

DIANZI CELIANG YU YIQI SHIYAN

电子测量与仪器实验

廖翊希 编

DIANZI CELIANG YU YIQI SHIYAN DIANZI CELIANG YU YIQI SHIYAN

湖南科学技术出版社

电子测量与仪器实验

廖翊希 编

湖南科学技术出版社

电子测量与仪器实验

编 者:廖翊希

责任编辑:杨 林

出版发行:湖南科学技术出版社

社 址:长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系:本社直销科 0731-4375808

印 刷:长沙福盛彩色印刷有限公司

(印装质量问题请直接与本公司联系 联系电话:2340391)

厂 址:长沙市开福区陡岭支路 56 号

邮 编:410008

经 销:湖南省新华书店

出版日期:2005 年 7 月第 1 版第 10 次

开 本:787mm × 1092mm 1/16

印 张:6.5

字 数:158000

书 号:ISBN 7-5357-1632-6/TN·46

定 价:10.00 元

(版权所有·翻印必究)

内 容 提 要

本书是中央电大《电子测量与仪器》课程的实验教材，包括实验基本知识以及示波器实验、图示仪实验、扫频测量实验、频率测量实验、电压测量、阻抗实验，逻辑分析仪的使用及电子仪器维修等内容。全书由浅入深、通俗易懂，并附有实验练习和部分可查阅数据表，是电大理工科有关专业必备教材，也是大专院校有关师生可选用的参考书，还可作为函大、业大、夜大、职大学生的教学用书。

目 录

第一章 实验基本知识	(1)
第一节 实验前的指导	(1)
第二节 使用电子仪器的注意事项	(2)
第三节 电子仪器的日常维护	(3)
第四节 电子仪器使用范围的扩展	(5)
第五节 电子测量实验中的干扰及其抑制	(10)
第六节 电子测量实验的记录及其数据处理	(15)
第七节 提高测量精度的基本方法	(28)
第二章 示波器实验	(31)
实验一 用示波器观测正弦信号幅度和周期	(31)
实验二 示波器的校准和主要指标的检验	(32)
第三章 图仪实验	(40)
实验三 晶体管特性图仪	(40)
实验四 场效应管放大器的测试	(45)
第四章 扫频测量实验	(49)
实验五 图像中频放大器的安装, 调试与测量	(49)
实验六 传输线的阻抗测量	(57)
实验七 扫频法测量阻抗	(58)
第五章 频率测量实验	(60)
实验八 LC 正弦波振荡器	(60)
实验九 变容二极管频率调制器	(63)
实验十 通用电子计数器测频率	(67)
实验十一 晶体振荡器频率稳定度的测量	(67)
第六章 电压测量	(74)
实验十二 电子电压表测量电压	(74)
第七章 阻抗测量实验	(77)
实验十三 Q 表的应用 (一)	(77)
实验十四 Q 表的应用 (二)	(87)
第八章 逻辑分析仪	(92)
实验十五 逻辑分析仪的使用 (一)	(92)
实验十六 逻辑分析仪的使用 (二)	(97)
第九章 电子仪器的维修	(99)
实验十七 示波器的维修	(99)

第一章 实验基本知识

第一节 实验前的指导

一、实验的重要性

实验是人们认识自然和进行科学研究的一种重要手段。一个科学的设想得以实现往往需要进行大量的实验，总结多次失败的经验才能取得成功。一个创新的理论需要用实验来检验它是否成立，当然还有不少发明创造是在实验过程中偶然发现的，在偶然的发现中找出了必然的规律。

科学的发展历史也离不开实验，早在公元前 600 年以前人们已发现用毛皮摩擦琥珀后，琥珀能吸引其它轻微的物体，直至 1747 年富兰克林才将这一现象归结为电。他曾在雷雨天放出风筝，使栓在风筝线上的金属片发出电火花，并将它与摩擦所产生的电相比较，证实了闪电与用摩擦方法所产生的电荷是相同的。1791 年伽伐尼在解剖青蛙过程中，当小刀触及蛙腿一条神经时，发现蛙腿发生特殊的收缩，并出现一个电火花，伏打把这一现象解释为只要两种不同的金属浸入导电液体中都可以产生电，实际上伽伐尼实验的青蛙是起了小刀和金属桌面之间导电液体的作用，而后伏打在 1800 年用铜和锌制成了第一个电池。1819 年至 1820 年奥斯特和安培先后在实验中发现电流对磁针的作用力和载流线圈之间的作用力，之后 1831 年法拉第发表了电磁感应定律，1873 年麦克斯韦用数学方法创立了电磁场理论，直至 1889 年赫兹实现了无线电的传播，证实了麦克斯韦的理论。

对于教学来说，实验是一个重要环节，通过实验掌握基本理论，培养实验技能，有利于培养学生实际工作能力。

二、电子测量与仪器的实验目的和方法

电子测量与仪器是一门实践性很强的学科，必须十分重视加强实验教学。电子测量与仪器实验的目的是进一步巩固和加深理论知识、培养基本实验技能，提高运用理论解决实际问题的能力。具体要求如下：

1. 学会使用常用电子仪器。
2. 初步掌握电能量、电信号特性、电路参数和导出量的测量以及特性曲线的显示。
3. 初步培养电子仪器的维修技能。
4. 培养正确记录和处理数据、分析和综合实验结果，检查和排除故障以及撰写实验报告的能力。
5. 进一步培养实验中应具有的科学态度和踏实细致的工作作风。

