



21世纪高等学校新理念教材建设工程

电子技术基础实验

主 编 鲁宝春 王景利 刘 毅 关维国
副主编 孟丽囡 李光林 吕 妮 吴 静
王亚君 曹洪奎 马红玉



東北大學出版社
Northeastern University Press



21 世纪高等学校新理念教材建设工程

电子技术基础实验

主 编 鲁宝春 王景利 刘 毅 关维国

副主编 孟丽囡 李光林 吕 娓 吴 静

王亚君 曹洪奎 马红玉

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 鲁宝春 王景利 刘 毅 关维国 2011

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础实验 / 鲁宝春等主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2011. 8
ISBN 978-7-5517-0005-4

I. ①电… II. ①鲁… III. ①电子技术—实验 IV. ①TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 176556 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress. com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市奇兴彩色广告印刷有限公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 16

字 数: 396 千字

出版时间: 2011 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2011 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 王兆元 潘佳宁

封面设计: 刘江旸

责任校对: 叶 子

责任出版: 唐敏智

ISBN 978-7-5517-0005-4

定 价: 20.00 元

前 言

本书由辽宁工业大学出版基金资助出版。

电子技术基础是机电类各专业的一门重要技术基础课。伴随着电子技术日新月异的发展，此课程涉及面越来越广、实践性越来越强。新的理论、新的技术和新的器件引入，使电子技术基础课课程不断更新，实践性教学环节不断加强。为了适应这种新形势，我们根据多年的教学实践经验，编写了电子技术基础实验教材，以满足广大读者学习和复习的需要。

本书包含了基本要求规定的所有实验。此外，本书的一个特色是在保证基本实验的基础上，模拟、数字部分都编有若干个设计性、综合性实验。① 通用电子仪器的使用。② 基本的测试方法和必要的理论验证。③ 元、器件的使用知识。主要是二极管和三极管的参数、集成运放的参数、TTL 参数的测试以及选择常用电阻器、电容器的基本知识。④ 综合性和设计性实验。⑤ 电子电路的仿真。附录 A、B 配合模拟、数字部分实验，简单介绍了常用的仪器和器件。

本课程的学习目的是掌握电子电路的基本测试技术，正确处理实验数据，进行误差分析，并写出符合要求的实验报告。初步学会分析、寻找和排除实验电路中故障的方法，学会 EDA 工具软件的使用，对电子电路进行仿真、分析和辅助设计，并能够实现小系统的组装和调试。本书还增加了电子电路检测基本知识、电子电路的综合与设计和电子电路的计算机仿真等内容。

在实验前，要求学生做好实验预习报告，包括回答预习要求中的思考题、是非题或设计题，以便教师检查学生预习的情况。实验完毕后，应做出完整的实验报告，除预习报告外，还应有实验电路、

实验数据及其处理、曲线或波形，一般还应回答实验中提出的一些思考问题，以加深对实验结果的理解。

本书的编写人员为：鲁宝春负责前言和全书的通稿，王景利编写第5章并对全书进行校对，刘毅、吴静编写第4章，关维国编写第1章，孟丽囡、李光林编写第2章，吕妮、王亚君编写第3章，曹洪奎、马红玉编写附录A、附录B。

本书在编写过程中，辽宁工业大学信息科学与工程学院研究生等都付出了辛勤劳动，在此表示衷心感谢。

由于时间仓促，加之电子技术基础课程的系统性和复杂性，书中可能存在错误之处，我们诚恳地欢迎广大读者批评指正，并将意见反馈给我们，在此谨向热情的读者致以诚挚的谢意。

编 者

2010年10月

目 录

第 1 章 电子电路检测的基本知识	1
1.1 电子电路的基本测试技术	1
1.2 用万用电表对常用电子元件检测	8
1.3 测量误差及数据处理	11
1.4 实验故障查找和排除的基本条件	18
第 2 章 模拟电子技术基础实验	24
2.1 基本仪器仪表的使用方法	24
2.2 单级交流放大电路	28
2.3 射极输出器的测试	35
2.4 场效应管放大电路	39
2.5 低频功率放大电路——OTL 功率放大器	42
2.6 差动放大电路	46
2.7 集成运算放大器的基本应用(I)——模拟运算电路	49
2.8 集成运算放大器的基本应用(II)——有源滤波器	54
2.9 集成运算放大器的基本应用(III)——电压比较器	59
2.10 集成运算放大器的基本应用(IV)——波形发生器	62
2.11 直流稳压电源(I)——串联型晶体管稳压电源	66
2.12 直流稳压电源(II)——集成稳压器	71
第 3 章 数字电子技术基础实验	76
3.1 TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	76
3.2 CMOS 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	81
3.3 组合逻辑电路的设计与测试	83
3.4 译码器及其应用	85
3.5 数据选择器及其应用	90
3.6 触发器及其应用	95
3.7 计数器及其应用	101
3.8 移位寄存器及其应用	105
3.9 555 定时器实验	111
3.10 D/A 和 A/D 转换器	116
3.11 脉冲分配器及其应用	122

