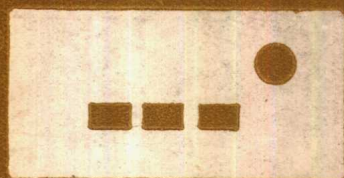


003540



高等学校电子类技术基础课实验系列教材（一）

电子测量技术与仪表

潘洪福 蒋正义 刘懋维 王晓亚 编著

科学技术文献出版社重庆分社

高等学校电子类技术基础课实验系列教材（一）

~~051003~~

电子测量技术与仪表

潘洪福 蒋正义 编著
刘懋维 王晓亚

127792

科学技术文献出版社重庆分社

内 容 简 介

本书是为学习电子测量技术而编写的,是电子技术基础实验课系列教材之一。

全书包括三大部份。第一部份扼要介绍基本实验知识及基本测量理论。第二部份阐述电子线路实验中常用的测量技术,包括电路元器件参数测量、电流电压测量、电信号参量测量及其频谱分析,对测量的误差分析和数据处理知识也作了必要的介绍。第三部份为常用仪器仪表的工作原理及使用方法。

本书可供各类高等院校电子类专业师生使用,也可供涉及电子测量工作的工程技术人员参考。

高等学校电子类技术基础课实验系列教材(一)

电子测量技术与仪表

潘 洪 福 蒋正义 编著
刘 懋 维 王晓亚
责任编辑 王一富

科学技术文献出版社重庆分社 出 版
发 行

重庆市市中区胜利路132号

全 国 各 地 新 华 书 店 经 销
中国科学技术情报研究所重庆分所印刷厂 印 刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 22.75 字数: 58万

1991年2月第1版 1991年2月第1次印刷

科技新书目: 225—331 印数: 1—9500

ISBN7-5023-1181-5/TN·13 定价: 8.50元

前 言

电子线路是一门实践性极强的学科,对理工科大学生,掌握这门学科的实验技术和测量技术是十分重要的。

为适应教学改革和加强实验教学的需要,重庆大学、重庆邮电学院、中国人民解放军重庆通信学院联合编写了为实验单独设课所需的电子类技术基础课实验系列教材。即《电子测量技术与仪表》、《电路、信号与系统实验》、《电子线路实验》、《脉冲与数字技术实验及应用》。本教材为该系列教材的第一分册。

本书既有基本测量理论,又有实用测量方法,理论联系实际,特别突出了实用性,并具有自身的系统性。结合实践学习这本书,对掌握测量技术及常用测量仪器,对提高学生的实际工作能力是大有帮助的。

第一篇为基本测量技术,结合电子线路实验中各种电参量测量的需要,着重对电压测量、电路元器件参数测量、频率时间和相位测量、示波器测量等,作了较为详细的介绍。为了加深学生对实践课重要性的认识,在第一章实验导论中,用一定篇幅阐明了实验的地位、作用和实验中的基本知识。

第二篇,除介绍常用仪器仪表的性能及工作原理外,着重对测试方法作了详细介绍,如晶体管特性图示仪使用部份,凡实验中常用器件的测量方法,均作了介绍。因此,本书既可作为实验系列教材配套使用,也可单独作为测量工具书使用。在仪器选型上,既立足于当前高等院校现有仪器状况,又照顾到今后仪器更新趋势,因而既有一定数量的常用仪器,更有较多数量的新型仪器,如晶体管特性图示仪、示波器和数字仪器等,均为较新型的全晶体管化的或晶体管集成电路混合式的(如便携式双踪示波器),或大规模集成单片式(通用计数器)的仪器。对测试功能相近或同类的多种仪器,只择其一重点介绍,其余的则着重介绍不同之处,以减少篇幅和提高全书的紧凑性。为了在仪器使用中对出现的常用故障能进行一般处理,并为换用器件提供方便,在附录一、二中分别介绍了电子仪器的基本维修方法和国内外器件(晶体管、集成电路)的有关资料。

本教材由重庆大学蒋正义、重庆邮电学院刘懋维、中国人民解放军重庆通信学院潘洪福、王晓亚联合编写,潘洪福任主编。

第一篇第一、二、三、四、八章由潘洪福编写,第五、七章及第二篇的第六、七、八、九章由蒋正义编写,第二篇的第一、二、三、四、五章及附录部份由刘懋维编写,第一篇第六章由王晓亚编写。在编写过程中,重庆大学陈耀华老师提供了COS5020/5021型双踪示波器、459型函数发生器的英文译文资料,并在本书出版过程中做了一定工作。

本书由重庆大学李时光副教授担任主审,他对本书的初稿提出了许多宝贵的修改意见,编者谨向他表示诚挚的感谢!