实验技能的培养，除了不断提高实际操作技术，正确并熟练地使用各种电子测量仪器和设备外，更重要的还在于能根据测量任务和具体情况制订出合理的测量方案。

电子测量与仪器实验包括理论准备、实际操作和结果分析三个阶段，这三个阶段都很重要，必须予以同等重视。

第二节 使用电子仪器的注意事项

电子测量仪器种类繁多，各有自己的使用特点。如果使用不当，很容易发生人为损坏事故，轻则影响测量工作，重则造成严重损坏。各种电子仪器的说明书上都规定有操作规程和使用方法，必须严格遵守。在使用电子仪器前、后以及在使用过程中，一般都应注意下述事项，以确保安全，防止事故，减少故障。

1. 在开机通电前，应检查仪器设备的工作电压跟市电交流电压是否相符；检查仪器设备的电源电压变换装置是否正确地插置在相应电压的部位；检查仪器面板上各种开关、旋钮、度盘、接柱、插孔等是否松脱或滑位。如果发生这些现象应加以紧固或整位，以防止因此而牵断仪表内部连线，甚至造成开断、短路以及接触不良等人为故障。

2. 在开机通电前，应检查电子仪器的接“地”情况是否良好。这是关系到测量的稳定性、可靠性和人身安全的重要问题。

3. 在开机通电时，应先接通电子仪器上的“低压”开关，待仪器预热 5~10 分钟后，再接通“高压”开关。否则可能引起仪器内部整流电路的器件产生跳火、击穿等故障。对于使用单一电源开关的仪器，开机通电后，也应预热 5~10 分钟，待仪器工作稳定后使用。

4. 在开机通电时，应注意观察仪器的工作情况，如果发现仪器内部有响声、臭味、冒烟等异常现象，应立即切断电源。在尚未查明原因之前，应禁止再行开机通电，以免扩大故障。

5. 在开机通电时，如发现仪器的保险丝烧断，应调换相同容量的熔丝管后再行开机通电，如果第二次开机通电又烧断保险丝，应立即检查，不应再调换熔丝管进行第三次通电，更不要随便加大保险丝的容量或者用铜线代替。否则会导致仪器内部故障扩大，甚至会烧坏电源变压器或其他器件。

6. 对于内部有通风设备的电子测量仪器，在开机通电后，应注意仪器内部电风扇是否正常运转。如发现电风扇有碰片声或旋转缓慢，甚至停转，应立即停机进行检修。否则，通电时间久了，将会使仪器的工作温度过高，甚至会烧坏电风扇或其它电路器件。

7. 在使用仪器的过程中，对于面板上各种旋钮、开关、度盘等的扳动或调节动作应缓慢稳妥，不可猛扳猛转。当遇到转动困难时，不能硬扳硬转，以免造成松脱、滑位、断裂等人为故障。仪器通电时，应禁止敲打机壳；对于笨重的仪器设备，在通电工作的情况下，不应用力拖动，以免仪器受震损坏。对于输出、输入电缆的插接或取离应握住套管，不应直接拉扯电缆线，以免拉断内部导线。

8. 使用电子仪器进行测试工作时，应先连接“低电位”的端子（即地线），然后再连接“高电位”的端子（如探测器的探针等）。反之，测试完毕应先拆除高电位的端子，然后再拆除低电位的端子，否则，会导致仪器过荷，甚至打坏指示电表。

9. 信号发生器的输出端，不应直接连到有直流电压的电路上，以免电流注入仪器的低阻抗输入衰减器，烧坏衰减器电阻元件。如确有必要，应串连一个相应工作电压和适当电容量的耦合电容器后，再引信号电压到测试电路上。

10. 对于消耗功率大的电子仪器，应避免在使用过程中切断电源后，立即再开机使用，否则，可能会引起保险丝烧断。

11. 仪器使用完毕，应先切断“高压”开关，然后切断“低压”开关。否则，由于电子管灯丝的余热，可能使电路工作在不正常的条件下，造成意外的故障。

12. 仪器使用完毕,应先切断仪器的电源开关,然后取离电源插线,应禁止只拔掉电源插线而不扳“断”仪器电源开关的简单作法,也应反对只切断电源开关而不取离电源插线的习惯。

第三节 电子仪器的日常维护

认真做好电子仪器的日常维护工作,对减少仪器的故障,延长仪器的正常工作寿命,确保安全使用和保证测量准确度等方面,都具有十分重要的作用。

防尘与去尘是保证电子仪器处于良好备用状态的基本措施,是日常维护的最基本工作。

大部分的电子仪器都备有专用的防尘罩,仪器使用完毕应注意加罩。在使用塑料罩的情况下,最好要等待温度下降后再加罩,以免水气不易散发出去。如果没有专用的仪器罩,也应设法盖好,严禁使用玻璃纤维的罩布。此外,应禁止将电子仪器无遮盖地长期搁置在水泥地或靠墙的地板上。

平时要用毛刷,干布或沾有绝缘油的抹布、纱团,将仪器的外表擦刷干净。但不要使用沾水的湿布抹擦,避免水气浸入仪器内部而受潮,以及防止机壳脱漆部分生锈,如果发现仪器外壳沾附松香,切忌使用刀口铲刮,应该使用沾有酒精的棉花擦除;如果沾附焊油,应该使用汽油或四氯化碳擦除;如果沾附焊锡,可用刀口小心地剔下来。

对于电子仪器内部的积灰,通常利用检修仪器的机会,使用“皮老虎”或长毛刷吹刷干净。应当指出:在清理仪器内部积尘时,最好不要变动电路元件与接线的位置,以及避免拔出电子管、石英晶体、振子等插接器件。必要时应事先做好记号,以免复位时插错位置。

