

电子测量实验

郑家祥 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书较全面地介绍了在电子测量实验中,有关环境影响、接地技术、仪器输入阻抗的影响及使用范围的扩展,干扰及其抑制,测量装置的组建原则,提高测量精度的基本方法,实验结果的记录及数据处理,电子测量仪器的维护与检修等基本知识及若干带共性的问题。并分别拟订了适应不同程度需要的二十多个实验项目(包括电压测量、示波器测量、频率及时间测量、阻抗测量、波形分析测量、扫频测量、仪器检修等)。

本书可作为高等学校电子类各专业的实验教学参考书。也可供具有高中或中专以上文化程度的电子工业系统广大电子工程技术人员及实验室工作人员阅读。

电子测量实验

郑家祥 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张18¹/₂ 433千字

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷 印数: 20,001—6,700册

统一书号: 15034·2886 定价: 3.80元

目 录

第一章 基本知识	1	实验十八 时域反射法测量阻抗	162
§ 1-1 电子测量实验室概述	1	第六章 波形分析与测量	166
§ 1-2 使用电子测量仪器的 一般注意事项	7	实验十九 失真度的测量	166
§ 1-3 测量装置的组成	9	实验二十 调幅系数的测量	172
§ 1-4 电子测量实验中的干扰及其抑制	10	实验二十一 调幅度指示器的设计、 安装与调试	177
§ 1-5 测量装置的接地	15	实验二十二 用贝塞尔函数零值法 测量频偏	180
§ 1-6 输入阻抗的影响	22	第七章 扫频测量实验	185
§ 1-7 电子测量仪器使用范围的扩展	27	实验二十三 图象中频放大器的安装、 调试与测量	185
§ 1-8 提高测量精度的基本方法	32	实验二十四 扫频法测量阻抗	195
§ 1-9 电子测量实验的记录及数据处理	34	第八章 电子测量仪器的检修	196
第二章 电压测量实验	49	§ 8-1 电子测量仪器检修工作的程序	196
实验一 电压表检波器误差的研究	49	§ 8-2 电子测量仪器的常用修理方法	197
实验二 电压表波形响应的研究	59	§ 8-3 电子测量仪器检修实例	210
实验三 电子电压表的检定	66	实验二十五 电子测量仪器的检修	229
实验四 差值电压表的设计、安装与 调试	72	附录 I 部分电子测量仪器技术性能、 原理与使用	231
实验五 电压测量的应用	76	一 DA-24 型有效值电压表	231
第三章 示波器实验	83	二 DYB-2 型电压表检定仪	234
实验六 普通示波器的扫描与同步	83	三 DO-1 型标准补偿式电压表	237
实验七 普通示波器同步区域图的 测试与研究	90	四 XD-1 型低频信号发生器	241
实验八 脉冲示波器的使用及 脉冲波形的观测	93	五 XG-2 型超高频标准信号发生器	247
实验九 延时触发时基及双时基 系统模拟实验	102	六 SBM-10A 型多用示波器	252
实验十 示波器技术性能的测试	105	七 BT-3 型频率特性测试仪	257
第四章 频率测量实验	112	八 PFG-1B 型高频频谱分析仪	262
实验十一 低频频率的示波测量法	112	九 QBG-3 型高频 Q 表	272
实验十二 射频频率的差频测量法	119	十 E312 型电子计数式频率计	274
实验十三 频率的数字测量技术	124	十一 BS1 型失真度测量仪	277
实验十四 晶体振荡器频率稳定度 的测量	135	十二 BE-1 型调制度测量仪	279
第五章 阻抗测量实验	142	十三 PW-1 型外差式频率计	284
实验十五 Q 表应用 (一)	142	附录 II 分贝换算表	286
实验十六 Q 表应用 (二)	153	附录 III 感抗、容抗、频率图	287
实验十七 射频导纳电桥的应用	158	附录 IV 电路焊接知识	288
		附录 V 常用电子管的管脚接法	291

第一章 基本知识

§ 1-1 电子测量实验室概述

电子测量实验室(以下简称测量实验室),是进行电子测量实验必不可少的工作场所。由于电子测量实验一般需要对测量结果进行定量分析,因此,在方案正确的前提下,实验的意义往往取决于测量结果的精确程度。这一特点,决定了测量实验室在工作环境、设备配置、技术要求、规章制度及注意事项等方面,既与一般的电子学或电子电路实验室有若干共同之处,又有它自己的许多特点。

一 环境条件

电子测量仪器,是指由各种电子元器件及部件为核心组成的仪器。由于大多数电子元器件及部件都对温度、湿度、大气压、电源电压、振动、电磁场干扰等环境条件有程度不同的敏感性。因此,即使是同一型号甚至同一台电子测量仪器,当所处的环境条件不同时,它们可能具有完全不一样的实际精确度^①。

一个测量实验室应保证什么样的环境条件,这完全由各类电子测量仪器的技术要求及测量任务(或性质)所决定。随着标准化工作的普及与深入,国际电工委员会(IEC)自1971年起,正式通过《电子测量设备工作性能表示》(即359号公报)的推荐标准。以后又经过数次修订。该推荐标准中,把各类电子测量仪器按工作条件的严格程度分成五个组别,如表1-1所示。

表1-1 IEC推荐的工作组别

工作组别	工作条件说明
A	此环境适于标准实验室,用以进行校准或仲裁测量 ^① 。
B	这是一组室内环境条件。通常指一般的实验室及轻工业部门的工作场所。在仪器操作方面,要求细心。
C	通常指重工业部门的工作场所。
D	本组对环境不加控制,对仪器操作方面也无特别要求。
E	这是一组适于野外工作的特殊环境 ^② 。

① 影响量的具体变化范围可采用基准条件(见表1-3)或其它IEC标准给出的额定使用范围。

② 本组的具体细节可由厂方及用户专门协商确定。

对应于表1-1的主要影响量范围示于表1-2。

表1-1及表1-2中的基准值或范围的组合称基准条件(reference conditions),如表1-3所示^③。

实验室中所用的电子测量仪器,大多数都属于B组。

③ 参见郑家祥、陆玉新:电子测量原理,第八章,国防工业出版社,1980年。

④ 见IEC Publication 359, Expression of the functional performance of electronic measuring equipment, 1971.

