



应用型本科规划教材

DIANZI JISHU JICHU SHIYAN

电子技术基础实验

◆ 杨善晓 陈财明 陈月芬 周 强 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

电子技术基础实验

杨善晓 陈财明 陈月芬 周 强 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验 / 杨善晓编著. —杭州: 浙江大学出版社, 2009. 6

高职高专应用电子专业工学结合规划教材

ISBN 978-7-308-06792-8

I. 电… II. 杨… III. 电子技术—实验—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 079549 号

电子技术基础实验

杨善晓 陈财明 陈月芬 周 强 编著

责任编辑 杜希武

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州好友排版工作室

印 刷 临安市曙光印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 18

字 数 438 千

版 印 次 2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-06792-8

定 价 30.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88925591

前 言

随着电子信息产业的飞速发展和我国高等教育大众化的深层次推进,如何培养电子电气类专业学生的工程实践能力的问题,已经越来越受到人们的重视。电子技术基础实验课程是高等工科院校本科电类专业的一门技术性很强的基础实践课,包含《电路原理》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》等课程的实践教学。本书注重对学生基本实验技能的训练,主要任务是:通过实验操作使学生巩固并加深对理论知识的理解,培养学生分析、处理实际问题的能力和创新意识,增强工程实践能力与实际动手能力,提高学生的综合应用素质。

全书共分六章,第一章为电子技术实验的基础知识,主要介绍实验须知,基本测量技术、测量误差与实验数据。第二、三、四章是全书的核心内容,涵盖了电路基础、模拟电子技术、数字电子技术等课程所涉及的实验项目 39 个,每一个实验都给出了实验目的、预习要求、实验原理和实验方法,便于学生预习,既有验证性实验,又有设计性实验。第五章给出了 4 个详细的课程设计实例以及 10 个设计参考题目。第六章结合仿真实例介绍 PSpice 软件的主要功能及其使用方法。附录部分编入常用电子仪器的主要性能指标、使用方法及集成电路引脚排列,便于使用时查阅。

本书第一章由杨善晓编写,第二、三、五章由杨善晓、周强编写,第四、五、六章由陈财明编写,附录由杨善晓、陈财明、陈月芬编写,绘图、排版由陈月芬负责。全书由杨善晓负责统编定稿。

孙运旺副教授提出许多宝贵意见和建议,范灵芝老师参与前期实验指导书的编写,在此向他们表示衷心的感谢!由于作者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 4 月

第一章 电子技术实验基础知识	1
1.1 实验须知	1
1.2 基本测量技术	3
1.3 测量误差与测量数据处理	11
第二章 电路基础实验	16
实验一 电路元件伏安特性的测绘	16
实验二 基尔霍夫定律的验证	20
实验三 戴维南定理和诺顿定理的验证	22
实验四 叠加原理的验证	25
实验五 RC 一阶电路的响应测试	27
实验六 三相交流电路电压、电流的测量	30
实验七 功率因数及相序的测量	33
第三章 模拟电路实验	36
实验一 常用电子仪器的使用	36
实验二 常用电子元件的检测	42
实验三 单级放大电路	49
实验四 两级放大电路	55
实验五 负反馈放大电路	58
实验六 差动放大电路	62
实验七 比例求和运算电路	67
实验八 积分与微分电路	75
实验九 射极跟随电路	79
实验十 有源滤波器	83
实验十一 RC 正弦波振荡电路	86
实验十二 电压比较器	89
实验十三 波形发生电路	92
实验十四 电压/频率转换电路	96
实验十五 互补对称功率放大器	98
实验十六 集成功率放大电路	100