电子仪器还必须采取有效的防潮与驱潮措施。电子仪器如果受潮,它内部的电源变压器和其它绕线器件的绝缘强度将下降,发生漏电、击穿、甚至霉烂断线,使仪器发生故障。

首先,电子仪器存放的地点,最好选择在楼上比较干燥的房间,室内门窗应朝南偏东,以利阳光照射,通风良好。

在仪器内部,或者存放仪器的地方,应放置“硅胶”布袋,以吸收空气中的水分。

长期搁置不用的电子仪器,在使用之前应进行排潮烘干工作。通常可把仪器放置在大容积的恒温箱内,用 60°C 的温度加热 $2\sim 4$ 小时。在需要大量进行排潮工作时,可使用适当功率的调压自耦变压器,先将市电交流电源的电压降低到 190V 左右,使仪器在较低的电源电压下,通电 $1\sim 2$ 小时;然后再将交流电源的电压升高到 220V 额定值,继续通电 $1\sim 2$ 小时。这样同样可收到排潮烘干的效果。否则,受潮的电子仪器,在使用 220V 交流电源供电时,往往会发生内部电源变压器或整流电路跳火、击穿或局部短路等故障现象。

电子仪器除防潮、驱潮外,还应防热、排热。绝缘材料的抗电强度会随着温度的升高而下降,而电路元件的参量也会受温度的影响。特别是半导体器件的特性,受温度的影响比较明显,例如,晶体管三极管的电流放大系数 β 和集电极穿透电流 I_{ceo} ,都会随着温度的上升而增大,使仪器工作不稳定,甚至发生故障。因此,对于仪器的“温升”,都有一定的限制,一般不得超过 40°C ;而仪器的最高工作温度,不应超过 65°C ,通常室内温度以保持在 $20^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 最为合适。如果室温超过 35°C ,应采取通风排热等人工降温措施,也可适当缩短仪器连续工作的时间,必要时,应取下机壳盖板以利散热。但应注意:要禁止在存放电子仪器的室内,用洒水或放置冰块降温,以免水气侵蚀仪器而受潮。

对于内部装置有小型的排气电风扇的仪器设备,应定期检查电风扇的运转情况。如果运

转缓慢或干涩停转，将会导致仪器温升过高而损坏。

电子仪器还要防止长时间受阳光曝晒，以免使仪器机壳的漆层受热变色，开裂甚至翘起。特别是仪器的度盘或指示电表，往往因久晒受热，而导致刻度漆面开裂或翘起，造成读示不准确甚至无法使用。所以，放置或使用电子仪器的房子如有东、西向的窗户，应装置窗帘，特别是炎夏季节，应注意放窗帘。

有的电子仪器在搬运或移动仪器时，剧烈震动或碰撞，使仪器损坏。因此电子仪器的防震防松是日常维护的一项重要工作。

大部分电子仪器的机壳底板上，都安装有防震用的橡皮垫脚。如发现橡皮垫脚变形，硬化或者脱落，应随时调换更新。

在放置电子仪器的桌面上，不应进行敲击捶打的工作。对仪器的开关、旋钮、度盘、接合器等的锁定螺丝、螺帽应注意紧固，必要加点清漆，以免松脱。

在搬运或移动仪器时应轻拿轻放，严禁剧烈震动或者碰撞，以免损坏仪器的插件和表头等器件。在搬运笨重仪器之前，应注意检查仪器上的把手是否牢靠。对于装置有塑料或人造革把手的仪器设备，在搬运时应托底座，以免把手断裂而摔坏仪器。重新装箱搬运时，应注意防震。在检修仪器的过程中不应漏装弹簧垫圈，弹簧压片和电子管屏蔽罩等紧固用的零件。

电子仪器大都使用市电交流电源来供电，因此，防止漏电是一项关系到使用安全的重要维护措施。对于各种电子仪器必须定期检查其漏电程度，即在仪器不插接市电交流电源的情况下，把仪器的电源开关扳置于“通”部位，然后用兆欧表检查仪器电源插头对机壳之间的绝缘是否符合要求。根据一般规定，电气用具的最小允许绝缘电阻不得低于 $500\text{k}\Omega$ ，否则应禁止使用，进行检修或处理。

如果没有兆欧表，也可在预先采取防电措施的条件下（如戴上橡皮手套或站在橡皮垫板上操作），把被测仪器接通市电交流电源，然后使用万用电表的 250V 交流电压档，进行漏电程度的检查。具体做法是：将万用电表测试棒之一接到被测电子仪器的机壳或“地”线接线柱上，而将另一根测试棒，碰触双孔电源插座的一端。如果无交流电压指示或者电压指示很小，再将这根测试棒调换碰触双孔电源插座的另一端。此时，如果交流电压指示值大于 50V ，则表明被测仪器的漏电程度超过允许的安全值，应禁止使用。应当指出的是，由于仪器内部电源变压器的静电感应作用，有时电子仪器机壳对“地”线之间会有相当大的交流感应电压；某些电子仪器的电源变压器采用了电容平衡式的高频滤波电路，它的机壳对“地”线之间也会有 100V 左右的交流电压。如果使用普通的验电笔碰触仪器的机壳，笔内的氖管会发亮而指示机壳带电。但是上述机壳电压都没有负荷能力，因此在验电笔检测电子仪器的机壳带电后，最好再用万用表进一步检测负载能力。

为了及时发现仪器中的问题，电子仪器还要在使用之前或借出、还回交接时，进行定性测试。在使用了一定的时间后，对仪器的主要性能的指标进行定期检定。

定性测试的项目不要过多，测试方法也应简便可靠，只要能确定仪器设备的主要功能以及各种开关、旋钮、度盘、表头、示波管等表面器件的作用情况是否正常即可。例如，对电子示波器的定性测试，要求示波管的“辉度”、“聚焦”、位移等调节正常，并且能利用本机的“试验电压”或“比较信号”能观测相应的波形即可。