3.12 使用门电路产生脉冲信号——自激多谐振荡器·····	125
3.13 单稳态触发器与施密特触发器——脉冲延时与波形整形电路·····	128
第4章 电子技术基础综合设计性实验 ·····	135
4.1 负反馈放大电路 ·····	135
4.2 多种波形信号发生器设计实验 ·····	138
4.3 温度监测及控制电路 ·····	144
4.4 万用电表的设计与调试 ·····	148
4.5 电子秒表 ·····	152
4.6 数字频率计 ·····	156
4.7 智力竞赛抢答器的设计与制作 ·····	161
4.8 直流数字电压表 ·····	163
4.9 拔河游戏机 ·····	169
第5章 电路仿真技术 ·····	174
5.1 引言 ·····	174
5.2 建立电路 ·····	177
5.3 编辑元件 ·····	184
5.4 电路增加仪表 ·····	186
5.5 仿真电路 ·····	189
5.6 分析电路 ·····	190
附录A ·····	193
A1 数字存储示波器 ·····	193
A2 函数信号发生器 ·····	196
A3 直流稳压电源 ·····	198
A4 交流毫伏表 ·····	204
A5 数字万用表 ·····	207
A6 数字电路实验装置 ·····	212
A7 模拟电路实验装置 ·····	217
附录B ·····	225
B1 电阻器的标称值及精度色环标志法 ·····	225
B2 电容器的识别与型号命名法 ·····	227
B3 常用半导体器件型号命名法 ·····	231
B4 常用集成电路简介 ·····	232
B5 常用的数字集成电路简介 ·····	241

第 1 章 电子电路检测的基本知识

1.1 电子电路的基本测试技术

1.1.1 电压的测量

电压的测量方法主要有电压表测量法和示波器测量法两种。

(1) 电压表测量法

① 直读测量法。将电压表并于被测电路两端，直接由电压表的读数决定测量结果(电压值)的测量方法称为电压表的直读测量法。这种方法简便直观，是电压测量最基本的方法。

用电压表测量法进行测量时，需注意选择合适的电压表。通常要根据被测电压的特点(如频率的高低、幅度的大小等)和被测电路的状态(如内阻的数值等)来考虑。一般以电压表的使用频率范围、测量电压范围和输入阻抗的高低，作为选择电压表的依据。对电压表的基本要求如下。

- 输入阻抗高。在测量电压时，电压表并联在被测电路两端，故对被测电路有影响。如被测电路的阻抗与测量用电压表的输入阻抗可以相比时，就会造成较大的测量误差。为了减小测量仪表对被测电路的影响，要求电压表的输入阻抗尽可能高些。MF20 万用表的输入阻抗比较低：DC $\sim 20\text{k}\Omega/\text{V}$ ，AC $\sim 333\text{k}\Omega/\text{V}$ 。数字万用表的输入阻抗高，可达 $10\text{M}\Omega$ 或更高。

- 测量交流电压时，要有一定的使用频率范围，这个频率范围应与所测电压的频率相适应。一般交流电表，如万用表的交流档只适宜于测量 $10\text{Hz} \sim 10\text{kHz}$ 的交流电压，毫伏表能测量 $1\text{Hz} \sim 2\text{MHz}$ 的交流电压。

- 有较高的精度。指针式仪表的精度按仪表满度相对率误差分成 0.05、0.1、0.2、0.5、1.5、2.5、5.0 等几个等级。如 2.5 级精度的满度相对误差为 $\pm 2.5\%$ 。在电压测量中，直流电压的测量精度一般比交流电压的测量精度高。通常在较高精度的电压测量中，采用数字式电压表。一般直流数字式电压表的测量精度在 $10^{-4} \sim 10^{-8}$ 数量级，交流数字式电压表的测量精度在 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 数量级。

② 补偿法。用这种方法测量电压时，可以消除电压表内阻对测量结果的影响。测量线路如图 1.1 所示。

图 1.1 中 R 两端的电压是待测的。电压表 V 的内阻不够高时，会给电压的测量带来误差。如按图 1.1 接入内阻很低的稳压电源，尽管电压表的内阻不够高，但用它来测量稳压电源的输出电压 U_w 是不会有问题的。

为了确定 R 两端的电压，先调 U_w 使之与 U_R 接近，然后在 ab 间接入灵敏度高的电压表 V' 。调 U_w 使 V' 的示数为零，这时 $U_R = U_w$ ，电压表 V 的读数，就是 U_R 的值。