实验十七 串联稳压电路	105
实验十八 集成稳压电源的设计(设计性实验)	108
实验十九 RC 波形发生电路(设计性实验)	110
第四章 数字电路实验	112
实验一 TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	112
实验二 CMOS 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	116
实验三 TTL 集电极开路门与三态输出门的应用	119
实验四 组合逻辑电路的设计与测试(设计性实验)	123
实验五 译码器及其应用	125
实验六 触发器及其应用	130
实验七 计数器及其应用	136
实验八 同步时序逻辑电路的分析与设计(设计性实验)	141
实验九 移位寄存器及其应用	144
实验十 脉冲分配器及其应用	150
实验十一 单稳态触发器与施密特触发器	153
实验十二 555 时基电路及其应用	159
实验十三 D/A、A/D 转换器	164
第五章 电子技术基础课程设计实例	170
实例一 集成直流稳压电源设计	170
实例二 函数信号发生器的设计	177
实例三 多路智力竞赛抢答器设计	183
实例四 数字电压表的设计	188
参考题目	196
题目一 三极管 β 值数显式测量电路设计	196
题目二 功率放大器的设计	196
题目三 电子音乐门铃的设计	196
题目四 晶体管电流放大系数 β 自动检测分选仪设计	197
题目五 多功能锯齿波发生器的设计	198
题目六 交通灯控制电路设计	198
题目七 可预置的定时显示报警系统	199
题目八 出租汽车里程计价表	199
题目九 电子锁及门铃电路设计	200
题目十 盲人报时钟	200
第六章 PSpice 仿真软件	202
6.1 概述	202
6.2 仿真实例分析	204

6.2.1 二极管钳位电路的仿真分析	204
6.2.2 单级放大电路的仿真分析	216
6.2.3 译码器的仿真分析	220
附录一	224
1. YB4320/20A/40/60 双踪示波器	224
2. YB1600 系列函数信号发生器	232
3. YB2100 系列交流毫伏表	236
4. WC2180 交流微伏电压表	239
5. YB1700 系列直流稳压电源	241
6. 500 万用表	245
7. UT56 数字万用表	247
8. QT2 图示仪	252
附录二 电子线路实验学习机使用说明	262
附录三 部分集成电路引脚排列	267
参考文献	277

电子技术实验基础知识

1.1 实验须知

实验室是培养学生理论联系实际,提高学生动手能力的场所,也是培养学生实事求是的科学作风、严肃的科学态度、严谨的科学思维习惯、进而增强创新意识的地方。因此必须自觉地保持实验室安静,整洁。不准喧闹、吐痰、抽烟、吃零食、扔纸屑等,保持良好的实验习惯。凡参加本课程实验的学生必须做到:

一、课前准备

为了避免盲目性,提高实验效率,实验者应对实验内容进行充分预习,做到以下三点:

1. 认真阅读实验指导书,明确本次实验要求及实验内容。
2. 实验预习内容一般包括:①本次实验的简要原理及注意事项;②设计原始数据记录表格;③认真准备实验课所要讨论的问题。
3. 根据实验内容,写出相应的预习报告。

二、课内实验

1. 自觉遵守实验室的各项规章制度,确保实验室有良好的实验环境。实验课不得无故迟到、旷课及早退。没有预习报告或无故迟到十五分钟以上者均不得参加本次实验。1/3实验未参加者或实验不合格者不得参加理论课考试。

2. 未经指导教师同意不得乱拿他组仪器、设备。

3. 实验时要严肃、认真、仔细观察实验现象、做好记录,实验数据经指导教师审阅签字有效。

4. 实验时,先开总电源开关,后开仪器电源开关。实验完成后,先关仪器电源开关,后关电源总开关。示波器、毫伏表、信号发生器上的电源线及探头线均无须拔下。

5. 实验时按指定位置就座。

三、注意事项

1. 实验时必须认真、仔细、遵守实验操作规程,认真检查接线是否正确,加电之前必须

确认电源电压符合所需的数值,极性连接无误后,方可通电以免出现由于接线错误而造成的不必要的损失。

2. 实验中若发现有不正常情况,如打火、冒烟等或其他事故时,应立即切断电源,保持现场,立即向指导教师或实验室技术人员报告。

3. 实验中若由于粗心大意或违反实验操作规程损坏仪器、设备,必须及时报告,认真检查原因,从中吸取教训。要填写仪器损坏单,经指导教师签字后,并按规定的赔偿办法处理。