定期检定是在电子仪器使用了一年左右或者大修以后进行。检定的方法是根据仪器说明书所给出的主要技术数据，借助标准仪器或者同类型的新仪器进行比对和校准。

有些电子仪器在丧失其原有的精确度和可靠性后，必须根据国家科委的规定，报请省、市

标准计量局进行“法定检定”，通过法定检定后的标准精密仪器，可作为精确度等级较低的电子仪器的实用标准仪器。

准确度是各种电子仪器的主要技术性能，它的表征方式有绝对误差、相对误差、允许误差、基本误差、附加误差等。电子仪器所确定的被测参量的数值称为“标称值”。根据标准仪器所确定的被测参量的数值称为“实际值”。标称值 A_H 与实际值 A 之差称为“绝对误差” ΔA ，即

$$\Delta A = A_H - A$$

绝对误差的负值 ($-\Delta A$)，即实际值与标称值之差，称为测量的“校正值”或补值即：

$$\delta_A = A - A_H = -\Delta A$$

因此，被测参量的实际值等于仪器所测出的标称值与校正值之和。

$$A = A_H + \delta_A$$

“相对误差”是测量的绝对误差 ΔA 对于测量的实际值 A 的百分率。即：

$$\gamma(\%) = \frac{\Delta A}{A} \times 100$$

由于标称值 A_H 与实际值 A 的数值相近，在计算相对误差时，通常采用 ΔA 对于 A_H 的百分率来表示，即：

$$\gamma_H(\%) = \frac{\Delta A}{A_H} \times 100$$

这样表征的相对误差通常称为“相对标称误差”。

采用指针式电表作为测量指示器的电子仪器，其准确度通常是以绝对误差 ΔA 对于相应量程的满度值 A_0 的百分率来表征的，称为“相对满度误差”或“相对引用误差” γ_0 ，即

$$\gamma_0(\%) = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100$$

仪器的允许误差是指仪器在正常的使用条件下，所允许的最大测量误差。通常在其数值前面标以“ $\pm$ ”符号。

基本误差是以某一特定温度 (20°C)，某一特定频率以及额定交流电源电压的条件下，所规定的允许误差。而把环境温度、工作频率和电源电压在一定范围内变动时，所导致的附加测量误差，分别称为温度附加误差、频率附加误差和电源附加误差。

定期检定就是根据精密仪器所确定的被测参量的实际值，来绘制有关电子仪器的标称值“校正”曲线或“补值”数据表，或者确定其准确度的基本误差是否合格。

第四节 电子仪器使用范围的扩展

每一台电子测量仪器都有一定的使用范围。它是由仪器的功能、技术性能、误差等决定的。一般情况下，当超过使用范围时，仪器便无法工作或者引入显著的理论误差。严重时，甚至损坏仪器。但是，如果正确运用电子测量的基本原理，在一定条件下（或范围内），仍然有可能将某些仪器的使用范围作适当的扩展，以便充分发挥其潜力。

扩展仪器的使用范围，必须注意仪器及人身的安全。一般不允许打开仪器机壳和改变仪器原有的电路或接线；所采用的方法在理论上必须是正确的。

扩展仪器的使用范围包括减小仪器误差、扩展量程、扩展频率使用范围、增加仪器功能等，具体的方法很多，也很灵活。下面举例介绍几种在电子测量实验中常用的方法。

一、通过检定减小仪器的示值误差

仪器的示值误差，一般是以允许误差的形式在仪器技术说明书中规定的。但它只不过表明某一类仪器误差不应超过的范围，就具体一台仪器而言，误差的大小或范围可以通过检定的方法加以确定。例如，一台允许误差为 $\pm 10\%$ 的电压表，通过实际检定，它的误差是 $-5\% \pm 6\%$ ，其中， -5% 是系统误差，可以进行修正， $\pm 6\%$ 是由标准仪器、检定装置和检定方法等引入的测量不确定度。这样，就使该仪器的实际精度得以提高。不过，需要指出的是，仪器精度总是受它本身的稳定性、噪声、读数分辨率等各种因素所限制的，不可能通过检定得到显著的提高。

二、通过外接标准提高仪器精度

数字频率计、数字电压表、频率合成器、阻抗电桥和其它一些仪器，都内附有一个作比较用的标准源或标准量具。例如，晶体振荡器、标准电池、标准电阻或电容等。这些仪器的测量精度最终都受到该标准的限制，为了提高测量精度，在条件许可时，可以外接精度更高的标准进行测量。这种方法有时还可推广到用外部精确度更高的测量仪器或标准量具，去取代某台仪器的部分测量单元或读数机构。图 1—1 就是利用外接数字式频率计和外接标准可变电容分别取代 Q 表中的高频信号源及回路标准可变电容，以提高 Q 表测量精度的例子（此时应采用变电容法或变频率法测量 Q 值）。

三、扩展仪器的功能

电子测量实验中,虽然待测电参量的种类很多,但有些电参量之间是由一定的公式某一确切函数相联系的。也就是说,利用测量某种电参量的仪器,通过一定的公式或函数关系式进行计算,就可以间接测出另外的电参量,这就相当于扩展了仪器原有的功能。当临时缺乏某种电参量的测量仪时,这种方法还是一种经济有效的应急措施。下面列举几种常用的方法。

例如，要测量电容器的容量，在缺乏专用的电容测量仪时，可利用图 1—2 所示的装置进行测量（假设电容器的漏电或损耗忽略不计）。

图 1—2 中 e 表示低频信号发生器的输出电压, C 表示待测电容, r 为测量用辅助电阻, u_r 表示电子电压表所测得的电压, R_i 及 C_i 分别表示电压表的输入电阻及输入电容。