表1-2 IEC推荐的主要影响量范围①

主要影响量	环境温度②	相对湿度	电源电压③	位置④
基准值 或范围 所有组	20°C、23°C或27°C ±1%	40~60%	额定值±1%	规定位置±1° (任意方向)
范围 的 数 值 极 限	A组	按IEC公报的有关规定或由厂方与用户协商确定		
	B组	+5~+40°C	30~70%	额定值±5% (任意方向)
	C组	-10~+55°C	10~90%	额定值±10% (任意方向)
	D组	-25~+70°C	5~95%	额定值±15% 任意位置
	E组	由厂方与用户协商确定		

- ① 表1-1及表1-2见IEC TC66/TC13: Draft standard for the expression of the performance of electrical/ electronic equipment for measurement, contron or analysis (Revision of Publication 359), 1980, 4.
- ② 对某些特殊的仪器, 其基准温度值需作明确规定。相应的容许变化范围仍如表中所示, 除非另有范围更小的规定。
- ③ 指有辅助电源的仪器。
- ④ 指无辅助电源的仪器。

表1-3 IEC推荐的基准条件

影 响 量	基 准 数 值 或 范 围	公 差
环 境 温 度	20°C、23°C、25°C、27°C, 未指明时为20°C	±1°C
相 对 湿 度	45~75%	
大 气 压 强	760 mmHg	待 定
交流供电电压	额 定 值	±2%
交流供电频率	50Hz	±1%
交流供电波形	正 弦 波	$\beta \leq 0.05$ ①
直流供电电压	额 定 值	$\frac{\Delta U}{U_0} \leq \pm 1\%$ ②
通 风	良 好	
太阳辐射热效应	避免直射	
周围大气速度	0~0.2 m/s	
振 动	测 不 出	
大气中沙、尘、盐、污染气体或水蒸汽、液态水等	均测不出	
工 作 位 置	按制造厂规定	±1°

- ① β 称失真因子, 即交流供电电压的波形应保持在 $(1 + \beta)A\sin\omega t$ 与 $(1 - \beta)A\sin\omega t$ 所形成的包络之中。
- ② ΔU 为纹波电压的峰-峰值, U_0 为直流供电电压的额定值。

对于国产电子测量仪器，早期尚无统一规定。一般都是在每种仪器的技术说明书中对使用时的环境条件提出要求。

1965年原第四机械工业部颁发的《无线电测量仪器总技术条件(草案)》中，规定所有电子测量仪器技术说明书中均应给出在特定的“正常条件”下的基本误差，并同时给出当环境条件偏离正常条件时所致的各项附加误差。

正常条件的数值或范围如表 1-4 所示。

表1-4 正常条件的数值或范围

影 响 量	数值或范围及其要求	影 响 量	数值或范围及其要求
环 境 温 度	$20 \pm 5^{\circ}\text{C}$	外界电磁场干扰	应 避 免
相 对 湿 度	$65 \pm 15\%$	外界机械振动和冲击	应 避 免
大 气 压 强	$750 \pm 30\text{mmHg}$	仪器负载、输入及输出功率、	符合技术条件规定
交流供电电压	额定值 $\pm 2\%$	电压、频率等	

1975 年原第四机械工业部新颁发的电子测量仪器五个基础性部标准[●]中，把电子测量仪器按环境条件分为如下三组：

I 组：在良好的环境中使用的仪器，要求操作时细心，只允许受到轻微的振动。

II 组：在一般的环境中使用的仪器，允许受到一般的振动和冲击。

III 组：在恶劣的环境中使用的仪器，允许在频繁的搬动和运输中受到较大的冲击和振动。

只有高精度计量用仪器才允许列入第 I 组，根据使用要求，这类仪器也可列入第 II 组或第 III 组。实验室用电子测量仪器通常为第 II 组。

对各组仪器所适应的环境条件，尚未作全面的规定。有些要求，目前还正在讨论。下面仅列出一些主要环境条件的额定使用范围：

1 环境条件

第 I 组： $+10 \sim +35^{\circ}\text{C}$

第 II 组： $-10 \sim +40^{\circ}\text{C}$ [●]

第 III 组： $-40 \sim +55^{\circ}\text{C}$

2 相对湿度

第 I、II 组不应超过 80%，第 III 组不应超过 90%。

3 供电电源

对交流电网供电的各类仪器，应保证在电源电压自额定值（220V）变化 $\pm 10\%$ ，且一般应在电源频率自额定值（50Hz）变化 $\pm 4\%$ 的情况下正常工作。