4. 要养成只有在测试或测量操作时才打开电源,其他情况下及时关掉电源的好习惯。因为电路瞬间短路或带电插接集成块等都可能损坏器件,因此在改变电路时,或验算实验结果是否正确等不进行测量时候,要及时关掉电源。

5. 实验结束后要填写仪器使用登记表,整理好仪器,关掉电源,方可离去。

四、实验报告

撰写实验报告是对实验进行总结和提高的过程。通过这个过程可以加深对实验现象和内容的理解,更好地将理论和实际结合起来,这个过程也是提高写作能力的重要环节。

1. 实验报告中应写明班级、组别、姓名、学号、日期。

2. 实验报告是一份工作报告。实验报告的质量是衡量实验者的技术水平。一般实验报告应包括下面的几个部分:

(1)实验名称。

(2)实验目的和要求。

(3)实验中所使用的仪器名称、型号、编号及主要元器件。

(4)实验电路及工作原理。

(5)实验内容、方法及步骤。实验原始数据及实验过程的详细记录;整理并处理测试数据,列出表格或用坐标纸画出曲线。

(6)实验结果和分析。对测试结果进行理论分析,做出简明扼要的结论。分析产生误差的原因。

(7)实验小结。总结实验过程的完成情况,对实验方案和实验结果进行讨论;记录产生故障的情况,说明排除故障的过程和方法,对实验中碰到的问题进行分析,简述实验的收获、体会及对实验改进的建议。

3. 实验数据必须实事求是、不得弄虚作假,必须随报告上交且有指导教师签字的原始数据记录,否则作未做实验处理。

4. 实验报告应结论正确、分析合理、讨论深入、字迹工整、文句简洁、条理清楚、图表清晰。

5. 实验报告必须认真书写,杜绝抄袭,一旦发现类同,则所有这些类同报告全按零分处理。

1.2 基本测量技术

一、仪器仪表的正确选择及使用注意事项

每一台电子仪器都有一定的技术指标,只有在技术指标允许的范围内工作,测试结果才准确、有效。例如示波器 YB4320, Y 轴输入带宽 $DC \sim 20\text{MHz}$, 用它可以测量直流信号,也可测量交流电压,但被测信号的频率高于 20MHz 时,就不应使用此仪器。有时许多仪器可以测量同一个参数,但它们所得的结果是不同的,例如测直流电压,用数字万用表测量出的结果,其精度将远高于从示波器荧光屏上所得到的读数,若测量非正弦信号电压的幅度,用 YB2173 毫伏表测量,由于波形误差,将引起很大的测量误差,而用示波器测量,误差就小得多。因此正确选用测量仪器,对测量结果有决定性的影响。

1. 正确选择测量仪器的功能和量程

当仪器接入被测电路之前,必须首先正确调整仪器面板上有关的开关、旋钮,选择合适的功能和量程,以得到最精确的测量。如用 UT56 型数字万用表测量 $+18\text{V}$ 左右的直流电压,就应选 20V 档的量程(五位有效数字),如置于 200V 档则过高,读数不精确(因为只能读出四位有效数字)。如置于 2V 档不仅无法测量需要的数据,还会因严重过载而损坏仪器。若功能选择错误,误将开关放在电流档去测电源电压,则会造成仪器的严重损坏。因此,正确选择仪器的功能和量程十分重要。

2. 正确选择测量方法

不同的测量方法,往往得到不同的测量精度。例如,测量低频放大器的放大倍数时,必须测出放大器的输入电压和输出电压。若输入为 1kHz 的信号电压,输出电压可用 YB4320 双踪示波器测量,也可用 YB2173 毫伏表测量。但两种方法的测量结果却有较大差距,其原因是示波器的读数误差太大,因此一般应采用 YB2173 毫伏表进行测量。

3. 严格遵守仪器使用的操作程序

对电子电路进行测试时,如违反仪器使用的操作顺序,不仅得不到正确的测量结果,还可能使被测电路的元件和测量仪器损坏。例如:使用直流稳压电源时,必须先调整好所需电压值,然后再接入被测电路;如果改变被测电路形式或结构,必须先关闭直流稳压电源;当发生异常现象或故障时,也必须首先关闭直流稳压电源,否则就有可能发生元件和仪器损坏的事故。