由于编者水平有限,书中缺点错误在所难免,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

一九九〇年八月

目 录

第一篇 常用测量技术

第一章 实验导论	(1)
第一节 实验的基本知识	(1)
第二节 实验中的干扰及其抑制	(3)
第三节 接地问题	(8)
第四节 输入阻抗的影响	(11)
第二章 电子测量概述	(13)
第一节 电子测量的意义与特点	(13)
第二节 电子测量的内容和方法	(14)
第三节 电子测量仪器分类	(15)
第四节 误差的基本概念	(16)
第五节 电子测量技术的发展	(18)
第三章 电流、电压的测量	(21)
第一节 测量高频电流和电压的特点	(21)
第二节 热电式电流表	(22)
第三节 电压的测量	(22)
第四节 增益和损耗的测量	(46)
第四章 电路元器件参数的测量	(48)
第一节 电阻的测量	(48)
第二节 电容的测量	(49)
第三节 电感的测量	(51)
第四节 电桥法的误差分析	(53)
第五节 品质因数的测量和Q表的应用	(53)
第六节 阻抗测量的数字化与自动化	(56)
第七节 变压器的测量	(59)
第八节 晶体管共发h参数的测量	(62)
第九节 晶体管参数的图示方法	(63)
第十节 晶体管特征频率 f_T 、功率增益 K_P 和噪声系数 N_F 的测量	(68)
第十一节 集成运算放大器参数的测量	(72)
第五章 波形测试技术	(75)
第一节 波形显示原理	(75)
第二节 示波器的工作原理	(81)
第三节 示波器的使用方法	(93)
第六章 时间频率和相位的测量	(102)
第一节 时间频率标准	(102)
第二节 频率的测量	(106)
第三节 时间的测量	(110)

第四节 提高电子计数器测量准确度的若干方案	(114)
第五节 频率稳定度的测量	(121)
第六节 扩频方案	(126)
第七节 相位的测量	(127)
第七章 电路的频率特性及波形参数的测量	(134)
第一节 扫频测量的原理	(134)
第二节 信号的频谱分析	(140)
第三节 已调波参数的测量	(143)
第四节 非线性失真的测量	(151)
第八章 误差分析与数据处理	(157)
第一节 测量误差的分类与测量结果的评定	(157)
第二节 随机误差	(161)
第三节 系统误差	(175)
第四节 测量数据的处理	(181)
第五节 最佳测量方案的选择	(185)

第二篇 常用电子测量仪器

第一章 万用表	(188)
第一节 500型万用表	(189)
第二节 其它型号万用表	(194)
第二章 元件参数测量仪器	(197)
第一节 QS-18A型万能电桥	(197)
第二节 QBG-3型高频Q表	(201)
第三章 电子电压表	(205)
第一节 GB-9B型真空管毫伏表	(205)
第二节 DA-16型晶体管毫伏表	(208)
第三节 HFJ-8型超高频毫伏表	(209)
第四节 其它型号电压测量仪表	(210)
第四章 信号发生器	(213)
第一节 低频信号发生器	(214)
第二节 高频信号发生器	(221)
第三节 脉冲信号发生器	(230)
第五章 失真度测量仪	(236)
第一节 BS1、BS2型失真度测量仪	(236)
第二节 SZ-3型失真度测量仪	(238)
第六章 电路特性及信号波形分析仪器	(241)
第一节 PFG-1B高频频谱分析仪	(241)
第二节 BT-3A型频率特性测试仪	(251)
第三节 BT-5高频频率特性测试仪	(256)
第四节 BE-1A型调制度测量仪	(257)
第七章 晶体管特性图示仪	(263)
第一节 GH4821型半导体管特性图示仪	(263)