对由化学电源供电的仪器，应在仪器的技术条件中说明电源的规格和保证正常工作的小时数。

为了便于对各类仪器进行比较和校准，上述部标准中，还规定了一组基准条件，如表 1-5 所示。

● 电子测量仪器基础标准专辑，《无线电专业标准化通讯》，1975，第 3 期。

● 对此规定尚有争论。目前倾向于将此组按 0°C 下限及 -10°C 下限再分成两组。

表1-5 原第四机械工业部规定的基准条件

影 响 量	基 准 数 值 或 范 围	公 差
环境温度	20°C	± 2%
相对湿度	45~75%	
大气压强	650~800mmHg	
交流供电电压	220 V	± 2%
交流供电频率	50Hz	± 1%
交流供电波形	正 弦 波	$\beta = 0.05$ ①
直流供电电压	额 定 值	± 1%
直流供电电压的纹波		$\frac{\Delta U}{U_0} \leq 0.1\%$ ②
外电磁场干扰	应 避 免	
通 风	良 好	
阳光照射	避免直射	
工作位置	按制造厂规定	± 1°

①、② 参见表1-3注。

对从事电子测量实验的工作人员来说,每次进行实验前,应对实验室的环境条件作详细记录。首先要保证仪器应处于额定使用范围之内,否则不宜开机工作。一般情况下,只需记录温度、湿度及电源电压就行了。对于精密测量或计量,当要利用标准仪器的固有误差(或基本误差)来提高测量或计量的精度时,还应逐项考查基准条件(或正常条件)是否满足。

由于仪器误差往往是影响测量精度的主要因素,因此,当需要对实验结果的精度进行评定时,就应根据实际所处的环境条件来正确地估算仪器误差③。一般说来,不能把仪器技术说明书中给出的固有误差或基本误差就当成实际测量时仪器具有的误差。对于按IEC359号公报或原我国第四机械工业部1975年颁发标准生产的电子测量仪器,可直接用工作误差或第二工作误差④来作为仪器的估计误差限;对于按过去部标准生产的电子测量仪器(目前占绝大多数),应根据基本误差及各项附加误差求出仪器的总误差限。

二 供电电源

测量实验室的供电电源,通常都取自单相220V交流电网。对供电电源的最基本要求是电压的稳定度。由于目前国内电网的供电电压普遍存在着波动较大、负荷能力较差等现象,故一般的测量实验室均备有交流稳压设备。早期的交流稳压设备多采用铁磁饱和式稳压器。由于它体积十分庞大、笨重、稳压性能差,以及输出波形失真严重,因此目前已逐渐被电子交流稳压器所取代。

电子交流稳压器由自耦变压器、磁饱和电抗器及电子控制调节器等三部分组成。电压自动调整的基本原理是:当输出电压变化时,通过电子控制调节器以负反馈的形式自动将该变化去调节一个与输入自耦变压器相串联的饱和电抗器的电感量,从而达到稳定输出电压的目的。

③ 仪器必须是检定合格的。

④ 第二工作误差是按某一影响量或影响特性分段给出的工作误差。

图 1-1 示出了一种国产 VR 系列 2000VA 电子交流稳压器的原理电路图。

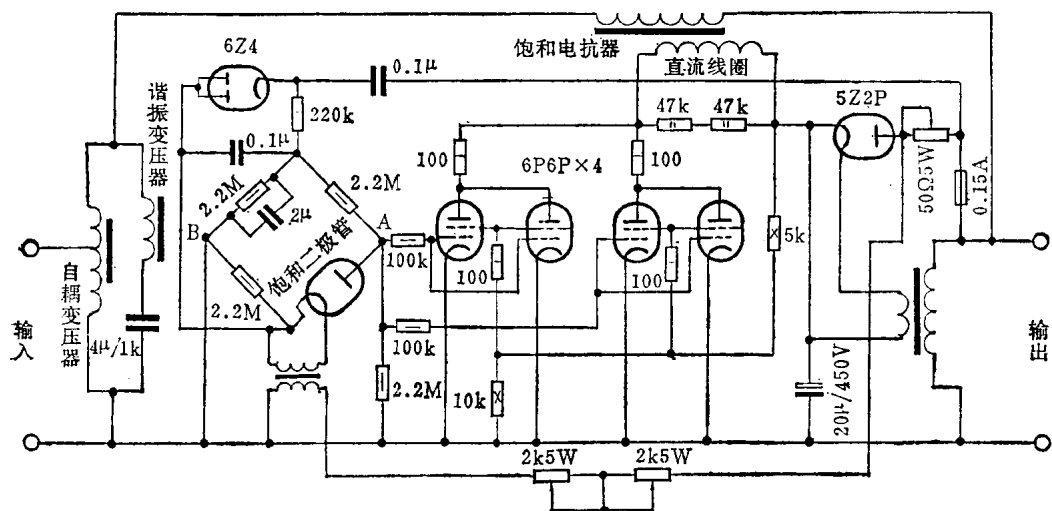


图1-1 VR系列2000VA电子交流稳压器原理电路图

图 1-1 中，电子控制调节器是由专门的 1D2P 饱和二极管桥式电路和直流放大器组成。调节器的输入端接在稳压器的输出端口上。当由于输入电压波动或负载改变等引起稳压器的输出电压变化时，饱和二极管的灯丝电压也随之变化，从而导致饱和二极管内阻的相应变化。该变化信号将从电桥的 AB 端输出，再通过直流放大器加至饱和电抗器，以控制其直流线圈中的直流分量，从而改变其交流感抗。由于饱和电抗器是与输入自耦变压器相串联的，因此，便可调整自耦变压器与饱和电抗器上的电压比及相位关系，于是保持了输出电压的稳定。