4. 使用仪器应注意“共地”问题

在电子技术实验中,应特别注意各电子仪器的“共地”问题,即各台仪器以及被测网络的地端都应按照信号输入、输出的顺序可靠地连在一起。一般的电工测量,测量交流电压时,电压表的两端是“对称”的,可以任意互换测量电极而不会影响读数。但在电子技术实验中,由于工作频率较高,线路阻抗较大和功率较低,为避免外界干扰,大多数仪器采用单端输入、单端输出的形式,即仪器的两个测量端点是不对称的,总有一个端点与仪器外壳相连,并与电缆引线的外屏蔽线连在一起,这个端点通常用符号“ $\perp$ ”来表示。所有仪器的“ $\perp$ ”点都必须连在一起,即“共地”。否则可能引入外界干扰,导致测量误差增大,特别是由多台仪器组

成的测试系统,当所有仪器的外壳都必须连在一起,若没有“共地”,轻则信号短路,重则会烧坏被测电路的元器件,由此可见实验中仪器共地是十分重要的。

5. 正确使用仪器的开关和旋钮

装在电子仪器面板上的旋钮、开关等用于控制电子仪器的工作状态,正确使用开关、旋钮是保证仪器的正常工作和测试结果准确性的关键。因此使用每一台仪器都必须了解其开关、旋钮的作用及正确使用方法,要注意旋钮方向和位置。旋动旋钮时不要用力过猛,以免损坏。如发现开关、旋钮松动,必须修理后才能继续使用。

二、电子技术实验中的常用测量方法

1. 电子测量的基本概念

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。电子测量是指以电子技术理论为依据,以电子测量仪器为手段,以电量或非电量(可能转化为电量)为对象的一种测量技术。

一个物理量的测量,可以通过不同的方法实现。测量方法的选择正确与否,直接关系到测量结果的可信赖程度,也关系到测量工作的经济性和可行性,不当和错误的测量方法,除了得不到正确的测量结果外,甚至会损坏测量仪器和被测量设备。有了先进精密的测量仪器设备,并不等于就一定能获得准确的测量结果。必须根据不同的测量对象、测量要求和测量条件,选择正确的测量方法。合适的测量仪器,构成实验的测量系统,进行细心的操作,才能得到理想的测量结果。

测量方法分为以下几种:

(1) 按测量方法分类

① 直接测量法

直接测量是一种对被测对象进行测量并获得其数据的方法。如用电压表测量放大电路的直流工作电压,欧姆表测量电阻等。

② 间接测量法

间接测量是指利用测量的量与被测量之间的函数关系(公式、曲线、表格等),间接得到被测量量值的测量方法。如测量电阻的功率 $P=UI=U^2/R$,可以通过测量电阻两端的电压和该电阻值,计算其电阻的功率。又如测量放大电路的电压放大倍数 $A_u=U_o/U_i$,分别测量输出电压和输入电压,计算其电压放大倍数。

③ 组合测量法

组合测量法是一种将直接测量法和间接测量法联合使用的测量方法。

(2) 按被测量性质分类

① 时域测量法

时域测量也称瞬态测量,主要测量被测量随时间变化的规律,被测量是时间的函数。如电压信号,可以用示波器观察其波形、测量瞬态量、测量其幅值;可用毫伏表测量其稳态量、测量其有效值。