由以上分析可见,当电压表 V' 的示数为零时,测量电路不从被测电路中吸取电流,因此对被测电路无影响。

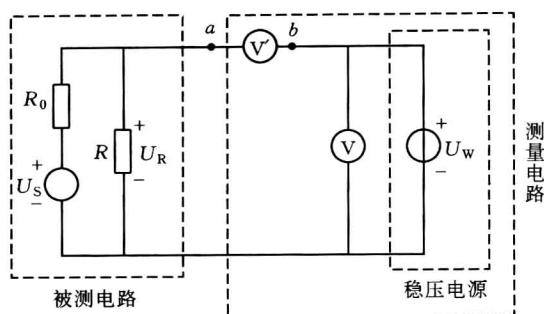


图 1.1 补偿法测量线路

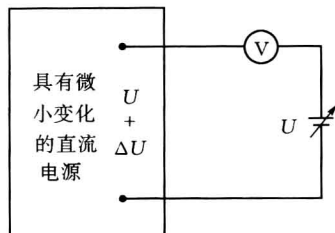


图 1.2 微差法测量线路

③ 微差法。用这种方法可以测出叠加在大电压上的微小变化电压。例如某稳压电源的输出电压为 U , 由于负载变化或电网电压波动, 其输出电压变为 $U + \Delta U$, 通常 ΔU 是很小的。若直接用电压表接于稳压电源输出端进行测量, 由于电压表的量程大于 U , 而变化量 ΔU 只能使电压表指针产生极小的偏转, 可能难以觉察。

采用微差法容易测量 ΔU , 其测量线路与图 1.1 类似, 如图 1.2 所示。若图中被测电路的输出电压原来为 U , 现外接另一辅助稳压电源, 将其输出电压也调为 U , 则两个电压互相抵消, 使电压表 V 的读数为零。若被测电路的电压由于某种原因发生变化, 变为 $U + \Delta U$, 那么在测量回路中, 作用在电压表 V 上的电压就是 ΔU 。用这种方法测量电压的微小变化时, 电压表的量程不必太大, 与电压变化量 ΔU 相一致即可。这种测量方法不仅易于读出变化量, 而且测量误差也大为减小。

在测量过程中, 被测电路和辅助稳压电源中任何一方的输出电压都应可靠地作用在电路上, 否则, 失去任何一方的电压, 都将使加到电压表 V 上的电压远远超过电压表的量程, 从而损坏电压表。

(2) 示波器测量法

用示波器测量电压最主要的特点是能够正确地测定波形的峰值及波形各部分的大小, 因此在需要测量某些非正弦波形的峰值或某部分波形的大小时, 用示波器进行测量便成为必需的方法了。

双踪示波器的 Y 轴灵敏度已标出 mV/cm 或 V/cm , 使用前, 要用校准信号和各挡灵敏度。然后将被测信号加于示波器 Y 输入端, 从荧光屏上直接读出被测电压波形的高度 (cm), 则

$$\text{被测电压幅值} = \text{灵敏度} (V/cm \text{ 或 } mV/cm) \times \text{高度} (cm)$$

该测量方法会由于 Y 轴放大器增益的不稳定性而产生测量误差。

数字示波器能直接给出电压的测量值。

1.1.2 电流的测量

测量直流电流通常采用磁电系电流表。由于测量时电流表是串接在被测电路中的, 为

了减小对被测电路工作状态的影响,要求电流表的内阻越小越好,否则将产生较大的测量误差。

测量交流电流通常采用电磁系电流表。由于交流电流的分流与各支路的阻抗有关,而且阻抗分流很难做得精确,所以通常使用电流互感器来扩大交流电流表的量程。钳形电流表就是用互感器扩大电流表量程的实例,它的使用非常方便,但测量精确度不高。

实际操作中要特别注意,电流表(钳形电流表除外)是串联在电路中的,绝不能与被测电路并联,否则由于其内阻很小,将有很大的电流流经电流表而使其烧毁。

用示波器也可以测量电流的波形。这时在被测电流支路中串入一个小电阻,被测电流在该电阻上产生电压,用示波器测量这个电压(如图1.3所示),便得到电流的波形。图1.3中串联电阻 R 的选择应考虑下列几方面: R 的值应足够小,当它串入被测电路中时,应对被测电路无影响; R 的值也不能过小,否则因被测电流 i 在其上产生的电压太小会使示波器的光点偏转太小,影响用示波器测量电流的准确度。