第二节 QT-2型晶体管特性图示仪·····	(282)
第八章 示波器·····	(287)
第一节 SR-20型双踪示波器·····	(287)
第二节 SBR-1型二线示波器·····	(294)
第三节 Cos5020/5021双踪示波器·····	(298)
第四节 BS601双踪示波器·····	(307)
第五节 CS1022/1012双踪示波器·····	(309)
第九章 数字式仪器·····	(314)
第一节 E312A型通用计数器·····	(314)
第二节 SF系列频率计数器·····	(321)
第三节 SS3341型频率计数器·····	(324)
第四节 FC系列数字频率计·····	(326)
第五节 DYJ-2A型数字电压表·····	(329)
第六节 DT-830数字万用表·····	(333)

附录一 常用电子测量仪器的维护与检修

附录二 常用半导体器件与集成电路型号命名法

第一篇 常用测量技术

第一章 实验导论

实验教学是高等学校教学活动的重要组成部份,是提高教学质量的重要环节,它不仅起到验证理论或做为理论教学的补充,更重要的是起到对学生能力培养的作用。总的来说,科学实验是科学发展的基础,它一方面和理论密切相联系,另一方面又和技术发展分不开。因此,培养善于从事科学实验而有突出创造性贡献的人材,是我国科学技术现代化的关键。

第一节 实验的基本知识

一、实验的意义、地位

什么是科学实验?它是人们依据一定的研究目的,利用科学仪器、设备等物质手段,人为的控制或模拟自然现象,使自然过程或生产过程以比较纯熟或典型的形式表现出来,因此,它是一种在有利条件下研究自然规律的方法。科学实验已成为一门新的学科——实验工程学,这门学科经历了很长的历史发展过程。

古代的自然科学,基本上是以直接的生产经验和对自然界的直观为基础的。天文学是发展最早的一门学科,这是由于人类最早的生产活动是畜牧业和农业。但是,即使在古代自然科学的研究中就已经包含着科学实验的萌芽。例如,我国战国时期的墨家学派对平面镜、凹面镜、凸面镜以及针孔成象等进行了实验和研究,并且发现了空间位置、大小和镜面曲率之间的关系。《墨经》就有许多光学实验的记载。古希腊学者、静力学的奠基人阿基米德,在公元前三世纪就运用实验方法研究了斜面、杠杆、滑轮的规律,发现了浮力定理。但是,从古代科学整体来看,这种早期的科学实验毕竟是个别的事例,科学实验尚未形成一种系统工程。

十六、十七世纪,欧洲资本主义迅速发展,科学实验从生产中分化出来,得到了比较系统的、相对独立的发展。恩格斯指出,只有近代工业的发展不但提供了大量可供观察的材料,而且自身也提供了和以往完全不同的实验手段,并使新的工具制造成为可能。可以说,真正有系统的实验科学,这时候第一次成为可能。例如纺织业、钟表制造业和枪炮制造业等推动了力学的实验和研究,染色、冶金、酿酒等工业促进了化学的实验和研究。

在近代科技史上,明确地阐述科学实验的特点和作用并运用实验方法取得重大成果者,应首推英国哲学家弗兰西斯·培根和意大利科学家伽利略。被马克思誉为“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”的培根,在《新工具》等著作中,明确提出“科学应该是实验的科学”,他深刻揭示了实验的重要性。伽利略是运用实验方法打开近代科学之门的 大师,爱因斯坦称他为“近代自然科学之父”。他在力学研究中获得的重要成果,都是在他亲自参加的科学实验中取得的。事实上,所有自然科学的理论都离不开科学实验,通常都是在实验的基础

上总结出来的，或者要为实验所检验。总之，没有实验就没有科学。

同时，科技史也表明，实验和理论是辨证的关系，两者是紧密联系、不可偏废的。科学理论的产生、验证和发展依赖于实验。科学实验离不开理论思维的指导，从实验课题的选择、实验的构思和设计、实验方法的确定、实验数据的处理，以及由实验结果提出科学假说、作出科学的结论等，都始终受理论所支配。

我国著名科学家张文裕在为《著名物理学实验及其在物理学发展中的作用》一书所写的序言中，也精辟论述了科学实验的重要地位。他说：“科学实验是科学理论的源泉，是自然科学的根本，也是工程技术的基础”。又说“基础研究、应用研究、开发研究和生产四个方面如果结合得好，经济建设和国防建设，势必会兴旺发达。要把上述四个环节紧密贯穿在一起，必需有一条红线，这条红线就是科学实验。”