② 频域测量法

频域测量也称作稳态测量,主要测量被测量的幅频特性和相频特性,被测量是频率的函数。如用频率特性测试仪测量放大电路的幅频特性、相频特性。

③ 数据域测量法

数据域测量也称作逻辑量测量,是指用逻辑分析仪等设备测量数字量或电路的逻辑状态。

④ 随机测量法

随机测量又称作统计测量,主要对各类噪声信号进行动态测量和统计分析。

2. 电压测量

电压是一个基本物理量,是电路中表征电信号能量的三个基本参数(电压、电流、功率)之一。许多参数,如增益、频率特性、电流、功率等都要通过测量电路的电压而获得。在电子电路中,电路的工作状态,如放大、饱和、截止、谐振以及电路的动态范围等,都需要通过测量电路的电压后进行判断。最重要的是,电压测量直接、方便,将电压表并接在被测电路上,只要电压表输入阻抗足够大,就可以在对原电路工作状态没有影响的前提下获得满意的测量结果。而电流测量是将电流表串接在电路中进行测量,这样测量既不方便,又不准确。所以电压测量是电子测量的基础,在电子电路的测量和调试中,电压测量是不可缺少的基本测量。

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器(如仪器的测量对象、功能、量程、阻抗、频率、准确等级)。

交、直流电压的测量方法有直接测量法和间接测量法。

直接测量法

用万用表可直接测量直流电压。测量时尽可能使电压表的量程与被测的电压接近,以提高数据的有效位数。用万用表也可直接测量 50Hz 交流电压。

用毫伏表可直接测量正弦波信号电压的有效值,测量时应尽量选择适合的量程使被测电压的指示值超过满刻度的 2/3,以便减小测量误差。

比较测量法

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,并计算出电压值。

(1) 示波器测直流电压

将示波器“AC-GND-DC”开关置“GND”,并将时基线与荧光屏幕的某水平刻度重合作为参考零电压基准,然后将开关置于“DC”。这时,时基线上移或下移,根据偏离值即可算出直流电压值,即:

$$\text{直流电压值} = \text{偏离值}(\text{div}) \times V/\text{div}$$

式中, V/div 为示波器面板上通道灵敏度值。时基线上移测出电压值为正,下移为负电压。

(2) 示波器测交流电压

将示波器幅度微调旋钮置于校准位置(或顺时针旋到底),荧光屏上出现如图 1-2-1 所示波形,若“ V/div ”(伏/格)调在 2V/格,则被测量电压值为:

$$U_P = 2V/\text{div} \times 2.0\text{div} = 4.0V$$

$$U_{P-P} = 2V/\text{div} \times 4.0\text{div} = 8.0V$$

信号有效值为 $U = \frac{U_P}{\sqrt{2}} = \frac{U_{P-P}}{2\sqrt{2}}$

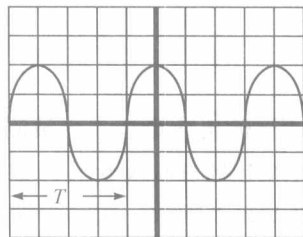


图 1-2-1 交流电压测试图

3. 阻抗测量

阻抗是描述电路系统的传输及变换的一个重要参数。测量条件不一样,阻抗测量值也不一样。

下面主要介绍模拟线性有源二端口网络(如放大电路)在低频条件下输入和输出电阻的测量方法。

输入电阻的测量

有源二端口网络的输入电阻 r_i 定义为输入电压 U_i 与输入电流 I_i 之比,即 $r_i = U_i / I_i$ 。常用的测量方法有下面几种。

(1) 替代法

测量电路如图 1-2-2 所示。开关置于“1”位置时,用毫伏表测量电压 U_i ,将 S 置于“2”,仅调节 R_p ,使 U_i 保持不变,则 R_p 的阻值即为输入阻抗 r_i 的值。