表 1-6 示出了上述 VR 系列电子交流稳压器的主要技术性能。

实验工作人员在进行实验前，应先把所有电子测量仪器及设备的电源断开，然后依次接通电子交流稳压器的低压开关和高压开关（有的稳压器合用一个开关）。这时饱和二极管将被点燃（可通过稳压器机壳散热孔看到二极管工作时发出的亮光）、调节输

表1-6 VR系列电子交流稳压器的主要技术性能

型 号	VR303	VR304	VR305
输出功率	500VA	1000VA	2000VA
输入电压	190~240 V		
电源频率	50Hz		
稳压精度	± 0.3 %		
电压调整率	± 0.3 %		
波形失真	<5%		
应变时间	<0.2s		
机箱尺寸	512×185×320(mm)		640×320×510(mm)
整机重量	28kg	32kg	62kg

出电压为 220V 额定值。如果发现饱和二极管不亮、输出电压不稳或无法调到仪器允许的使用范围时，应查明原因，待其工作正常后才能接通各仪器及设备的电源开关。当电网电压显著偏离额定值或波动很大时，也可以利用调压变压器来获得适于仪器工作的电压。但这样作需要特别小心，要随时监视调压变压器输出电压的变化。由于上述情况多发生在电网出现故障的时候，因此，对贵重、精密的仪器及设备（例如，计量仪器、各种精密的晶体管及集成电路化的电子测量仪器、各类电子计算机及其系统等）应禁止在电网供电不正常的情況下使用。

实验结束，应将所有仪器的电源断开，然后再依次断开电子交流稳压器的高压开关及低压开关。

三 日常维护

搞好电子测量仪器的日常维护工作，对减少仪器的故障、保持仪器的精度、保证使用安全，以及延长仪器使用寿命等，都有积极作用。一般的日常维护工作内容包括以下几个方面。

1 防尘

空气中悬浮着大量尘埃。它们不仅在仪器外壳积起灰尘，影响卫生，而且还会穿过仪器的散热窗口及缝隙等，沉积在元器件表面上。这些灰尘很容易吸收潮气，使元器件绝缘性能降低，若进入开关、继电器、可变电容器内，将造成接触不良并产生电噪声。

由此可见，注意防尘是很重要的。通常，为保持仪器外表的清洁，可用柔软的毛刷、干布，或沾有绝缘油（如变压器油）等的棉纱把仪器表面擦干净。如果没有绝缘油，也可用酒精或肥皂水代替。但清洁完毕后，一定要用干布把表面水分擦去，以免仪器受潮或引起表面脱漆处生锈。不要随便沾汽油、煤油、丙酮、香蕉水、四氯化碳及其它有机溶液拭擦仪器，以免破坏漆膜，使仪器表面失去光泽。如果这些溶液浸入仪器内部，还会严重影响电路的绝缘和高频性能，以及抹掉仪器或元器件的保护漆、编号、标志等。

长期不用的仪器，应套上布罩或塑料罩。也可用大块罩布或塑料布盖住。有的仪器，可放入配套的泡沫塑料盒内。有条件的，应将仪器放入专用橱柜内。

对仪器内部的积尘，可利用检修的机会或定期打开仪器面板、后盖、底盖等，用皮老虎及长毛刷吹刷干净。在清洁中应十分细心，防止损坏或松动电路中的元器件。对电子管或插接式印刷板不要随意拔下，以免拔坏或插错。

2 防潮

防潮是电子测量仪器（以及所有电子设备）日常维护工作中一项十分重要的任务。空气中的水份是一种导电物质。仪器吸入水份后就会受潮。若经常受潮，将引起绝缘材料的绝缘电阻减小、耐压降低，以致短路、漏电、打火、元器件烧毁。受潮后还会引起霉菌的繁殖、加速金属的腐蚀、造成电表及变压器等的线包被霉断。这些现象，是电子测量仪器常见的一类故障。

仪器受潮的程度与周围气候关系很密切。常温下，相对湿度小于 40% 时认为是干燥空气；当相对湿度大于 80% 时称为潮湿空气；相对湿度为 100% 时，空气中的水蒸汽达到饱和。

通常，当空气中相对湿度大于 65% 时，任何物体的表面都会附着一层厚度为 0.001~

0.01 μm 的水膜,空气中湿度为100%时,水膜厚度增加到10 μm 。除了湿度外,环境温度也有很大影响。一般说来,高温高湿季节(如夏天雨季)对仪器的影响特别严重。

常用的防潮措施是在仪器内部或存放仪器的橱柜内放置硅胶布袋作吸潮剂。干燥的硅胶为白色半透明的小颗粒。应定期检查硅胶是否结块,并注意及时更换新的。新购的仪器在装箱时,常把硅胶封于塑料袋中,应拆开取出放于布袋内。

此外,在存放仪器的橱柜内,可用60~100W的普通灯泡或在存放仪器的桌、架上用250W左右的红外线灯泡定期通电烘烤,每次2~4小时,也可防止仪器受潮。

对长期不用的仪器,应定期(3~6月不等)通电烘烤。每次使仪器通电工作2~3小时,利用仪器内元器件的发热来排潮。遇霉雨季节或长期未烘烤的仪器,通电前应先利用红外线灯烘烤一段时间,然后利用自耦变压器将电源电压降至190V左右,让仪器通电预热2小时左右。最后再将电源电压升至220V左右预热1~2小时。