二、实验教学的目的是和分类

1. 实验教学的目的

实验教学的目的主要有以下两点：

(1) 帮助学生进一步掌握重要的基础理论，培养学生分析问题和解决问题的能力。

(2) 培养学生具有高级科技人材所必需的科学实验能力和素质，包括：

①掌握本专业常用仪器的基本原理和测试技术，并有独立操作的能力，能对实验结果进行分析；

②熟悉本专业范围内一般实验程序和获得科学结论的实验方法，能组织、设计实验；

③养成勤奋、进取、严肃认真、理论联系实际、求实的严密的科学方法和对科学事业奋斗到底的品格；

这些实验能力和素质的形成过程，实际上是一种专门人材综合能力的训练过程。

实验教学的形式可以是属于某门课程，作为该教学过程中一个辅助教学环节，也可以同理论教学并行，单独设置实验课。随着科学技术的进展，实验工程技术已发展为具有系统理论的科学，人们开始认识到实验单独设课，容易形成实验教学体系，使实验室的管理专业化、科学化，有利于调动师生积极性，加强学生独立实验能力的训练，达到实验教学的目的。国外有的高等院校，单独开设的实验课有十九门之多，国内高等院校单独开设实验课的趋势也日益增多。

2. 实验的分类

实验按性质分，可分为验证性实验、训练性实验、综合性实验和设计性实验四大类。

验证性和训练性实验主要是针对某一门学科范围内理论验证和实际技能的培养，着重于奠定基础。这类实验除了巩固加深某些重要的基础理论外，主要在于帮助学生认识现象、掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。

综合性实验属于应用性实验，是在经过一定基础实验之后，针对一门或几门课程中的几个相关的教学内容而安排的。这类实验侧重于某些理论知识的综合应用，其目的是培养学生综合应用所学理论的能力，解决较复杂的实际问题的能力。开阔学生的思路，增长学生的科学知识。

设计性实验既有综合性又有探索性，它主要侧重于某些理论知识的灵活应用。例如新器件的应用、完成特定功能电子电路的设计、安装和调试等。其进行方式可以是教师给定题目；或由学生自选课题，学生在教师指导下独立地进行查阅资料、设计方案与组织实验等项

工作。这类实验对于培养学生的创造力和丰富的想像力、提高学生的素质和科学实验能力是非常重要的。

为了达到实验教学目的,组织实验教学中,应千方百计调动学生的积极性,充分发挥学生的主动精神,促使其独立思考、独立完成实验并有所创造,具体可分为以下四步:

(1) 讲好实验导论课,使学生明确实验目的、要求以及考核标准和方法,了解必要的基础理论知识,如误差理论、数据处理知识等。

(2) 组织好实验预习,通过预习,使学生熟悉实验原理,明确实验任务及步骤,学会仪器的正确使用。

(3) 指导学生做实验(包括组装、调试仪器和实验设备,操作、观察、记录、分析实验现象和结果等),这是实验课的中心环节。

(4) 学生完成实验报告,进行实验课的全面总结。要求学生用简明的文字和图表将实验过程和结果以报告的形式完整而真实地表达出来。

第二节 实验中的干扰及其抑制

在电子测量中,经常遇到各种各样的干扰,它们使电子仪器工作不稳定,严重时甚至难以进行正常测量。

干扰来源于干扰源。为了抑制干扰,首先应对干扰源进行分析,然后才能设法抑制干扰的影响。

一、干扰的分类

按照干扰的性质,干扰可分为:电场干扰、磁场干扰及电磁场干扰。

按照抑制干扰的可能性,干扰可分为自然干扰及人工干扰。自然干扰只能采取消极的干扰措施。人工干扰是指各种电气设备所产生的干扰,包括电子设备本身内部产生的干扰以及其它的外部电气设备所产生的干扰。抑制人工干扰可以采取积极的和消极的防干扰措施。

属于自然发生的干扰有:宇宙干扰(由地球以外的能源,其中包括太阳能产生的无线电辐射);地球大气的放电干扰;地球大气热辐射产生的干扰(水蒸气及分子氧等),大气中的水蒸气、雪、砂、烟尘等作用在电子设备及电路上引起静电放射产生的干扰。