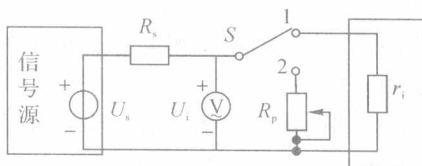


图 1-2-2 替代法求输入电阻的电路图

(2) 换算法

① 输入换算法。当输入电阻为低阻时,换算法测输入阻抗的测量电路如图 1-2-3 所示。用毫伏表分别测出 R 两端对地的电位 U_s 和 U_i ,则

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

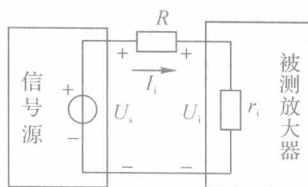


图 1-2-3 输入换算法求输入电阻

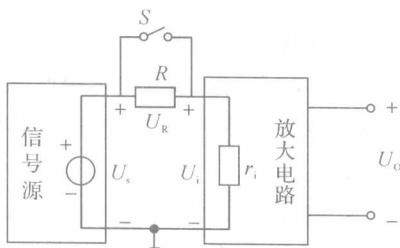


图 1-2-4 输出换算法求输入电阻

② 输出换算法。当被测电路输入阻抗较高时(场效应管放大电路),由于毫伏表的内阻与放大电路的输入电阻 r_i 数量级相当,所以不能采用输入换算法。输出换算法测量 r_i 电路如图 1-2-4 所示。在输入端串接一个已知的与 r_i 数量级相当的 R ,由于 R 的接入,在放大器输出端会引起输出电压的变化,用毫伏表分别测出开关 S 合上与断开的输出电压,则可计算出其输出电阻 r_o 。

$$\text{开关 } S \text{ 闭合时, } U_i = U_s, U_{o1} = A_u U_s, A_u = \frac{U_{o1}}{U_s}$$

开关 S 断开时, $U_{o2} = A_u U_i = A_u \frac{r_i}{R+r_i} U_s = \frac{r_i}{R+r_i} U_{o1}$

所以 $r_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} R$

测量 r_i 时应注意以下三点:

① 由于 R 两端未接地, 而测量是测量对地的交流电压, 所以测量 R 两端的电压 U_R 时, 必须分别测量 R 两端电压 U_s 和 U_i , $U_R = U_s - U_i$ 。 R 的数值选择不宜过大, 否则容易引起干扰, 但也不宜过小, 否则误差大, 最好选择 R 与 r_i 接近。

② 测量之前, 毫伏表必须校零, U_s 与 U_i 应用同一量程测量。

③ 输出端应接负载 R_L , 并用示波器监视输出波形, 应在波形不失真的情况下进行测量。

输出电阻的测量

测量输出电阻 r_o 的电路如图 1-2-5(换算法)、图 1-2-6(半电压法)所示, 在放大器输入端加入一个不变的信号电压, 分别测量负载电阻 R_L 断开时输出电压 U_o 和 R_L 接上时的输出电压 U_L , 则

① 换算法

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

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

② 半电压法

调节 R_L 使 $U_L = \frac{U_o}{2}$, 则 $r_o = R_L$

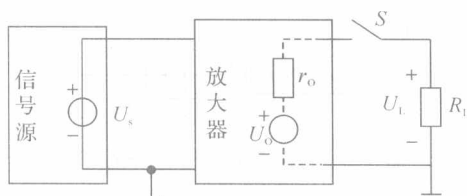


图 1-2-5 换算法测试输出电阻

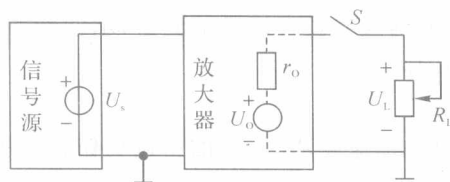


图 1-2-6 半电压法测试输出电阻

4. 幅频特性的测量

幅频特性的测量方法可采用逐点法和扫频法两种。

(1) 逐点法

逐点法测量电路的幅频特性的原理框图如图 1-2-7 所示。在保持输入信号电压值不变的条件下,仅改变输入信号的频率,并用示波器检测放大器的输出电压,在输出波形不失真的条件下用低频毫伏表测量各频率信号的输出电压值,将所测各频率信号的输出电压值(或计算其电压增益)对应各频率连成曲线,即为电路的幅频特性。曲线上相对中频段(中频区输出电压 U_{om})下降 3dB($0.707U_{om}$)所对应的频率分别为上限频率 f_H 和下限频率 f_L ,频带宽度为 $f_{BW} = f_H - f_L$ 。