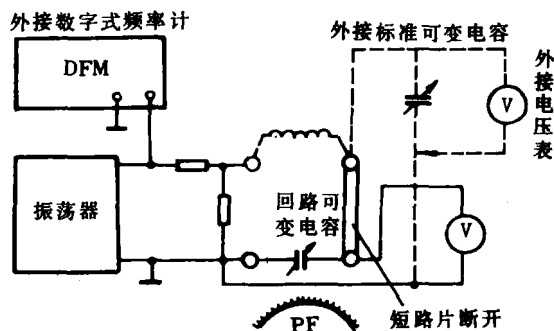


图 1-1 外接标准提高 Q 表测量的精度

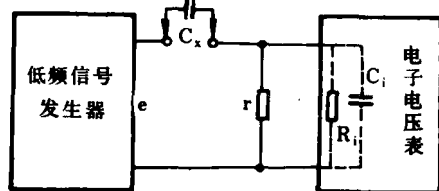


图 1-2 电容测量装置

由图可得:

$$\ddot{u}_x = \frac{\dot{z}}{\dot{z} + 1/j\omega C_r} e \quad (1-1)$$

式中 $z=r$, R_i 及 C_i 的并联抗阻。

一般的电子电压表, $R_i \geq 1\text{M}\Omega$, $C_i \leq 50\text{pF}$, 如选择 r 的值比 R_i 及 C_i 的容抗小很多。式(1—1)便可写成

$$u_x \approx \frac{r}{r + 1/j\omega C_x} e \quad (1-2)$$

$$\text{如同时满足 } r \ll 1/\omega C_x r e = 2\pi f C_x r e \text{ 并只考虑 } u_x \text{ 的模值则 } u_x = \omega C_x r e = 2\pi f C_x r e \quad (1-3)$$

$$\text{或 } C_x \approx \frac{1}{2\pi f r e} u_x \quad (1-4)$$

由式(1—4)可见, 只要 f 、 r 、 e 确定, 即可由 u_x 读出 C_x 的值。如果令 $1/2\pi f r e$ 刚好等于 10^n (n 为正, 负整数), 还可作成方便的直读式电容测试装置。例如, 选 $f=1\text{kHz}$, $e=10\text{V}$, $r=16\Omega$, $u_x=100\text{mV}$, 由式(1—4)可求得 $C_x \approx 0.1\mu\text{F}$ 。这样, 便可把图 1-2 中电压表的 100mV 量程视为满度值为 $0.1\mu\text{F}$ 的电容测量仪来直接进行读数, 感兴趣的读者还可根据实验室具体情况先算出若干 C_x-u_x 对应量程所需的 f 、 r 及 e 值, 再根据计算出的 r 值先作好一个附加装置, 通过波段开关选择不同的附加电阻 r , 并注明相应的 f 、 e 及 C_x-u_x 对应关系, 即可随时组成图 1-2 所示的电容测量装置。

为了简化图 1-2 的测量装置, 可将图中的电子电压表用一个自制的检波器式电压表去代替。这样作虽然可能减小待测电容的范围及降低测量精度, 但可将指示及测试部分作成独立的辅助部件形式, 使用较方便。

图 1-2 中, 由于 r 很小时, 一般不易制作得很精确, 因此不宜测量大容量的电容器。为了扩展待测电容 C_x 的上限, 可以在 r 两端并联一只大容量的辅助电容。具体的改进措施, 读者可以自己去拟订, 并尽可能通过实验加以验证。

更为简便的办法是用一只万用表去代替图 1-2 中的电子电压表, 用 50Hz 、 220V 电网电压代替低频信号发生器, 并直接采用串联的测量方式(此时待测电容的耐压应满足要求如图 1-3 所示)。

由图 1-3 容易求出待测电容 C_x 之值为

$$C_x = \frac{1}{2\pi f R_i \sqrt{(e/u_x)^2 - 1}}$$

图 1-3 也可用来测电感, 待测电感之值为

$$L_x = \frac{R_i \sqrt{(e/u_x)^2 - 1}}{2\pi f} \quad (1-5)$$

电压 e 可视 C_x 或 L_x 之值取 220V 、 100V 或 10V 等。

在实际工作中, 可以根据万用表的量程及输入电阻预先按式(1—5)绘出测量电容及电感的校准曲线以备(也可借助于若干不同数值的已知电容或电感来作校准曲线)。有的万用表(例如 MF-15 型)已直接把 L_x 及 C_x 的示值刻在电表面板上; 有的则在使用说明书中给出校准曲线(例如, MF-30 型及 MF-50 型等)。

认真分析测量装置中对各种仪器的主要要求, 也可以启发我们去寻求某些代用的仪器并扩展其使用功能。例如, 在用微差法测量稳压电源的稳压系数及输出电阻等技术指标时, 要求指示器 G (参见图 1-17) 能测出毫伏级的电压。由于在这一装置中, 对 G 的输入电阻没有要求, 因此当没有毫伏表时, 可以用一只普通的磁电系微安表来担任。例如选用一只 $50\mu\text{A}$ 的电流表, 从手册中查出或事先测出其内阻 R_i (设 $R_i=200\Omega$), 于是这只微安表便可直接作为

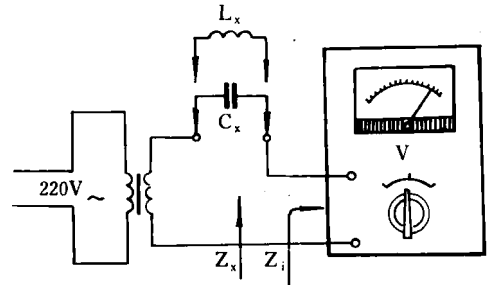


图 1-3 用万用表测电容及电感的简便方法

100mV 的毫伏表，充当微差法中的指示器。

有些电子测量仪器具有多种潜在的功能，只要制定出合理的测量方案，或者辅以必要的附加装置（其中有许多装置是易于自制或由其它普通仪器代用的），就可以实现多种功能的测量。这方面最典型的代表是电子计数器和电子示波器。