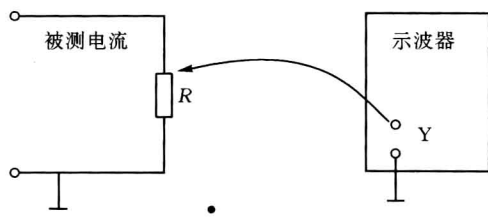


图1.3 示波器测电流方法

1.1.3 时间、频率和相位的测量

(1) 时间测量

时间测量指的是对信号的时间参数进行测量,如周期性信号的周期、脉冲信号的宽度、时间间隔、上升时间、下降时间等。下面介绍用示波器测量时间的方法。

示波器的时基电压是线性变化的锯齿波,这时示波器屏幕上的 X 轴代表时间轴。许多示波器时基系统都是经定量校准的,可以直接用来测量时间。具体方法是将被示波器的扫描开关 t/div 的微调旋钮置于“校准”位置时,屏幕上波形的时间可用下式计算:

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

式中, D ——波形被测两点在屏幕上的距离;

T ——相应的时间间隔。

(2) 频率测量

① 通过测量周期来确定频率。周期可通过前面所讲的测量时间的办法来确定,而频率为周期的倒数。

在用示波器调试电路时常用此办法测量频率。该方法测出的频率不太准确,与用示波器测量时间时所达到的准确度相同。

② 李沙育图形测量频率。将示波器内部的扫描电路断开不用,除了被测频率的正弦信号之外,还需要一个频率可调、可知的正弦信号源。这个信号源所产生正弦信号的频率应该比较准确,它决定着所测信号频率的准确度。将被测频率的正弦信号和来自标准信号源的正弦信号分别加到示波器的 Y 轴输入和 X 轴输入。当两个电压的频率、相位和振幅各不相同,在示波器屏幕上所显示的图形是不规律、不稳定的。当被测频率 f_Y 与标准信号的频率 f_X 之间成整数倍关系时,出现在屏幕上的图形是静止的并具有一定的形状。图1.4给出 f_Y 与 f_X 不同比值和不同相位时出现在屏幕上的图形。这些图形称为李沙育图

形。

φ	0°	45°	90°	135°	180°
$\frac{f_Y}{f_X} = 1$					
$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{2}{1}$					
$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{3}{1}$					
$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{3}{2}$					

图 1.4 李沙育图形

用李沙育图形测频率的步骤可归纳如下。

将被测信号和标准信号分别加到示波器的 Y 轴和 X 轴输入端。将示波器的扫描电压断开。

取标准信号的频率与被测信号的频率处于相同的数量级，这时由于两者的频率不完全成比例，屏幕上的图形是不稳定的，可能会不停地转动。频率差得远时转得快，频率接近倍数关系时转得慢。

调整标准信号的频率可使屏幕上的图形完全静止下来，这时可读取标准信号的频率。

从屏幕上的图形确定被测信号频率 f_Y 与标准信号频率 f_X 之比值。具体做法为：在屏幕的图形上作一条水平线，使此线与图形有最多的交点；在图形上再作一条垂直线，使它与图形也有最多的交点。那么，这两组交点数之比，即为 f_Y 和 f_X 之比。

$$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{\text{水平线与图形之最多交点个数}}{\text{垂直线与图形之最多交点个数}}$$

在进行具体测量时，建议采用频率比为 1:1 的图形，因为它们比较容易调节而且便于读数。

用示波器测量频率精确度低、测量速度慢。有条件的可采用数字频率计测量频率，其优点是可以直接读数、速度快，精度可高达 10^{-10} 数量级。数字示波器能直接给出周期和频率的测量值。

(3) 相位测量

① 用双踪示波器测量相位差。测量的方法是把两个要比较相位的信号分别加到双踪示波器的两个 Y 轴通道。用超前的那个电压作为触发信号或采用外触发。测量两个同频率的正弦波的相位差时，应把内触发 Y_B 开关拉出，或采用外触发。扫速开关 t/div 和微调旋钮的位置，以能充分利用屏幕的有效面积和能准确读数为准。利用双踪示波器按前述方法测出两路信号的周期 T 和其时间间隔 Δt ，利用下式即可求出其相位差，如图 1.5 所示。