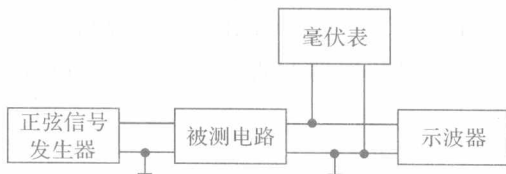


图 1-2-7 用逐点法测试幅频特性的框图

(2) 扫频法

扫频法测试电路的幅频特性的原理框图如图 1-2-8 所示。频率特性测试仪(简称扫频仪)为测试电路输入端输入一个幅度恒定、频率连续变化的扫频信号,并将网络输出端口电压检波后送至示波器 Y 轴,将电路的幅频特性显示在荧光屏上。

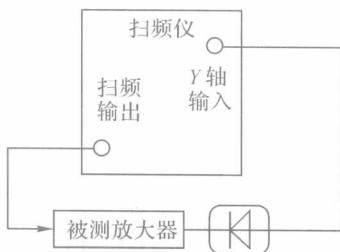


图 1-2-8 扫频法测试频率特性

5. 时间、频率和相位的测量

(1) 时间的测量

时间是描述周期性现象的重要参数,时间包括时刻和时段(时间间隔)双重含义。时间的测试可用具有时间测试功能的数字频率计或示波器,示波器所进行的时间测量是时间间隔。下面介绍示波器测时间间隔。

① 时间间隔(周期)的测量

将示波器水平扫速开关(扫描速度)“ t/div ”的微调旋钮置于校准位置(顺时针旋到底)。Y 轴输入示波器自带的 1kHz、0.5V 的方波标准信号,检查示波器扫描速度“ t/div ”开关标称值是否正确。

将被测信号从示波器 Y 轴输入,调整 Y 轴灵敏度“ V/div ”及水平扫速开关“ t/div ”使波形稳定,使波形幅度和显示的周期数易于测试和读数。在稳定的波形上选取可以代表周期的两点,如图 1-2-1 所示,读取 X 轴方向两点之间的格数,则周期(时间间隔)为

$$T = N \text{div} \times t / \text{div}$$

式中, $N \text{div}$ 为 N 格。若 t / div 调至 $2 \text{ms} / \text{div}$, 则: $T = 4.0 \text{div} \times 2 \text{ms} / \text{div} = 8.0 \text{ms}$

由于示波器分辨率较低, 测量误差较大, 为提高测量准确度, 可采用“多周期法”, 即读出多个周期的时间间隔, 然后再除以周期数即可。

② 脉冲前后沿的时间测量

示波器 Y 轴放大器内装有延迟网络, 采用内触发方式能方便地测出脉冲波形的前沿 (t_r) 和后沿 (t_f) 时间。

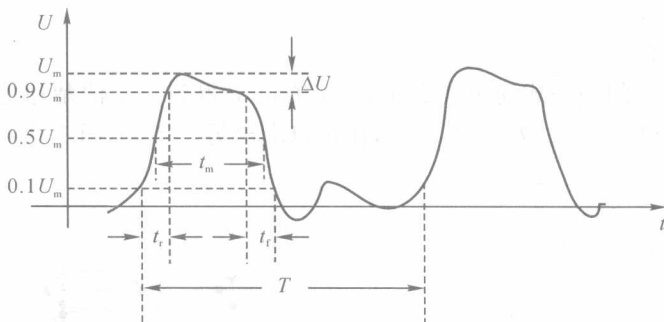


图 1-2-9 脉冲波形

如图 1-2-9 所示, 以最大幅度 (U_m) 的 10% 至 90% 的点为测量点 ($0.1U_m \sim 0.9U_m$), 由相应 X 轴方向的距离和此时扫速开关“ t / div ”的档级 (微调置于“校准位置”) 即可迅速地计算出脉冲波形的前沿时间 (t_r) 和后沿时间 (t_f)。