最基本、最简单的防潮办法是经常掌握气候变化的规律,适当控制门窗的关闭及开放时间。具体作法是:在房间内安装一个干湿球温度计,当室内的相对湿度超过75%时,应关闭门窗。尤其在大雨前后、清晨及大雾天不宜开窗。天气晴朗时,应打开门窗通风排潮。

对精密及计量仪器、贵重设备等,有条件时,应配备空调装置。如果要利用仪器的固有误差,还必须满足基准条件的各项要求。

3 防腐

除了通过防潮的办法来防腐外,在实际工作中应避免各种酸、碱、盐及其它腐蚀性物质对电子测量仪器的影响。上述化工原料不应与仪器放在一起;实验室(及仪器存放室)不应烧煤取暖;使用化学电池的仪器如较长时间不用,应将电池取出,以免因电解液流出腐蚀仪器。

4 防震

电子测量仪器一般由各种电子元器件、接插件、开关、电位器、指示电表、调节机构等组成。当受到外界强烈震动时,就可能出现接插件松脱、磁性材料震裂、电感线圈变形或移位、机械传动部分损坏、电表卡针、电子管(包括示波管及显象管)玻壳破裂及内部电极断路或短路等各种现象。因此,在使用仪器时要细心,严禁猛敲仪器外壳及猛拧仪器旋钮。搬运仪器时应小心轻放。对精密、贵重的仪器,应专人保管、固定位置存放。

除了以上几方面外,日常工作中还应制订一套合理的实验室规章制度。其中包括建立仪器的使用记录或履历卡,以便及时发现问题、防患于未然,且便于检修。

§ 1-2 使用电子测量仪器的一般注意事项

电子测量仪器的类型很多,各有自己的使用特点。但下面列出的若干注意事项,对一般的实验用仪器是有普遍指导意义的。掌握这些知识,可以减少测量中的误差、防止损坏仪器或被测电路,也可以防止发生人身事故。

1 使用前应阅读技术说明书或关于仪器使用方法的资料。即使对实践经验比较丰富的人,当使用不熟悉的仪器时,也应作到这一点。切忌盲目乱用。有的正规测量实验室,还将使用记录或履历卡同仪器放在一起。使用仪器前,应查阅履历卡中有无特别说

明。如使用中发现有异常现象,应及时报告实验室管理人员并记载于履历卡中。

2 当需要对实验数据的精度作定量分析时,应了解所用仪器是否具有周期检定的合格证书。没有检定合格证书或该证书已过期的仪器,只能作粗略或定性的测量。

对精密的实验,往往还要求实验室提供所用仪器经周期检定后的修正值(包括修正曲线、公式、数表等)。

3 接通电源前,应先检查仪器的量程、功能、频段、衰减、增益、时基、极性等旋钮及开关,是否有松脱及滑位、错位等现象。发现时应及时修复,然后将上述各旋钮及开关置于需要位置。当对被测对象不太了解时,一般情况下应把仪器的“增益”、“输出”、“灵敏度”、“调制”等旋钮置于最小部位;将“衰减”、“量程”等旋钮置于最高部位。要注意被测电路中是否含有直流高压以及该直流高压是否超出了仪器的耐压能力。必要时应加隔直电容器。有时,被测电路中的直流成份会影响某些仪器的测量结果,这在选择及使用仪器时要特别小心。例如,一工作正常、输出电压为12V的直流稳压电源,其输出端的纹波电压很小,通常只有几毫伏。但用一般的万用表交流电压档去测量时,就会发现电表的读数竟高达13V左右(对全波整流式交流电压表)甚至26V左右(对半波整流式交流电压表)。要弄清楚出现这种现象的原因,就需事先对所用仪器的工作原理加以研究(参见本书实验二:电压表波形响应的研究)。

4 接通电源前,应仔细检查实验装置的各联接线是否有接错和短路现象。要特别注意地线的联接(详见§1-5)。测量时,要先接地线再接高电位端;测量完毕,要先去掉高电位端再去掉地线。

5 要注意仪器的预热。电子测量仪器都必须经过足够的预热时间,工作性能才能稳定。仪器的技术指标只有在保证预热时间后才有效。预热时间的长短因不同仪器而易。对一般精度要求不高和较简单的仪器(如普通电子电压表、通用示波器、万用电桥等),需5~15分钟;对精度较高及电路较复杂的仪器(例如,标准信号发生器、精密电桥、数字式电压表及数字式频率计等),往往需要30分钟至1~2小时。对于某些高稳频率源、频率标准,预热时间甚至要一天或几天以上。在一般精度要求不高的电子测量实验中,通常预热10~30分钟已能满足要求了。

6 不少电子测量仪器需要在使用前进行调零。调零的基本原则是:当无任何信号(被测的或外界干扰的)输入时,应调节仪器的读数刚好指零或某规定值。调零的方式分机械调零和电气调零两种。

对以电表作指示器的测量仪器,应在接通电源前先观察表针是否刚好指到零或某规定值。如有差异,可用螺丝刀轻轻调节电表外壳的调零螺杆,改变表针初始位置,达到机械调零的目的。机械调零完毕后,才进行电气调零。

电气调零应在仪器通电并经充分预热后再进行。为保证无外界信号进入仪器,调零时应将仪器输入端短路。有些多用电表,有不同功能(例如,测直流电压、交流电压、直流电阻)及不同量程,设有独立的电气调零旋钮,使用时要加以注意。有些仪器,由于内部直流放大器工作点漂移较为严重,每次测量前都应进行调零。