$$\varphi = \Delta t \cdot 2\pi/T$$

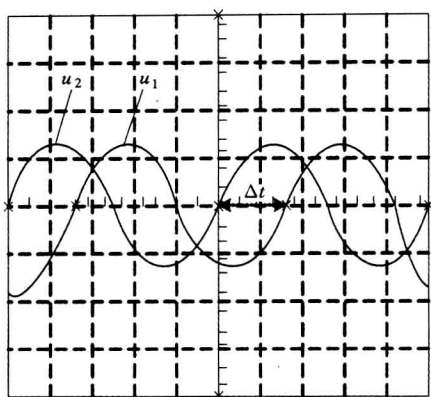


图 1.5 用双踪示波器测相位差

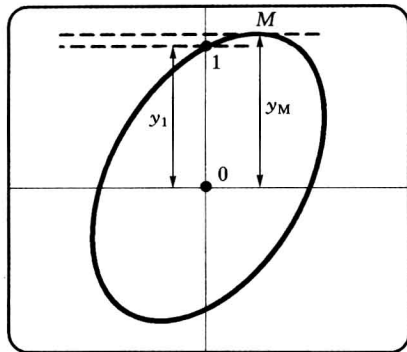


图 1.6 用李沙育图形计算相位差

② 用李沙育图形测量相位差。从图 1.4 第一行的李沙育图形可以看到，当加到示波器 Y 轴和 X 轴两个信号的频率相等，但相位不同时，所得到的李沙育图形形状不同，可以是直线、正椭圆或斜椭圆等。反过来，从出现在示波器屏幕上的图形，也能确定出加在示波器 X 、 Y 轴输入的两个电压之间的相位差。

图 1.6 显示出了李沙育图形计算相位差原理。电压 $u_1 = U_{m1} \sin(\omega t + \varphi)$ 加在示波器的 Y 轴输入， $u_2 = U_{m2} \sin \omega t$ 加在示波器的 X 轴输入，二者频率相同 ($f_Y = f_X$)，现在对其相位差进行测量，如果在测量中，调节示波器的“水平位移”和“垂直位移”旋钮使李沙育图形的中心位于屏幕的中心，则从图 1.6 中可以看出：当 $t = 0$ 时， $u_1|_{t=0} = U_{m1} \sin \varphi = y_1$ （李沙育图形 1 点到中心的垂直距离）

所以

$$u_2|_{t=0} = 0$$

$$\sin \varphi = \frac{u_1|_{t=0}}{U_{m1}} = \frac{y_1}{y_M}$$

y_M 为李沙育图形最高点 2 到横轴的垂直距离。从李沙育图形上得出距离 y_1 和 y_M ，代入上式即能确定相位差 φ 。

用李沙育图形测量相位差的步骤如下。

- 断掉示波器的扫描电压。
 - 将被测信号 u_1 和 u_2 分别回到示波器的 Y 和 X 输入端，在示波器的屏幕上将显示稳定的图形（椭圆或直线）。
 - 调节示波器的衰减或增益旋钮，使屏幕所显示的图形大小适当。调节位移旋钮，使图形处在屏幕中央。
 - 确定 u_1 和 u_2 的相位差。
- 图形为直线时，则相位差为 0° 或 180° 。
 图形为正椭圆时，则相位差为 90° 或 270° 。
 图形为斜椭圆时，则相位差为

$$\varphi = \arcsin \frac{y_1}{y_M}$$

此外还可以用数字式相位计来测量相位，它的测量原理与利用示波器测相位的原理相

同。首先采用比较法测出两个信号零值之间的时间间隔, 然后根据被测信号的周期转换成相位差, 并以数字形式显示出来。BX-13 数字相位计可测频率范围为 $20 \sim 200\text{kHz}$, 相位差为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。利用 HP 示波器的光标测量功能, 可以很方便地测得两信号的相位差。

1.1.4 电阻、电感和电容的测量

(1) 电阻的测量

电阻的数值一般分为低值(小于 1Ω), 中值($1 \sim 10^6\Omega$)和高值(大于 $10^6\Omega$)。为了测量准确, 对不同数值的电阻所用的测量方法也不同, 这里主要介绍中值电阻的测量方法。

① 欧姆表法。欧姆表法是电阻的直接测量方法, 主要是用万用表的欧姆挡来测定电阻。用这种方法测电阻很方便, 但不够准确。测量时被测电阻不能带电, 倍率的选择要使指针偏转到容易读数的中段, 每次测量前要调好零点。

用数字万用表的欧姆挡来测量电阻时, 其测量准确度较高, 可达 0.1% , 电阻的测量范围也较宽, 为 $10^{-2}\Omega \sim 20\text{M}\Omega$ 。

测量高值电阻时, 可采用兆欧表, 它可测 $0.1\text{M}\Omega$ 以上的高电阻, 如电机绕组的绝缘电阻。

② 伏安法。伏安法用电压表和电流表分别测出被测电阻两端电压和通过电阻的电流, 然后用公式 $R = U/I$ 算出被测电阻的数值, 属于间接测量方法。所测结果的准确度, 除了决定于所用电压表和电流表的准确度外, 还与测量仪表在电路中的接法有关。

(2) 电感的测量

① 谐振法测量电感。如图 1.7 所示为并联谐振法测电感的电路, 其中 C 为标准电容, L 为被测电感, C_0 为被测电感的分布电容。测量时, 调节信号源频率, 使电路谐振, 即电压表指示最大, 记下此时的信号源频率 f , 则

