安明老师对本书提出了宝贵意见。本书的出版得到西南交通大学“323实验室工程”出版基金资助,在此致以诚挚的谢意。

本教材符号说明：直流量的符号和下标都是大写，如直流电压信号输入 V_1 ；交流量的符号和下标都是小写，例如输入正弦波电压 v_i ；交流有效值的符号大写，下标小写，如 V_1 ；交流幅值（峰值）的符号大写，下标小写加后缀p，如 V_{op} ；交流与直流混合信号的符号小写，下标大写，如 v_{CE} 。

由于编者的能力和水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请广大师生及读者不吝指正。

(dzx@home.swjtu.edu.cn)

编 者

2007.4

目 录

第一章 电子技术实验基础知识及技术	1
第一节 概 述	1
第二节 示波器测量技术	4
第三节 放大电路的基本参数测量方法	8
第四节 测量误差与测量结果处理简介	11
第五节 电子电路的安装	15
第六节 电路的调试	16
第七节 检查故障的一般方法	18
第二章 电子电路计算机辅助设计与仿真	21
第一节 ORCAD (PSPICE) 使用入门	21
第二节 MultiSim 操作入门	34
第三章 模拟电路基础实验	45
实验一 常用仪器使用及练习	45
实验二 单管共射放大电路	49
实验三 场效应管放大器	55
实验四 算术运算电路	58
实验五 负反馈放大电路的研究	63
实验六 积分与微分电路	66
实验七 有源滤波电路	70
实验八 RC 正弦波振荡电路	74
实验九 电压比较器	78
实验十 波形产生电路	82
实验十一 功率放大电路	85
实验十二 锁相环的作用	89
第四章 模拟电路综合设计实践	95
课题一 温度控制器的设计	95
课题二 音响放大器设计	98
课题三 直流稳压电源的设计	102
课题四 仪器放大器的设计	110
课题五 可编程放大器的设计	116

课题六 模拟乘法器的应用	120
第五章 常用电子仪器及使用	124
第一节 SS-7802A 型示波器使用说明	124
第二节 DF-1731SC2A 型直流稳压源	134
第三节 DF2170A 型交流毫伏表	136
第四节 DF1641B1 型函数发生器	137
第五节 MFB-4 型模拟电子技术实验箱	139
附录 常用元器件手册	141
参考文献	165

第一章 电子技术实验基础知识及技术

第一节 概述

测量是科学实验中对客观事物取得“数量”观念的重要手段。著名科学家门捷列夫曾说过：没有测量，就没有科学。这句话精辟地阐明了“测量”的重要意义。

电子测量技术是一门发展十分迅速的学科，它涉及电量及各种非电量的测量，这里只简要介绍基本电量测量技术中的共性问题。

一、测量方法分类及选择原理

1. 测量方法分类

按能否直接得到被测量，可将测量方法分为以下几类：

(1) 直接测量。

顾名思义，这是一种可以直接得到被测量值的测量方法。例如用电压表测量稳压电源工作电压等。

(2) 间接测量。

与直接测量不同，间接测量是利用直接测量的量与被测量之间已知函数关系，得到被测量的值的测量方法。例如，测量放大器的电压放大倍数 A_v ，一般是分别测量输出电压 V_o 与输入电压 V_i 后再算出 $A_v = V_o / V_i$ 。这种方法常用于被测量不便于直接测量，或者间接测量的结果比直接测量更为准确的场合。

(3) 组合测量。

这是一种兼用直接测量和间接测量的方法，将被测量和另外几个量组成联立方程，最后通过求解联立方程来得出被测量的大小。这种方法用计算机求解比较方便。

按被测量的特点和性质不同，可将测量方法分为以下几类：

(1) 频域测量。

频域测量技术又称为正弦测量技术。被测参数多表现为频域的函数，而与时间因素无关，测量时，电路处于稳定工作状态，因此又称稳定测量。

(2) 时域测量。

时域测量技术与频域测量技术不同，它能观察电路的瞬变过程及其特性，如上升时间 t_r 、平顶降落 δ 、重复周期 T 和脉宽 t_p 等。

时域测量技术采用的主要仪器是脉冲信号产生器和示波器。

(3) 噪声测量。

噪声测量是属于随机测量。在电子电路中，噪声与信号是相对存在的，不与信号大小相联系来讲噪声是无意义的。因此工程技术中，常用噪声系数 F_N 来表示电路噪声的大小，即

$$F_N = \frac{\text{输入信噪比}}{\text{输出信噪比}} = \frac{P_{IS} / P_{IN}}{P_{OS} / P_{ON}}$$