7 开机通电后,如发现仪器内部的变压器发出反常的嗡嗡声、喇叭声或有焦味、冒烟等现象,应立即切断电源进行检查。如发生烧保险丝现象,应在仔细检查电源电压、外部接线和负载情况后,再换上相同容量的保险丝重新通电。严禁随意加大保险丝容量。

如第二次通电又烧保险,则说明故障尚未排出。应确实查清故障并加以排除后,再换上相同容量保险丝重新通电。

8 对于内部装有电风扇作强制通风的电子测量仪器,开机通电后要注意电风扇是否运转正常。如发现叶片不转或转动时噪声太大、转速不稳等,应加润滑油或拆下检修。高温季节进行测量实验时,可用外部的电风扇进行强制通风,连续实验时间也不宜太长。

9 目前,有不少电子测量仪器都附有内部校准装置。例如,电子示波器的幅度(或偏转灵敏度)校准及扫速校准、电子计数器的频率及周期校准、数字电压表用基准电压进行校准等等。利用内校装置,可以有效地消除仪器因元器件性能不稳及老化等造成的系统误差,从而提高测量精度。通过校准,还可判断仪器各电路单元是否工作正常(参见实验十三:频率的数字测量技术)。对于没有内校装置的仪器,也可进行类似的校准。例如,用已知的标准(甚至普通的)电容、电感或电阻,去校准(或比对)电桥、Q表、欧姆表等的读数;利用精度足够高的标准信号发生器输出的电压去校准电子电压表的读数或示波器的偏转灵敏度及扫描频率等。

10 要特别注意安全操作。要养成单手操作的习惯;当被测对象的电压较高时,要先检查测量笔或测量探头的绝缘是否良好,手不要接触高电位点;测量完毕后要及时拆去接线,并将电压表、电流表等置于高量程处;碰到打火、元器件冒烟、电解电容器爆裂及其它意外事故时,要冷静,首先切断电源。切忌尖叫、乱跑,以免造成额外损失。

§ 1-3 测量装置的组成

目前,绝大多数通用电子测量仪器都只具有一种或几种功能,要完成一项电参量的测量或实验,往往就需用一台或几台电子测量仪器及辅助设备、附件等组成一套测量装置。例如,要研究各类电子电压表对不同波形电压的响应,就需要由多波形发生器(或函数发生器)、各类电压表、电子示波器等组成一个测量装置;测量一个放大器的非线性失真,需由信号发生器、待测放大器、失真度仪、供放大器用的直流稳压电源组成一个测量装置,等等。

一项实验究竟由哪些型号的仪器及设备来组成测量装置,这是根据实验任务、要求、并结合实验室具体条件来决定的。方案确定以后,为了保证仪器的正常工作和一定的精度,在现场布置和接线方面,需注意以下几个问题。

一 便于观测

各仪器的布置应保证读取测量结果时视差小、不易疲劳(例如,指针式仪器不宜放得太高或太偏)。

二 便于操作

应根据不同仪器面板上可调旋钮的布置情况来安排其位置,使调节起来方便舒适。例如,对需要调节谐振或平衡状态的仪器,应便于实验人员用右手肘部支撑桌面,以达到调节灵活的目的。

三 安全稳定

当必须把两台仪器重叠放置时,应把体积小、重量轻的放在上面。有的仪器把大功率晶体管安装在机壳外面,重叠仪器时,注意不要造成短路;对于功率大、发热多的仪

器, 要注意本身的散热和对周围仪器的影响。

四 接线要短

仪器的布置要力求接线尽量短, 如图1-2(a)、(d)所示。

对于高增益、弱信号或高频的测量, 应特别注意不要将被测件的输入与输出接线靠近, 以免引起信号的串扰及寄生振荡, 如图1-2(b)、(c)所示。

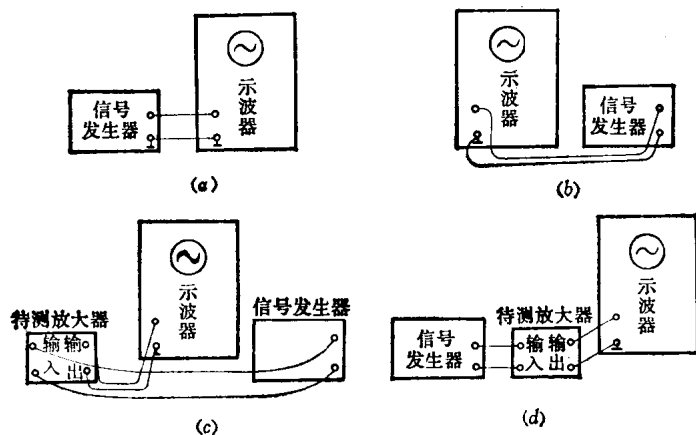


图1-2 仪器之间的联接

(a) 正确; (b) 不正确; (c) 不正确; (d) 正确。

§ 1-4 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仪器。

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、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。任何天体的巨烈变化、太阳的磁爆、天空的雷电，以及其它静电电源的快速放电等，都会形成天电干扰。

4 工频干扰

工频干扰通常是指由于50Hz 交流电网强大的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、氛管等），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

通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 1-3 所示。

图1-3(a)中，接地电阻 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1-3(b)中的接地电阻 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）以及各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（参见本书实验 3）。

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 1-4 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。