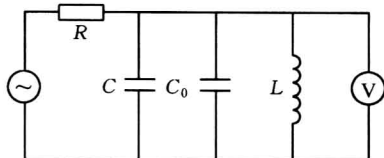


图 1.7 谐振法测量电感

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 (C + C_0)}$$

由此可见, 还需要测出分布容 C_0 , C_0 的测量电路如图 1.7 所示, 只是不接标准电容 C ; 调标准信号源频率, 使电路自然谐振。设此频率为 f_1 , 则

$$C_0 = \frac{f^2}{f_1^2 - f^2} C$$

由上两式可得

$$L = \frac{1}{(2\pi f_1)^2 C_0}$$

将 C_0 代入 L 的表达式中, 即可得到被测电感。

② 交流电桥法测量电感。测量电感的交流电桥分为如图 1.8 所示的马氏电桥和海氏电桥两种, 分别适用于测量品质因数不同的电感。

如图 1.8(a)所示的马氏电桥适用于测量 $Q < 10$ 的电感, 图中 L_x 为被测电感, R_x 为被测电感损耗电阻, 马氏电桥由电桥平衡条件可得

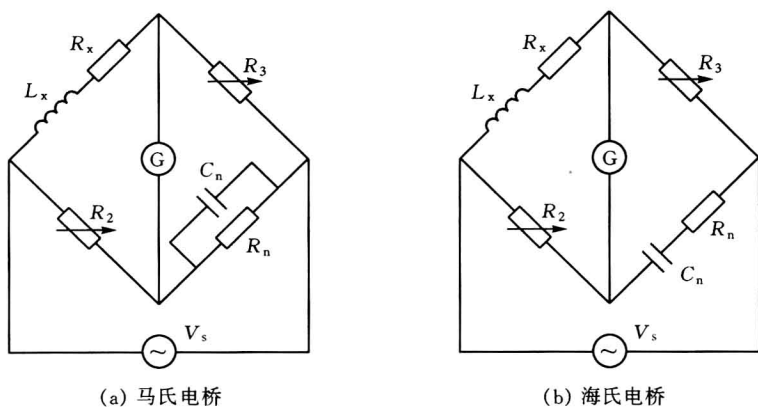


图 1.8 交流电桥法测量电感

$$L_x = \frac{R_2 R_3 C_n}{1 + \frac{1}{Q_n^2}}$$

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_n} \left(\frac{1}{1 + Q_n^2} \right)$$

$$Q_x = \frac{1}{\omega R_n C_n} = Q_n$$

一般在马氏电桥中, R_3 用开关换接作为量程选择, R_2 和 R_n 为可调元件, 由 R_2 的刻度可直读 L_x , 由 R_n 的刻度可直读 Q 值。图 1.8(b) 所示的海氏电桥适用于测量 $Q > 10$ 的电感, 测量方法和结论与马氏电桥相同。

(3) 电容的测量

电容的主要作用是贮存电能, 它由两片金属中间夹绝缘介质构成。由于存在绝缘电阻(绝缘介质的损耗)和引线电感, 而引线电感在工作频率较低时, 可以忽略其影响, 因此, 电容的测量主要包括电容量值和电容器损耗(通常用损耗因数 D 表示)两部分内容, 有时还需要测量电容器的分布电感。

① 谐振法测量电容量。将交流信号源、交流电压表、标准电感 L 和被测电容 C_x 连成如图 1.9 所示的并联电路, 其中 C_0 为标准电感的分布电容。

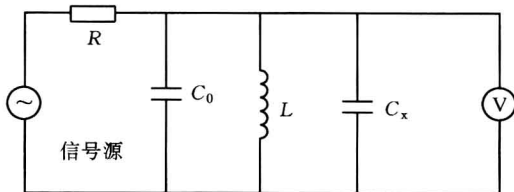


图 1.9 并联谐振法测量电容量

测量时, 调节信号源的频率, 使并联电路谐振, 即交流电压表读数达到最大值, 反复调节几次, 确定电压表读数最大时所对应的信号源的频率 f , 则被测电容值 C_x 为

$$C_x = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} - C_0$$

② 交流电桥法测量电容量和损耗因数。交流电桥有如图 1.10(a) 和 (b) 所示的串联和并联两种。交流信号源输出信号频率为 f ，对于如图 1.10(a) 所示的串联电桥， C_x 为被测电容， R_x 为其等效串联损耗电阻，由电桥的平衡条件可得