电子计数器最基本的功能是对输入的脉冲进行累加计数。如果加上适当的控制、逻辑电路及各种变换、比较电路，便可将许多物理量（电量或非电量，模拟量或数字量）以数字化的方式进行精确的测量。

电子示波器具有多种潜在功能的基本原因在于它可以同时从 X、Y、Z 三个通道输入不同的信号，并利用了人眼的视觉暂留现象，以图形方式在荧光屏上对三者的各种信号特征进行比较。只要在具体的比较形式上适当变化，就可以实现对多种电参量的测量。如果再配上相应的传感器或变换器，还可以实现对多种非电参量进行测量。在电子测量实验中，示波器一般用来观察波形；测量各种脉冲参数；测量频率、时间、相位、调制度、失真度等。除此之外，还有各种各样简单而有效的应用实例，图 1-4 展现了其中几种测量的原理图。

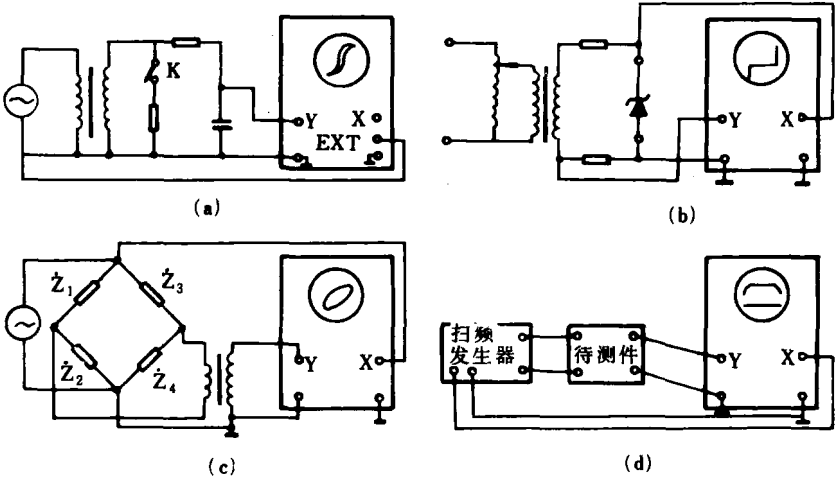


图 1-4 示波器潜在功能的应用举例

- (a) 测量变压器铁心的磁滞回线； (b) 测稳压管伏-安特性；
(c) 作交流电桥平衡指示器； (d) 构成扫频测量系统

四、频率范围及量程的扩展

电子测量仪器的频率范围是由它的电路形式、元器件性能、工艺结构等各种因素决定的。通常用 3dB 带宽或频率误差等来表示。当工作频率向高端或低端扩展时，将造成额外的附加误差。如果有一台频率范围更宽的同类仪器，便可以通过对比的办法作出频率附加误差的修正曲线，从而使该仪器的工作频率范围得以适当扩展。例如，一台标明频率范围为 5kHz~100MHz 的电压表（这一指标是对一批仪器而言的，实际每一台仪器的频率范围不完全相同），经过与频率范围更宽的仪器相对比，得出该电压表的频率修正曲线如图 1-5 所示。利用图 1-5 的修正曲线，可使电压表的频率使用范围由低端扩展到约 100Hz，向高端扩展到约 300MHz。使用中只要注意引入修正值，仍可保证在扩展的频带内附加误差不太大。频率扩展的范围是很有限的，除了前面提到的几种限制因素外，还要考虑因频率提高引起的输入阻抗下降对被

测电路的影响。

有些电子测量仪器的频率范围在扩展时要特别小心，否则会严重影响测量结果。例如电子示波器，当观察脉冲信号或其它非正弦信号时，如果信号频率超过其频率范围上限，不仅Y通道的灵敏度会降低，而且会引起波形的显著失真。此外，扫描及触发电路往往也不能满足要求。

量程的扩展对万用表等电工仪表是比较简单的。例如，外加一级晶体管放大器附件就可以明显提高电流及电压的测量灵敏度；加适当的电阻分压器就可扩展电压量程的上限；增加一只晶体管或外接适当电池就可以扩展电阻测量的上限；加适当的分流电阻或互感器，就可以扩大直流电流或交流电流的量程上限等等。

对电子测量仪器来说，扩展量程的难易程度将因不同仪器而异。例如，扩展电压、功率、电流等类仪器的量程上限一般比较简单；而若扩展其量程下限，则往往受到电路噪声的限制。对元件参数测量仪，扩展量程下限比扩展其上限遇到的困难大得多，因为这时分布参量及残余参量的影响已很严重，且难以准确地进行修正。尽管如此，如果采用适当的测量方法，有时也能在一定范围内扩展仪器的量程。

例如，在测量高频线圈的Q值时，通常采用如图1-6所示的Q表。其中 C_s 为标准可变电容，回路中的线圈即为待测电感 L_x 。当调节 C_s 使回路谐振时，根据输入电压 e 与电容器上电压 u_e 之比即可求出线圈的Q值为（回路中其它损耗假设可忽略不计）

$$Q = \frac{u_e}{e} \quad (1-6)$$

一般Q表在输入电压时，电压表只有“×1”、“×2”等刻度，即测量时，必须把 e 调到1或0.5

个单位。这样，在测量输出电压 u_e 时，电压表便可直接按Q值进行刻度。如果待测线圈的Q值超过了电压表的最大量程（即 u_e 超过量程）便无法准确地测出Q值（虽然减小 e 使 u_e 不超过量程，但此时的 e 值测不出）。这时，可改用变电容或变频率法进行测量：先在指定频率 f_0 下调节 C_s 使回路谐振。当发现接近谐振点时，Q值已超过最大量程范围，可逐步减小 e 值，直到回路谐振时，电容器两端电压 u_e 刚好指到满度值，记下此时的 C_s 值 C_{sr} 。