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

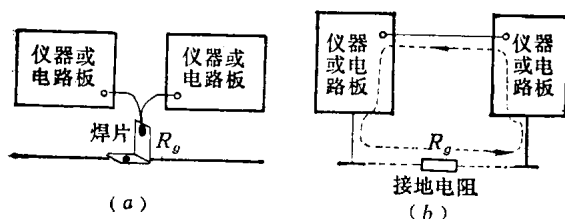


图1-3 接地电阻耦合

(a) 焊片接触电阻；(b) 地线自身电阻。

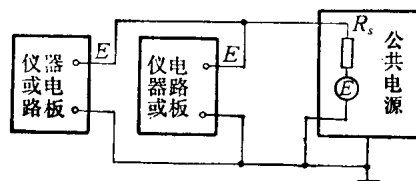


图1-4 电源内阻耦合

复杂的分布电容。当工作频率较高时，这些分布电容的影响便不能忽略不计。严重时，将造成测量结果的巨大误差。图1-5示出了几种分布电容的典型例子。

图1-5(a)中，由于分布电容的影响，将造成输出波形的失真；图1-5(b)中，由于人体分布电容的影响，将造成振荡频率的漂移；图1-5(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1-5(d)中，分布电容将造成多级放大器的自激。

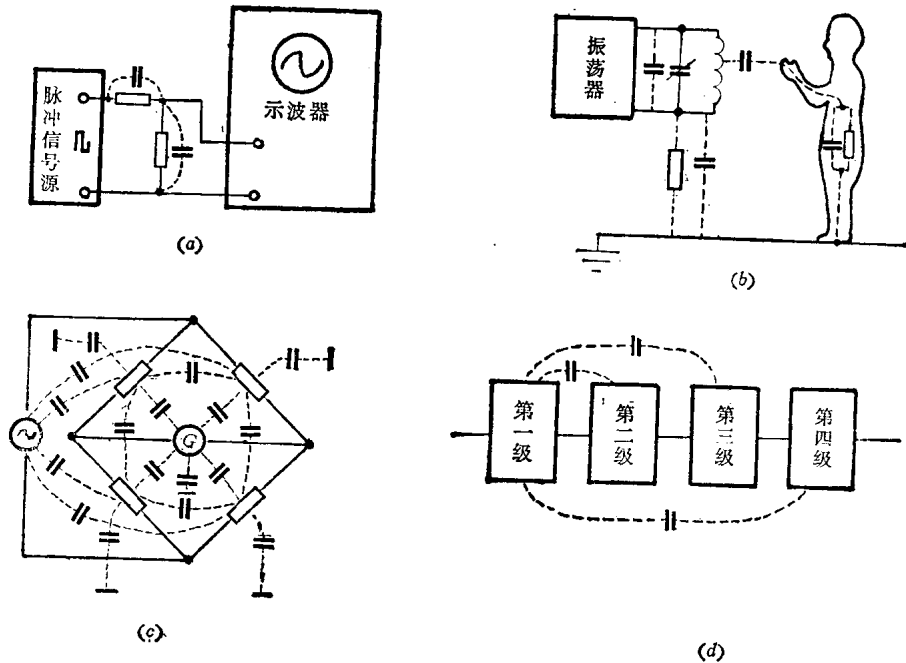


图1-5 分布电容的影响

为了便于估计分布电容的影响程度，表1-7示出了几种典型的分布电容数值。

表1-7 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	2.7pF/100mm	人站在绝缘体上对大地	700pF
相距 1mm	1.4pF/100mm		
直径 0.5mm，相距 10mm			

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1-6(a)所示。但到高频时，其分布电感的影响便不能忽略。图1-6(b)是同一接线在高频时因分布电感及分布电容的影响不可忽略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

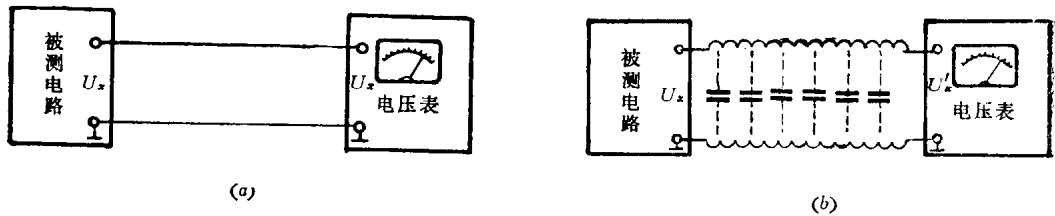


图1-6 分布电感及电容的影响
(a) 低频时的电路; (b) 高频时分布电感及电容的影响。

误差为 $(f/f_0)^2$ 。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 1-8 示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。

表1-8 几种导线的电阻、电感和感抗

导线直径 (mm)	50 mm 长		100 mm 长		200 mm 长		100 mm 长的导线 电阻 (Ω)
	电感 (μH)	感抗 (Ω)	电感 (μH)	感抗 (Ω)	电感 (μH)	感抗 (Ω)	
0.1	0.07	44	0.15	94	0.33	207	0.22
0.5	0.05	31	0.12	75	0.26	163	8.9×10^{-3}
1.0	0.04	25	0.10	63	0.23	144	2.3×10^{-3}
2.0	0.035	22	0.08	50	0.20	126	5.6×10^{-4}

对于测量装置中的电感线圈、各类变压器、扼流圈, 尤其要防止通过互感及电磁耦合形成的非正常信号通道。

(二) 电磁辐射耦合

当实验装置的工作频率较高时 (一般在几百千赫以上), 过长的信号传输线、控制线、输入及输出线等, 均会呈现出一定的天线效应。它们不仅会将测试信号辐射出去, 构成非正常通道, 而且也会吸收其它非正常通道辐射来的测试信号及各种干扰信号。