电气设备干扰源主要有以下几个方面:

1. 放电干扰。包括:电晕放电(如高压输电线、发射机高压电路);气体放电或辉光放电(如荧光灯、放电器、霓虹灯、闸流管);金属雾放电或弧光放电(如电焊机,电弧放电探照灯);火花放电(如内燃机、电火花加工设备)。

2. 由电路通、断产生的电压或电流的急变(脉冲)而造成的干扰。这类设备包括有触点设备(如继电器、开关、各种断电式设备);直流与交流整流子电机。

3. 由电路中电压与电流脉冲振荡造成的干扰。这类设备按电路作用原理分为(脉冲振荡器、脉冲调制器、脉冲放大器、多谐振荡器、触发器、脉冲计数器、脉冲变频器、脉冲整形器等)。

4. 由于磁性元件的磁饱和而使电压或电流波形失真而造成的干扰。这类器件有磁放大器、磁性逻辑元件、电流互感器等。

5. 在整流过程中由于电压与电流正弦波形的变化而造成的干扰, 例如整流器。

6. 由于高频或低频振荡带有很大谐波而造成的干扰。例如振荡器、倍频器与分频器、变频与混频器、功率放大器等。

7. 天电干扰, 由于太阳的磁爆、天空的雷电以及其它静电电源的快速放电而形成的干扰。

二、干扰的途径

弄清干扰进入的途径, 是抑制干扰的一个重要环节。

1. 公共阻抗耦合

当两个电路的电流流经一个公共阻抗时, 一个电路的电流在该公共阻抗上形成的电压就会影响到另一个电路, 这就是公共阻抗耦合。

形成公共阻抗耦合干扰的有: 电源输出阻抗 (包括电源内阻、与电路间连接的公共导线)、接地线的公共阻抗等。

在电子线路实验中, 要求各仪器与实验板间要有公共接地点。实际上, 由于种种原因, 可能形成接地片与地线之间较大的接触电阻, 或者由于地线本身的电阻率不可忽略, 这些都将形成一定的公共阻抗, 如图1-2-1所示。

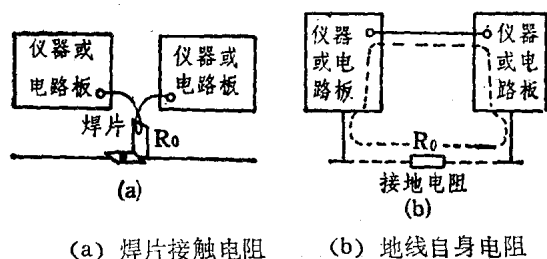


图1-2-1 接地电阻耦合

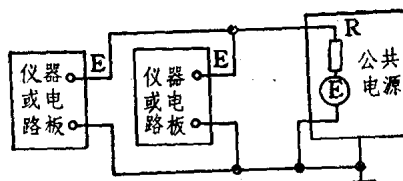


图1-2-2 电源内阻耦合

当接地电阻的阻值不可忽略时, 它将产生明显的干扰电动势, 造成测量误差。

通过电源内阻形成的耦合如图1-2-2所示。

2. 分布电容耦合

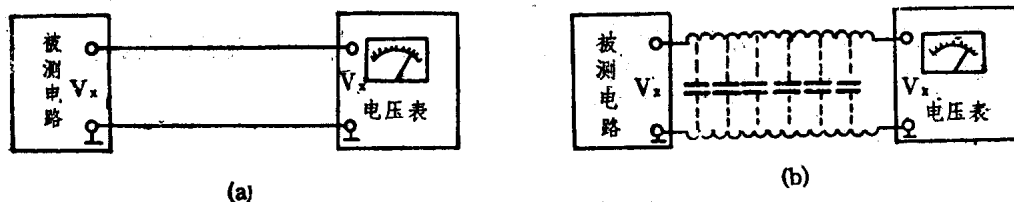
实验系统中, 实验板、仪表、元器件、导线、大地、人体等之间, 都存在着不同大小的分布电容, 例如, 两根一米长的平行导线之间的分布电容约为30PF; 一米长屏蔽线的内外层之间的分布电容约为40PF; 一台20W的电源变压器与该仪器底板之间的分布电容约为1000PF。