变电容法是在 f_0 保持不变的条件下，调节 C_s 值使回路失谐，当 u_e 下降到满度值的 $1/\sqrt{2}$ 时，记下相应的 C_s 值及 C_{s1} 和 C_{s2} （见图1-7（a）），即可求得Q值为

$$Q = \frac{2C_{sr}}{C_{s2} - C_{s1}} \quad (1-7)$$

变频率法是 C_s 保持不变的条件下，微调信号源频率使回路失谐，当 u_e 降到满度值的 $1/\sqrt{2}$ 时，记下相应的 f 值及 f_1 ， f_2 （见图1-7（b）），即可求得Q值为：

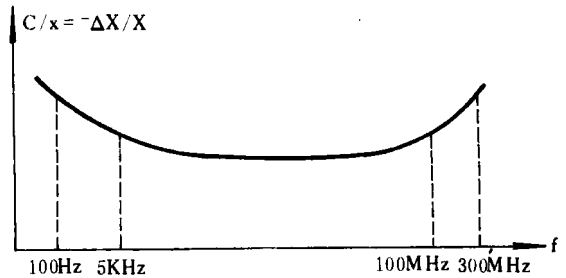


图 1-5 电压表频率误差修正曲线

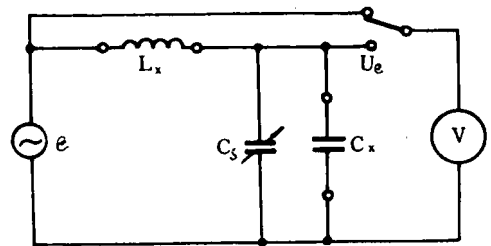


图 1-6 Q表测量原理图

$$Q = \frac{f_r}{f_2 - f_1} \quad (1-8)$$

变电容法和变频率法不仅可适当扩展 Q 值测量的上限，更主要的优点是在这两种方法中，电压值只作相对值测量，由此可明显提高 Q 值的测量精度，在 Q 值的计量中得到广泛的应用。这两种方法扩展的 Q 值测量范围主要受测量回路中残余参量的限制。

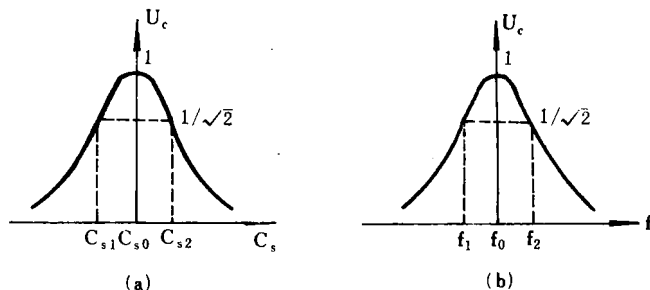


图 1-7 变电容及变频率法测 Q 值
(a) 变电容法 (b) 变频率法

第五节 电子测量实验中的干扰及其抑制

任何电子测量过程，都可归纳为将某种形式的被测信号，经过一系列的变换、比较、调整及信息处理过程，最后得到与被测量有唯一确定关系的测量结果。为了获得这种“唯一的确定关系”，除了测量仪器本身必须稳定外，还必须满足两个最基本的条件：一是测量结果仅反映被测量的大小；二是被测量不能经过任何非正常的通道去影响测量结果。

在电子技术中，把一切来自设备或系统外部的无关信号称作干扰；而把由设备或系统内部产生的无关信号称作噪声。

对技术指标合格并在规定条件下使用的测量仪器，可以不考虑其噪声的影响，测量过程中干扰的影响，通常表现为仪器读数显著偏大或偏小，读数不稳，随机跳动，严重时甚至使仪器不能正常工作以致损坏。

要使上面两个基本要求得到满足，就必须先了解干扰的主要来源，分析测量仪器拾取干扰信号的可能途径（这些途径往往也成为被测信号的非正常通道），然后才能设法抑制干扰的影响。

一、干扰的主要来源

干扰的来源一般可分为有源干扰及无源干扰两大类。

有源干扰主要包括以下几个方面：

1. 电气设备中电流的急剧变化及伴随的电火花

属于这类设备的有交流接触器、电钻、电铃、电焊机、电梯、继电器、电气机车、以及汽车、摩托车、轮船等内燃机的点火系统。

2. 高频电气设备的电磁辐射干扰

属于这类设备的有工业及医学上使用的高频感应炉、高频（或微波）治疗仪，短波无线电台及电视台等。

3. 天电干扰

天电干扰的来源十分复杂。任何天体的剧烈变化、太阳的磁爆、天空的雷电以及其它静电电源的快速放电，都会形成天电干扰。

4. 工频干扰

工频干扰通常是指由于 50Hz 交流电网的强大电磁场所产生的干扰。

5. 气体电离干扰

气体电离干扰主要来源于实验装置附近的电气设备中各种离子器件（如闸流管、充气稳压管、氖管等），以及照明用的日光灯、霓虹灯等所产生的电离变化。

无源干扰主要是指大气电离程度的有规律变化及无规律随机起伏。

二、干扰的一般途径

干扰的途径多种多样，大体上可分为寄生耦合及电磁辐射两大类。

（一）寄生耦合

常遇到的寄生耦合途径有下面几种：

1. 公共阻抗耦合

测量装置中的公共阻抗最常见的是地电阻及电源内阻。

进行电子测量实验时，往往要求各仪器与实验底板间有公共接地点。实际上，由于接地焊片的氧化，虚焊，可能形成与地线之间较大的接触电阻，有时也可能由于地线本身的电阻率就不能忽略，这些都将形成一定的公共阻抗，如图 1-8 所示。