式中 P_{IS} 、 P_{IN} ——电路输入端的信号功率与噪声功率；

P_{OS} 、 P_{ON} ——电路输出端的信号功率与噪声功率。

2. 选择测量方法的原则

在选择测量方法时，应首先研究被测量本身的特性及所需要的精确程度、环境条件及所具有的测量设备等因素，综合考虑后再确定采用哪种测量方法和选择哪些测量设备。

采用正确的测量方法，可以得到好的结果，否则，不仅测量结果不可信，而且有可能损坏测量仪器、仪表和被测元器件。

二、电子电路电压的测量

在电子测量领域中，电压是基本参数之一。许多电参数，如增益、频率特性、电流、功率、调幅度等都可视为电压派生量。各种电路工作状态，如饱和、截止等，通常都以电压的形式反映出来。因此，电压的测量是许多电参数测量的基础。电压的测量对调试电子电路是必不可少的。

一般来说，测量电压时应考虑以下情况：

(1) 被测电压的频率范围：电子电路中电压的频率可以从零到几千兆赫兹。不同频率范围的电压，其测量方法不同，所选用的仪器也不同。因此，选用仪器不但要注意仪器的量程范围，还要注意仪器的频率范围，否则测量误差将很大，甚至无法测量。直流电压表只能测直流电压；一般的交流电压表只适用于测量工频电压，例如万用表交流挡的频率范围为 40~1 000 Hz；音频毫伏表的频率范围为 20 Hz~20 kHz；视频率毫伏表的频率范围为 10 Hz~10 MHz；超高频率电压表频率范围为 1 kHz~1 GHz；数字式电压表在测量交流电压时，其频率范围不够宽，一般为几十千赫兹。

(2) 仪表的测量范围：待测电压可以从微伏级到千伏以上，测量不同的电压等级必须采用不同量程的电压表。为减少测量误差，一般应使被测电压示值处于仪表量程的一半以上。

(3) 测量仪器的输入阻抗：为了使测量仪器接入时对被测电路的影响足够小，要求测量仪器有较高的输入电阻。

直流数字电压表输入电阻可达到 10 GΩ；交流数字电压表由于有 A/D 变换电路，因此输入阻抗不高，一般可达 1 MΩ/15 pF。

(4) 交、直流并存：被测的电压中常常是交流与直流并存，甚至还夹杂噪声干扰等成分。

(5) 存在非正弦电压：被测信号除了正弦波以外，还有大量的非正弦电压，如果用普通的以正弦波有效值刻度的交流电压表测量非正弦波，将产生误差。对于一些典型的非正弦波可经过换算得出被测电压的有效值。表 1.1.1 列出了几种常见交流电压波形参数，换算时，应首先确认所使用的交流电压表的检波方式，然后再根据表 1.1.1 进行换算。

表 1.1.1 几种交流电压的波形参数

波形	峰值 V_m	有效值 V_{rms}	平均值 V_{AV}	波形因素 $K_F = \frac{V_{rms}}{V_{AV}}$	波峰因数 $K_P = \frac{V_m}{V_{rms}}$
正弦波		$\frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m$	$\frac{2V_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.11$	$\sqrt{2}$
全波整流		$\frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m$	$\frac{2V_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.11$	$\sqrt{2}$
半波整流		$\frac{V_m}{2} = 0.5V_m$	$\frac{V_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2} \approx 1.57$	2
三角波		$\frac{V_m}{\sqrt{3}} = 0.577V_m$	$\frac{V_m}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1.15$	$\sqrt{3}$
方波		V_m	V_m	1	1
脉冲波		$\sqrt{\frac{t_p}{T}} V_m$	$\frac{t_p}{T} V_m$	$\sqrt{\frac{T}{t_p}}$	$\sqrt{\frac{T}{t_p}}$