$$C_x = \frac{R_4}{R_3} C_n$$

$$D_x = \frac{1}{Q} = \tan\sigma = 2\pi f R_n C_n$$

$$R_x = \frac{R_3}{R_4} R_n$$

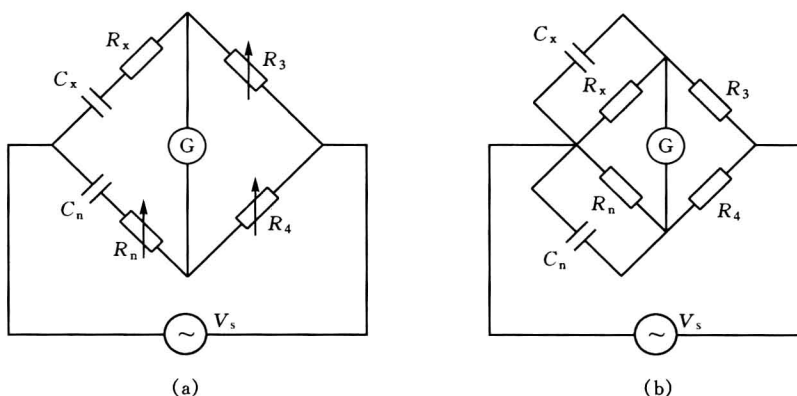


图 1.10 测量电容的交流电桥

测量时，先根据被测电容的范围，通过改变 R_3 来选取一定的量程，然后反复调节 R_4 和 R_n 使电桥平衡，即检流计读数最小，从 R_4 、 R_n 刻度读出 C_x 和 D_x 的值。这种电桥适用于测量损耗较小的电容器。

对于如图 1.10(b) 所示的并联电桥， C_x 为被测电容， R_x 为其等效并联损耗电阻，测量时，调节 R_n 和 C_n 使电桥平衡，此时

$$C_x = \frac{R_4}{R_3} C_n$$

$$R_x = \frac{R_3}{R_4} R_n$$

$$D_x = \tan\sigma = \frac{1}{2\pi f R_n C_n}$$

1.2 用万用电表对常用电子元器件检测

用万用表可以对晶体二极管、三极管、电阻、电容等进行粗测。万用表欧姆挡等值电路如图 1.11 所示，其中的 R_0 为等效电阻， E_0 为表内电池，当万用表处于 $R \times 1$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k$ 挡时，一般， $E_0 = 1.5V$ ，而处于 $R \times 10k$ 挡时， $E_0 = 15V$ 。测试电阻时，红

色表笔接在表内电池负端(表笔插孔标“+”号),而黑色表笔接在正端(表笔插孔标以“-”号)。

1.2.1 晶体二极管管脚极性、质量的判别

晶体二极管由一个 PN 结组成,具有单向导电性,其正向电阻小(一般为几百欧)而反向电阻大(一般为几十千欧至几百千欧),利用此点可进行判别。

(1) 管脚极性判别

将万用表拨到 $R \times 100$ (或 $R \times 1k$) 的欧姆挡,把二极管的两只管脚分别接到万用表的两根测试笔上,如图 1.12 所示。如果测出的电阻较小(约几百欧),则与万用表黑色表笔相接的一端是正极,另一端就是负极。相反,如果测出的电阻较大(约百千欧),那么与万用表黑色表笔相接的一端是负极,另一端就是正极。

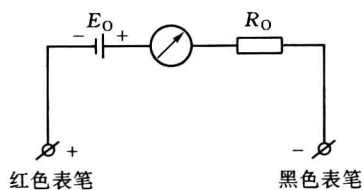


图 1.11 万用表电阻挡等值电路

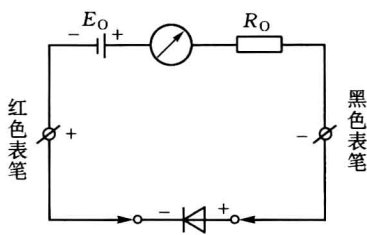


图 1.12 判断二极管极性

(2) 判别二极管质量的好坏

一个二极管的正、反向电阻差别越大,其性能就越好。如果双向电阻都较小,说明二极管质量差,不能使用;如果双向阻值都为无穷大,则说明该二极管已经断路。如双向阻值均为零,说明二极管已被击穿,如图 1.12 所示。

利用数字万用表的二极管挡也可判别正、负极,此时红色表笔(插在“V·Ω”插孔)带正电,黑色表笔(插在“COM”插孔)带负电。用两支表笔分别接触二极管两个电极,若显示值在 1V 以下,说明管子处于正向导通状态,红色表笔接的是正极,黑色表笔接的是负极。若显示溢出符号“1”,表明管子处于反向截止状态,黑色表笔接的是正极,红色表笔接的是负极。

1.2.2 晶体三极管管脚、质量判别

可以把晶体三极管的结构看作是两个背靠背的 PN 结,对 NPN 型来说基极是两个 PN 结的公共阳极,对 PNP 型管来说基极是两个 PN 结的公共阴极,分别如图 1.13(a)(b)所示。