三 干扰的抑制方法

一般说来, 干扰的来源和途径都很复杂。在实验过程中, 应根据具体情况采取相应的措施对干扰加以抑制。下面介绍几种常用的方法。

1 减少干扰电平或避免干扰源的影响

减少干扰电平最有效的措施是对干扰源进行电磁屏蔽。一般的强干扰源 (例如, 工业用的高频感应炉等) 在设计安装时已对此作了充分的考虑。然而, 对某些干扰源, 也可采用比较简单的方法有效地减少其干扰电平。例如, 对电路中的继电器, 为了避免它在通断瞬间产生电火花形成强烈的电磁干扰, 可以在二触点间加 RC 吸收回路, 如图 1-7(a) 所示。或者在触点两端加灭弧电容, 如图 1-7(b) 所示。

当无法将干扰电平减少时, 将实验时间与干扰源工作时间错开, 是避免干扰最简单的方法。如遇临时发生的短暂干扰, 应在干扰结束后再进行测量。

2 减小公共耦合电阻

为减小公共耦合电阻中接地电阻的影响, 对电路中接地点的选择、印制板地线的设

● 参见郑家祥、陆玉新: 电子测量原理, 第十章, 226页, 国防工业出版社, 1980年。

设计等应认真考虑。例如,对实验中的联接地线,要选用直径粗的多股铜心线以减小接电阻和高频时的趋肤效应。

为了减小公共耦合电阻中直流电源内阻的影响,对高频、高增益及信号电平相差悬殊的仪器及实验底板,最好不要公用一个直流电源。如要公用,应选择内阻尽量小的直流稳压电源。此外,还可采取退耦措施。图1-8示出一种最简单的退耦电路。

3 减小分布参数的影响

为了减小分布参数的影响,要合理布局实验底板的元器件位置;高增益及高频电路的输入与输出端要彼此远离,最好加以屏蔽;操作时,人体不应太靠近测量装置中的高频部分;高频信号的传输要采用金属屏蔽线,等等。

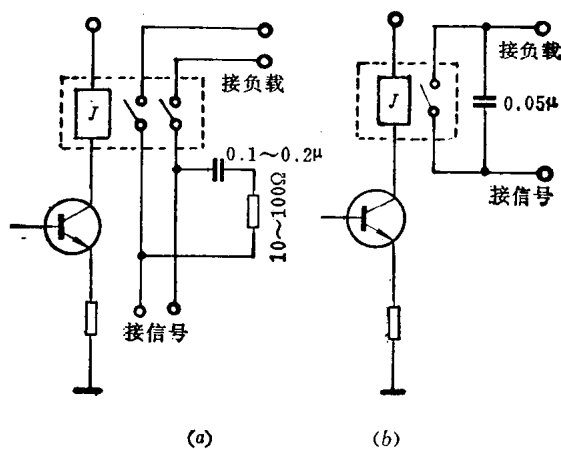


图1-7 减少继电器干扰的措施
(a) 加RC吸收回路; (b) 加灭弧电容。

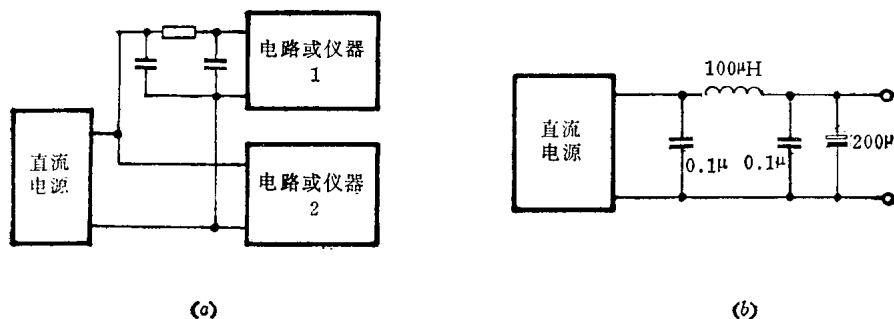


图1-8 直流电源的退耦电路
(a) RC退耦网络; (b) LC退耦电路。

为了减小分布电感的影响,实验中的接线应尽量短,交流、直流、强信号、弱信号等的连线应分开;实验底板上的各线圈、变压器及扼流圈要合理安排位置(例如,互相垂直安装以减小互感),必要时应加以屏蔽。

特别应注意的是电源变压器。由于实际工作中,有许多干扰源和实验中所用的仪器都共用同一个50Hz电网电源。因此,电源变压器初级线圈在把220V电网电压耦合到其次级以提供能量的同时,也把串入电网中的干扰信号一齐耦合到仪器或实验底板的电路中去,影响测量结果。为了减小串入电网中的干扰电压对实验的影响,可以在实验底板或有关仪器的电源变压器初级线圈进线部分加入干扰抑制网络,如图1-9所示。

4 提高测量过程中的信噪比及实验电路本身的抗干扰能力

提高信噪比的办法:一是通过上述三种方法减少干扰及噪声的影响;二是提高信号电平。例如,在图1-10所示的两种衰减器接法

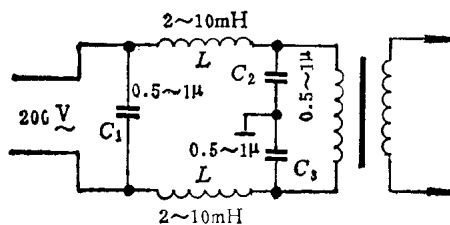


图1-9 干扰抑制网络