图 1-8 (a) 中，接触地阻 R_g 包括了焊片氧化层电阻、虚焊所致的等效电阻、以及焊片与底板或导线之间的接触电阻等总效应。图 1-8 (b) 中的接触电阻 R_g 的阻值取决于地线的电阻率、地线联接方式及工作频率等。

当接地电阻的阻值不能忽略时，由于外电磁干扰（特别是强大的 50Hz 工频干扰）以及电路单元与实验底板或仪器共用一根地线等原因，将在 R_g 上检拾到一个明显的干扰电动势，造成测量结果的误差。

当几个电路单元或实验底板共用一组直流电源时，如果电源内阻不够低，就会通过该内阻形成耦合如图 1-9 所示。

电源内阻耦合的存在，可能造成实验系统的自激振荡和信号串扰。

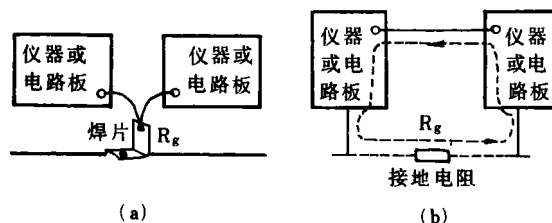


图 1-8 接地电阻耦合

(a) 焊片接触电阻 (b) 地线自身电阻

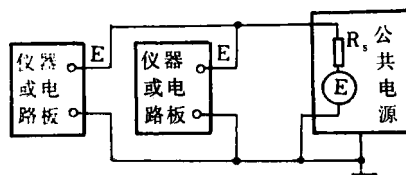


图 1-9 电源内阻耦合

2. 分布电容耦合

测量装置中，仪器、实验底板、元器件、接线、大地、人体等之间，都存在着极为复杂的分布电容。当工作频率较高时，这些分布电容仍有影响便不能忽略不计。严重时，将造成

测量的结果的巨大误差。图 1-10 画出了几种分布电容的典型例子。

图 1-10 (a) 中, 由于分布电容的影响, 将造成输出波形的失真。图 1-10 (b) 中, 由于人体分布电容的影响, 将造成振荡频率的漂移; 图 1-10 (c) 中, 由于分布电容的影响, 将造成电桥难以平衡并引入测量误差; 图 1-10 (d) 中, 分布电容将造成多极放大器的自激。

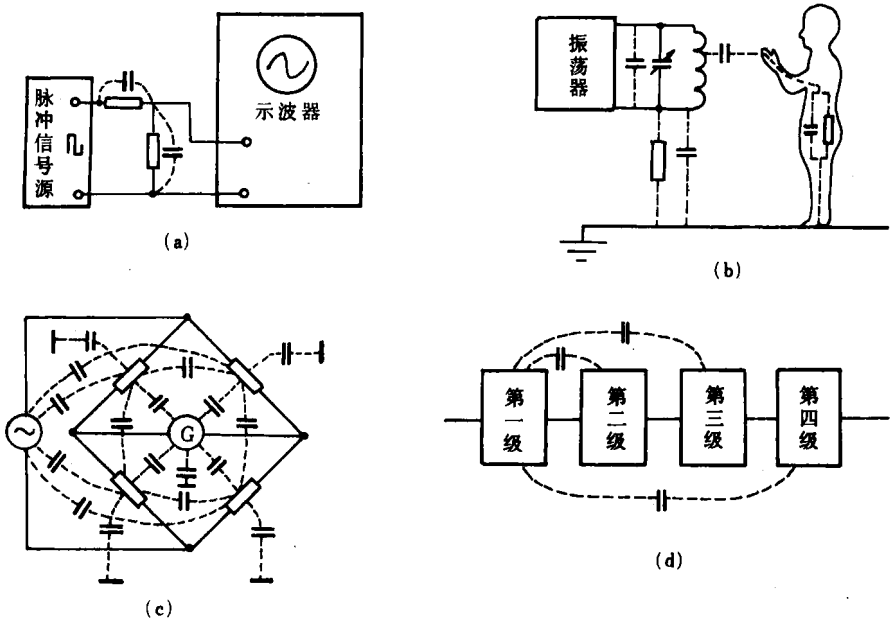


图 1-10 分布电容的影响

为了便于估计分布电容的影响程度, 表 1-1 列出了几种典型的分布电容数值。

表 1-1 几种典型分布电容的数值

类 别	容 量	类 别	容 量
编织隔离的 0.9mm 双绞导线	6.56pF/100mm	1/2W 碳质电阻, 端到端	1.5pF
高频隔离的 0.6mm 双绞导线	8.2pF/100mm	继电器线圈与骨架	50pF
两根直径 1mm 相距 2mm 的平行导线	2.0pF/100mm	20W 变压器初、次级间	0.001μF
两根直径 1mm 相距 10mm 的平行导线	0.9pF/100mm	20W 电烙铁芯与外壳	40pF
平行于机壳的导线与机壳间直径 0.5mm 相距 1mm	2.7pF/100mm	人站在绝缘体上对大地	700pF
直径 0.5mm, 相距 10mm	1.4pF/100mm		

3. 分布电感耦合

一根简单的导线, 在低频时可以看成一根理想的导体, 如图 1-11 (a) 所示。但在高频时, 其分布电感的影响便不能忽略, 图 1-11 (b) 是同一接线在高频时因分布电感及分布电容的不可忽略影响所表现出来的实际电路形式。其中 u_x 代表被测电压; u'_x 代表加在电压表输入端的电压。二者的差异取决于分布参数的大小及工作频率。由此所致的误差为 (f/f_0) 。其中, f 为工作频率, f_0 为分布电感及分布电容所形成的固有频率。

表 1-2 列出了几种导线的分布电感, 100MHz 时的感抗, 以及导线本身的电阻等数值。