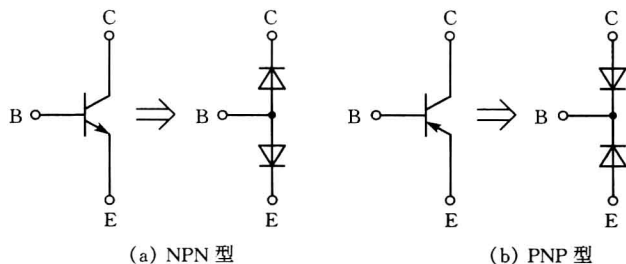


图 1.13 晶体三极管结构示意图

(1) 管型与基极的判别

万用表置电阻挡,量程选 1k 挡(或 $R \times 100$),将万用表任一表笔先接触某一个电极——假定的公共极,另一表笔分别接触其他两个电极,当两次测得的电阻均很小(或均很

大)时,则前者所接电极就是基极,如两次测得的阻值一大一小,相差很大,则前者假定的基极有错,应更换其他电极重测。

根据上述方法,可以找出公共极,该公共极就是基极 B,若公共极是阳极,该管属 NPN 型管,反之则是 PNP 型管。

(2) 发射极与集电极的判别

为使三极管具有电流放大作用,发射结需加正偏置,集电结加反偏置,如图 1.14 所示。

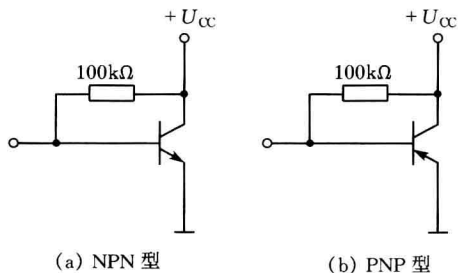


图 1.14 晶体三极管的偏置情况

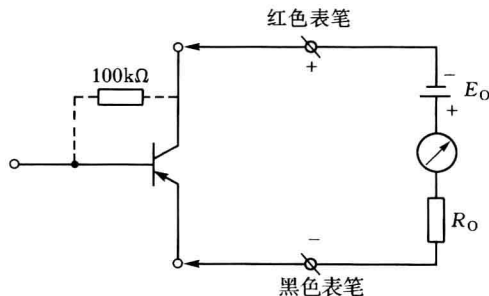


图 1.15 晶体三极管集电极 C、发射极 E 的判别

在三极管基极 B 确定后,便可判别集电极 C 和发射极 E,同时还可以大致了解穿透电流 I_{CEO} 和电流放大系数 β 的大小。

以 PNP 型管为例,若用红色表笔(对应表内电池的负极)接 C 极,黑色表笔接 E 极(相当 C、E 极间电源正确接法),如图 1.15 所示,这时万用表指针摆动很小,它所指示的电阻值反映管子穿透电流 I_{CEO} 的大小(电阻值大,表示 I_{CEO} 小)。如果在 C、B 极间跨接一只 $R_B = 100k\Omega$ 电阻,此时万用表指针将有较大摆动,它指示的电阻值较小,反映了集电极电流 $I_C = I_{CEO} + \beta I_B$ 的大小,且电阻值减小愈多表示 β 愈大。如果 C、E 极接反(相当于 C、E 间电源极性反接)则三极管处于倒置工作状态,此时电流放大系数很小(一般 < 1)于是万用表指针摆动很小。因此,比较 C、E 极两种不同电源极性接法,便可判断 C 极和 E 极了。同时还可大致了解穿透电流 I_{CEO} 和电流放大系数 β 的大小,如万用表上有 h_{FE} 插孔,可利用 h_{FE} 来测量电流放大系数 β 。

1.2.3 检查整流桥堆的质量

整流桥堆是把 4 只硅整流二极管接成桥式电路,再用环氧树脂(或绝缘塑料)封装而成的半导体器件。桥堆有交流输入端(A、B)和直流输出端(C、D),如图 1.16 所示。采用判定二极管的方法可以检查整流桥堆的质量。从图中可以看出,交流输入端 A、B 之间总会有一只二极管处于截止状态使 A、B 间总电阻趋向于无穷大。直流输出端 D、C 间的正向压降则等于两只硅二极管的压降之和。因此,用数字万用表的二极管档测 A、B 的正、反向电压时均显示溢出,而测 D、

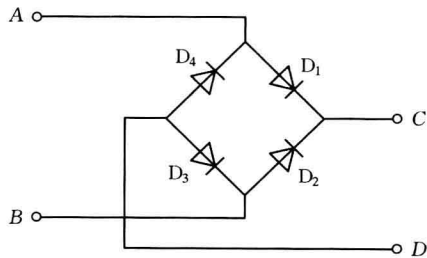


图 1.16 整流桥堆管脚及质量判别