例 1.1 用按正弦波有效值刻度的均值表分别测量正弦波、方波、三角波，电压表均指在 1 V 位置，问被测电压的有效值各为多少？

解 换算时，应首先将示值 $V_a = 1 \text{ V}$ 折算成正弦波的平均值，为：

$$V'_{AV} = V_a / K_a = 1 / 1.11 = 0.9$$

故： 正弦波有效值 $V_{rms} = 1 \text{ (V)}$
 三角波有效值 $V_{rms} = 1.15 \times V_{AV} = 1.035 \text{ (V)}$
 方波有效值 $V_{rms} = 1 \times V_{AV} = 0.9 \text{ (V)}$

例 1.2 用按正弦波有效值刻度的峰值检波电压表测量一个方波电压，读数为 10 V，问有效值为多少？

解 因峰值检波电压表是测量被测电压的峰值，并按正弦波有效值刻度的，故有

$$V_a = K_a V_m$$

式中 V_a —— 示值；

V_m —— 峰值;

K_a —— 刻度系数。

由表 1.1.1 可得出 $K_a = 1/\sqrt{2} = 0.707$ 。

换算时, 应首先将示值 $V_a = 10 \text{ V}$ 折算成正弦波的峰值, 为:

$$V_m = V_a / K_a = 10 / 0.707 = 14.14 \text{ (V)}$$

故方波有效值 $V_{rms} = V_m = 14.14 \text{ (V)}$

第二节 示波器测量技术

在电子技术领域中, 电信号波形的观察和测量是一项很重要的内容, 而示波器就是完成这个任务的一种很好的测试仪器。下面介绍示波器在基本测量中的一般应用。

一、电压测量

用示波器不仅可以测量正弦波电压, 而且还可以测量各种波形的电压幅值、瞬时值, 更有实际意义的是它还可以测量脉冲的上冲量、平顶降落等。因此, 与普通电压表比较, 电子示波器具有独特的优点。但是, 由于视差和示波器固有误差等因素的影响, 利用示波器进行测量也存在准确度不太高的缺点。

1. 交流电压的测量

当只需测量被测信号的交流分量时, 应将 Y 轴输入耦合开关置于 AC 位置, 调节电压灵敏度旋钮 (VOLTS/DIV), 使屏幕上显示的波形幅度适中, 调节 Y 轴位移旋钮 (POSITION) 使波形显示值便于读数, 如图 1.2.1 所示。根据 VOLTS/DIV 的刻度位置和波形在垂直方向的高度 H (DIV), 可计算出被测交流电压的峰-峰值 (V_{pp}):

$$V_{pp} = \text{VOLTS/DIV} \times H$$

图中: 电压灵敏度 (VOLTS/DIV) 为 2 V/DIV , 波形在垂直方向的高度 (H) 为 4.6 DIV , 于是有:

$$V_{pp} = 2 \times 4.6 = 9.2 \text{ (V)}$$

[如果使用的探头置 $10:1$ 位置 (10 倍衰减), 则还应乘以 10]

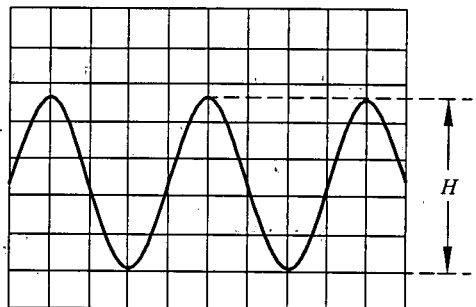


图 1.2.1 交流电压的测量

2. 直流电压的测量

当需要测量被测信号的直流分量和含直流分量的电压时, 应先将 Y 轴输入耦合方式开关置于 GND 位置, 扫描方式开关置于 AUTO 位置, 调节 Y 轴位移旋钮使扫描基线在某一合适