③ 脉冲宽度的测量

如图 1-2-9 所示, 脉冲前沿和后沿 $0.5U_m$ 处所对应的 X 轴方向的距离 D / div , 即可计算出被测脉冲波形的宽度 t_m 。

$$t_m = t / \text{div} \times D (\text{div})$$

(2) 频率的测量

频率是指电信号在 1 秒内重复变化的次数。可选用示波器和数字频率计测信号的频率, 分别称为示波法和计数法。

① 示波法

用示波器测频率与用示波器测周期在原理上是相同的, 因为两者是倒数关系。

$$f = \frac{1}{T}$$

② 计数法

采用数字频率计测量频率, 既方便又准确, 是目前广泛采用的一种方法。开始测量时, 先将计数器置零 (手动或自动), 设在 t_m 时间内, 通过主门的脉冲个数为 N , 则被测信号频率为:

$$f = N / t_m$$

③ 李沙育图形法

几乎任何一种示波器都可以使用李沙育图形测量频率。断开示波器的内部扫描, 即按

下 **X-Y** 按钮,并在垂直系统(Y 通道)和水平系统(X 通道)分别加上简谐信号,则荧光屏上显示出两个互相垂直的振荡波形的合成图形。这种图形取决于两个信号的频率比和初相,这就是李沙育图形。屏幕上光点轨迹的运动规律反映了偏转系统中所加信号的变化规律,即简谐信号在一个周期内两次经过同一电平。如果信号加到垂直系统,则光点轨迹与水平线两次相遇,有两个交点。同样,信号加到水平系统,光点轨迹向左右各移动一次,其轨迹和垂直线两次相遇,也有两个交点。因此,便可以由荧光屏上的李沙育图形分别与水平线和垂直线交点的数目来决定两个简谐信号的频率比,即

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_x}{N_y}$$

当两个简谐信号的频率成简单整数比时,荧光屏上得到一个清楚稳定的图形。很容易求得 N_x, N_y , 所以知道了 f_x, f_y 中的一个,便可以求出另一个,如图 1-2-10 所示。

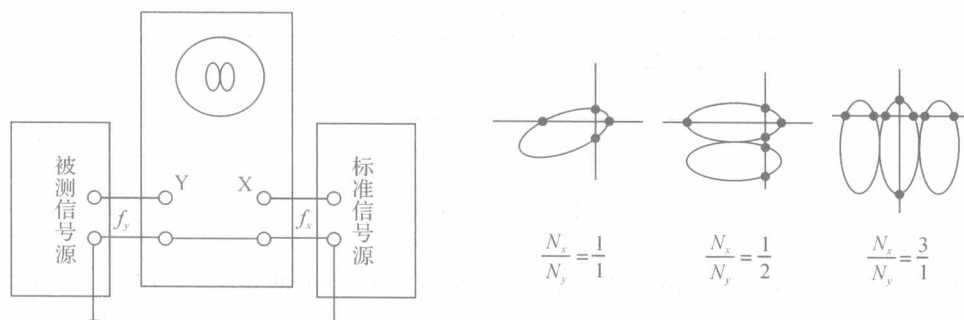


图 1-2-10

用李沙育图形法测量频率的绝对误差主要由标准频率的误差决定,即

$$\Delta f_y = \frac{N_x}{N_y} \Delta f_x$$

如果图形不稳定,则将引入附加误差。注意,使用这种测量方法的时候,随着两频率比值增加,李沙育图形变密,确定图形与垂直水平线交点数将变得很困难。应尽可能用 1:1 的椭圆图形进行测量。如果做不到这一点,应使用最少的环数。利用这种测量频率的方法,要求被测频率和标准频率都十分稳定。一般适用于音频至几兆赫兹范围的频率测量。

(3) 相位的测量

相位通常是指两个同频信号之间的相位差。测试相位的方法有多种,其中用数字相位计测量既直观又准确,我们采用双踪示波器测量两个同频率信号的相位称为双踪法。

利用双踪示波器的双踪显示特点,在屏幕上直接显示两个同频率不同相信号波形,并加以比较,即可求得相位差。测试电路原理框图如图 1-2-11 所示。根据一个周期在坐标刻度水平方向所占格数 N 和两个波形在 X 轴方向的距离 $D(\text{div})$,由下式可求出两个同频信号的相位差 θ

$$\theta = D(\text{div}) \times 360 / N(\text{div})$$