位置上，此位置即为零电平基准，再将 Y 轴输入耦合转到 DC 位置，此时波形（或基线）将上移或下移，根据波形偏离零电平基准线的垂直距离 H (DIV) 及 VOLTS/DIV 的指示值，可以算出直流电压的数值为：

$$V = \text{VOLTS/DIV} \times H$$

图 1.2.2 中，VOLTS/DIV 为 0.5 V/DIV， H 为 3.8 DIV，则：

$$V = 0.5 \times 3.8 = 1.9 \text{ (V)}$$

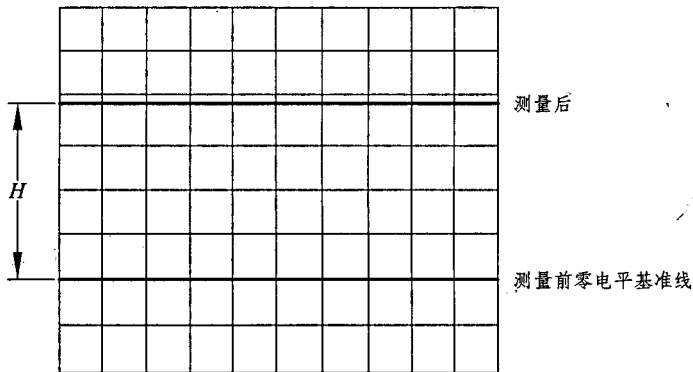


图 1.2.2 直流电压的测量

二、时间的测量

测量波形横向两点间的距离 D (DIV)，并根据扫描时基因数 (SEC/DIV) 选择开关的指示值，由下式计算出时间：

$$T = \text{SEC/DIV} \times D \text{ (DIV)}$$

1. 周期的测量

参见图 1.2.3，若波形完成一个周期， A 、 B 两点的水平距离 D 为 8 (DIV)，SEC/DIV 设置在 2 ms/DIV，则周期为： $T = 2 \text{ ms/DIV} \times 8 \text{ DIV} = 16 \text{ ms}$ 。

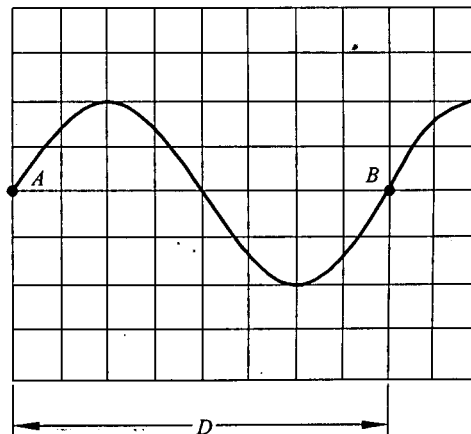


图 1.2.3 周期的测量

2. 脉冲上升时间的测量

参看图 1.2.4, 若波形上升沿的 10% 处 (A 点) 至 90% 处 (B 点) 的水平距离 D 为 1.8 DIV, SEC/DIV 置于 $1 \mu\text{s}/\text{DIV}$, 且水平扩展为 5 倍, 则可计算出上升时间为:

$$t_r = \frac{1 \mu\text{s}/\text{DIV} \times 1.8 \text{ DIV}}{5} = 0.36 (\mu\text{s})$$

若测得结果 t_r 与示波器上升时间 t_s 相接近 (20 MHz 的示波器 $t_s = 17.5 \text{ ns}$), 则信号实际上升时间 t'_r 应按下式求得:

$$t'_r = \sqrt{t_r^2 - t_s^2}$$

3. 脉冲宽度的测量

参看图 1.2.5, 若波形上升沿 50% 处 (A 点) 至下降沿 50% 处 (B 点) 的水平距离 D 为 5 DIV, SEC/DIV 置于 $0.1 \text{ ms}/\text{DIV}$, 则脉冲宽度为:

$$T_p = 0.1 \text{ ms}/\text{DIV} \times 5 \text{ DIV} = 0.5 (\text{ms})$$

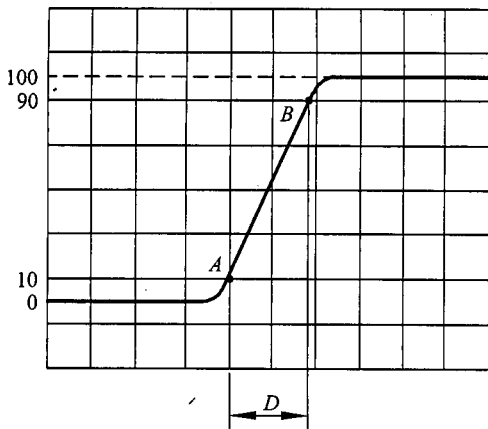


图 1.2.4 脉冲上升时间的测量

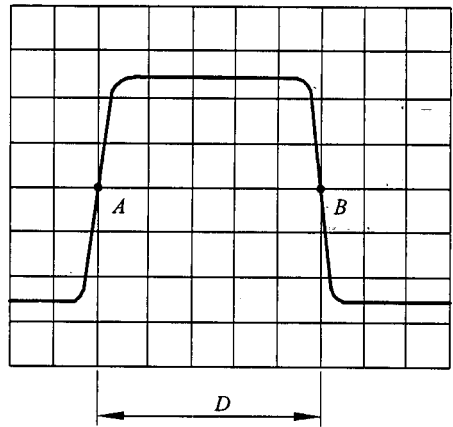


图 1.2.5 脉冲宽度的测量

三、频率测量

对于周期性信号的频率测量, 可先测出该信号的周期 T , 再根据公式 $f = \frac{1}{T}$ 计算出频率。例如, 测出信号的周期为 1 ms , 那么频率为 1 kHz 。

四、两个同频率信号的相位差测量

将触发源选择开关置于作为测量基准的通道, 采用双踪显示, 在屏幕上显示出两个信号的波形。由于一个周期是 360° , 因此, 根据信号一个周期在水平方向上的长度 L (DIV), 以

及两个信号波形相位差对应的水平距离 D (DIV), 参见图 1.2.6, 则可由下式算出这两个信号的相位差:

$$\Delta\theta = \frac{360^\circ}{L(\text{DIV})} \times D (\text{DIV})$$

通常为读数方便起见, 可调节水平微调旋钮, 使信号的一个周期占 9 格 (DIV), 那么每格表示的相角为 40° , 相位差为:

$$\Delta\theta = 40^\circ \times D (\text{DIV}).$$

例如, 图 1.2.6 中, 信号一个周期占 9 格, 两个信号相差对应的水平距离为 1 格, 则它们的相位差为 40° 。

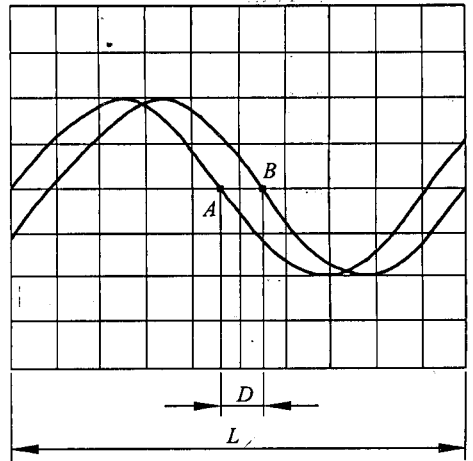


图 1.2.6 两同频率信号相位差的测量

五、失真度的测量

在线性电路中, 工作点选择不当或信号幅度过大都会使信号产生非线性失真, 其特点就是在输出信号中产生了新的频率分量。

1. 失真度的定义

失真度表征一个信号偏离纯正弦信号的程度。失真度定义为信号中全部谐波分量的能量与基波能量之比的平方根值。对于纯电阻负载, 信号的失真度也可以定义为全部谐波电压的有效值与基波电压的有效值之比并以百分数表示, 即

$$\gamma = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n V_i^2}}{V_1} \times 100\%$$

式中 V_1 ——基波电压的有效值;

V_i ——谐波电压有效值, $i=2, 3, \dots, n$ 。

2. 失真度的测量

(1) 采用专用的失真度测量仪测量失真度。

一般模拟式的失真度测量仪都采用基波剔除法, 通过具有频率选择性的无源网络 (如谐振电桥、文氏电桥、T 形电桥等) 抑制基波, 由总的电压有效值和抑制基波后的谐波电压有效值计算出失真度。

(2) 采用频谱分析法测量失真度。

通过测量各次谐波的方法计算出波形失真度。具体要测量到第几次谐波视精度要求而定, 一般取到 3~5 次已经足够了。新型的数字存储示波器有 FFT 频谱显示功能, 因此可以用它间接测量出信号的失真度。测量步骤如下:

- ① 将被测信号完整地显示在屏幕上。
- ② 将示波器设置为显示 FFT 方式。
- ③ 选择 FFT 窗口函数，对周期信号一般选汉明窗 (Hanming)。
- ④ 使用缩放控制放大频谱。
- ⑤ 使用光标测量频谱，依次从基波开始测量各次谐波。
- ⑥ 按相应公式计算失真度。

第三节 放大电路的基本参数测量方法

放大电路基本参数主要指静态指标和小信号动态指标。

一、静态工作点的测量

静态工作点 Q 主要指在信号零输入时，各三极管的 V_{CEQ} 、 V_{BEQ} 、 I_{CQ} 、 I_{BQ} 值，其中以 V_{CEQ} 最为重要， V_{CEQ} 的大小决定电路的工作区（放大、截止和饱和区）。

测量时，先去掉信号源，再将放大器的输入端短路，对于放大倍数不高的阻容耦合电路也可将其开路（关闭信号源电源），然后用万用表的直流电压挡测量所求电压值。

在本实验教程中，测量 Q 点指测量各三极管的 V_{CEQ} 和 V_{BEQ} ，对 I_{CQ} 和 I_{BQ} 可以通过测量电阻上的电压而间接求得。

请注意：万用表直流电压挡测量的是电压平均值，如果在 Q 点上叠加了一个平均值为零的交流分量，则对 Q 点无影响，如果这个交流分量的平均值不为零（失真的正弦波），则对 Q 点有影响。

使用仪表：万用表直流电压挡。

二、小信号动态指标的测量

在模拟电路中，小信号动态指标（ A_v 、 R_i 、 R_o 、 f_L 、 f_H ）的测量一般是通过输入一个正弦波并测量其相应点的电压有效值，根据以下公式及方法计算而得。

1. A_v 的测量

测量 A_v 时，首先应选择合适的输入信号 v_i ，然后用示波器观察输出信号的波形。在输出信号不失真的条件下用交流毫伏表测出 V_i 、 V_o ，通过计算 V_o/V_i ，即得 A_v 。参见图 1.3.1。

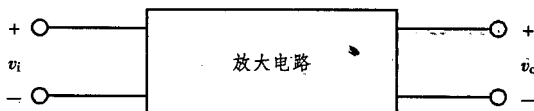


图 1.3.1 测量 A_v 原理框图

2. R_i 的测量

当毫伏表内阻远大于被测电路 R_i 时，可采用图 1.3.2 所示电路测量 R_i ，且有

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R_s$$

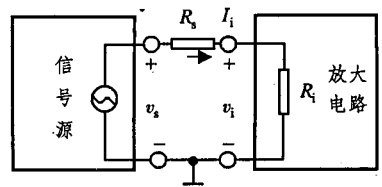


图 1.3.2 测输入电阻原理图之一

当毫伏表内阻的并联影响不能忽略(即测量高输入阻抗放大电路)时，宜采用图 1.3.3 所示电路测量 R_i 。

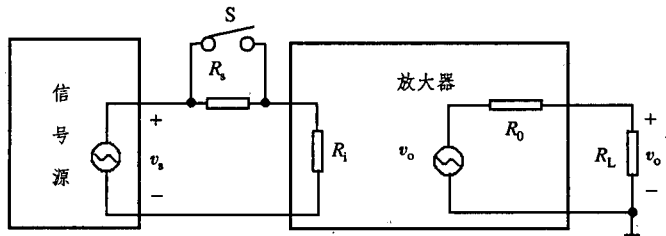


图 1.3.3 测输入电阻原理图之二

方法：先闭合开关 S ($R=0$)，输入信号电压 v_s ，测出相应的输出电压 $V_{o1} = A_v V_i$ ；然后断开 S ，测出相应的电压 $V_{o2} = A_v V_i$ 。因为两次测量中 A_v 和 V_s 是基本不变的，所以 R_i 可按下式计算：

$$R_i = \frac{V_{o2}}{V_{o1} - V_{o2}} R_s$$

注意：测量时应尽量使 R_s 与 R_i 的数量级相同。

3. R_o 的测量

输入适当电压(以负载电阻开路后，输出波形不失真为准)，用毫伏表测出负载开路时的输出电压值 V_∞ ($R_L = \infty$) 和带负载时输出电压值 V_o ，即可通过以下表达式求出输出电阻的值：

$$R_o = \frac{V_\infty - V_o}{V_o} R_L$$

使用仪表：函数发生器、毫伏表、示波器。

4. 幅频特性的测量

(1) 点频测量法——线性系统频率特性的经典测量法。

首先应确定通频带的大概范围，然后固定 V_i ，找出通频带的输出电压值 V_o 并记录此 V_o ，再保持 V_i 不变，改变频率使 V_o 分别下降到通频值的 0.9、0.8、0.707、0.6、0.5 倍，记录下相应的频率和对应的输出电压值，以对数坐标画出幅频特性图，其中 0.707 倍输出电压所对应的频率为转折频率 (f_L 、 f_H)。

请注意：测量电路的频率特性时，要选用频带较宽的测量仪器。

使用仪表：函数发生器、毫伏表、示波器。

(2) 幅频特性扫频测量法。

频率源的输出能够在测量所需的范围内连续扫描，因此可以连续测出各频率点上的频率特性结果并立即显示特性曲线。其特点是快捷，不会因频点选择不当或不足而漏掉某些特性曲线的锐变部分以及失常点。图 1.3.4 是用幅频特性扫频测量法测出的幅频特性图。

使用仪表：扫频分析仪。

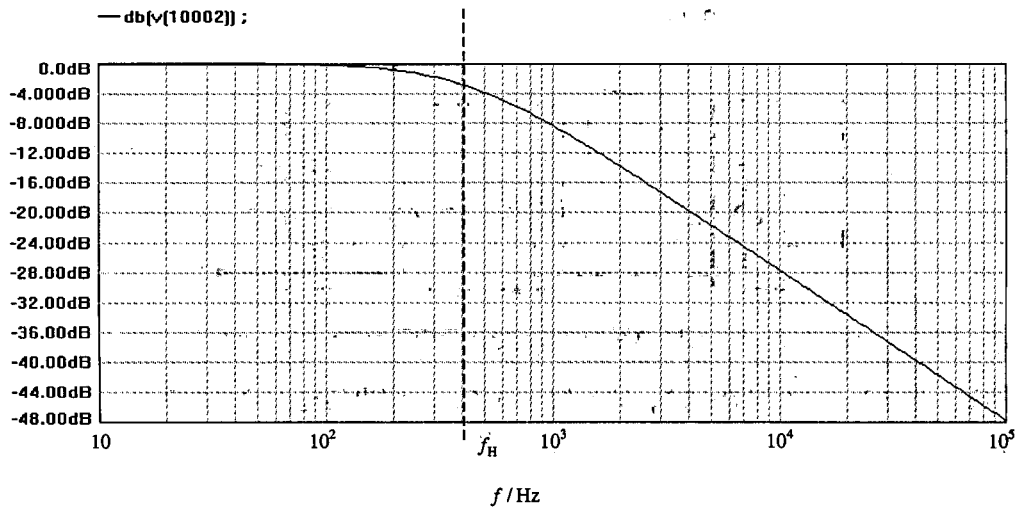


图 1.3.4 幅频特性图示例

5. 电压传输特性的测量

电压传输特性是指输出电压在一定范围内随输入电压变化而变化的关系曲线。测试方法如下：

- ① 将输入信号接示波器 CH1，输出信号接 CH2。
- ② 将示波器设置成 X-Y 方式并将两个通道都调到零点，使特性曲线通过示波器屏幕的原点。
- ③ 将输入信号幅值调到足够大，以便能看到放大器出现限幅或比较器输出电平翻转的情况。

三、测量放大电路基本参数的注意事项

(1) 测量交流电压首先要注意仪器的共地，认为交流电压不分正负因此不必共地的看法是不正确的。我们说的“地”是指仪器或电路的公共端。当两个或多个电子仪器是通过交流电源（如 220 V）供电时，就需要将这些仪器的各自的公共端接在一起，以使干扰最小。

因此，在测量交流电压时我们始终是测量电位，而不是直接测量两点的电压，比如对于图 1.3.5 所示电路，应该分别测量 V_a 和 V_b ，然后通过计算 $V_a - V_b$ 得 V_{ab} ，若直接测量 V_{ab} ，毫伏表就不能与电路和其他仪器共地，而且将影响电路工作。