通常, 在测量环境的一定干扰场强条件下, 干扰电压正比于干扰的频率。频率愈高, 愈容易通过分布电容产生干扰。

3. 分布电感耦合

一根导线, 在低频时, 是一根理想的导体, 但在高频时, 其分布电感的影响便不能忽略, 图1-2-3 (b) 所示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时所表现出来的实际电路形式。其中 V_x 为被测电压, V_x' 为加在电压表输入端的电压。两者的差异取决于分布参数的大小及工作频率。由此造成的误差为 $(f/f_0)^2$ 。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。

在设备内部, 线圈及变压器等的漏磁通是造成互感耦合的主要原因。



(a) 低频时的电路 (b) 高频时的电路
图1-2-3 分布电感及电容耦合

4. 电磁辐射耦合

在我们生活的空间，无处不存在电磁场，在发电厂、变电站、大型无线电发射装置、强工业高频装置等附近，电磁场更强。因此，金属导体在这种电场中，就会产生感应电动势。不论是照明线还是动力电源线，都象天线一样，在周围电磁场变化时产生感应电动势，并通过电源线对实验设备造成干扰。同样长信号输入线和输出线、控制线等也具有天线效应，它们既能辐射干扰信号，也能接收干扰信号，这种干扰主要产生在较高频率上（几百千赫兹以上）。

三、干扰的抑制

1. 减小干扰电平或减弱干扰源的影响

对干扰源进行屏蔽是减小干扰电平最有效的措施。屏蔽一般可分为以下几类：

(1) 静电屏蔽—防止静电干扰。静电干扰的现象主要表现为：当电子仪器在低湿度（例如在相对湿度低于50%的环境）时，仪器上的高灵敏度指示仪表的指针会因操作人员或仪器附近其他人员的走动（或手的摆动）而产生相应的偏转，并与人体的走动或手的摆动方向完全相吻合。这种现象产生的原因，是由于人体在干燥的环境中走动或摆手，即人与周围空气产生了摩擦而使人体带上静电。当人体与电子仪器相近时，人体与电子仪器之间的分布电容也随之发生变化，这样，人体上的静电通过静电感应将使电子仪器电路中产生等量的、极性相反的电荷，引起电流的相应变化，而使指针随之摆动。

为减小或消除静电干扰，要设置对整个仪器作空间包围的静电接大地屏蔽。使得人体与仪器之间的分布电容的电荷不能进入仪器内部。另外，让空气保持一定的湿度，改进接地措施等，也能减小静电干扰的影响。

(2) 电场屏蔽—抑制电场耦合干扰，即抑制寄生电容耦合干扰。

电场耦合等效电路如图1-2-4所示。

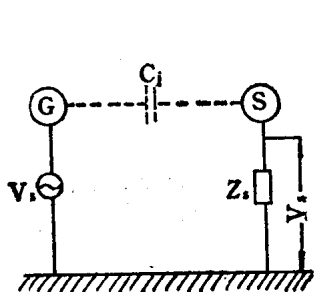


图1-2-4 电场（电容）耦合

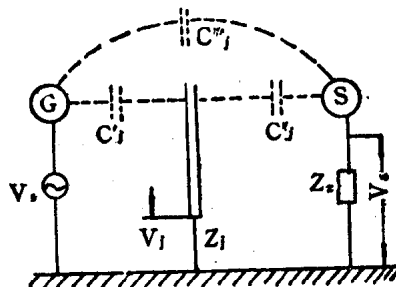


图1-2-5 电场屏蔽

在导体G（干扰源）上有一交变电压 V_G ，在其附近有一导体S（被干扰电路）通过阻抗接地。导体G的电场作用，在G与S之间等效为寄生电容 C_i ，因此组成了由 V_G 、 C_i 、 Z_i 到地的寄生耦合回路。导体S被感应的电压 V_i 为

$$V_i = \frac{j\omega C_i Z_i V_G}{1 + j\omega C_i Z_i} \quad (1-2-1)$$

由式（1-2-1）可知，在低频时，产生的干扰很小（ V_i 小），其影响可忽略。所以电场屏蔽主要用于抑制射频频率的耦合干扰。

电场屏蔽的目的是为了消除 C_i 。若 $C_i=0$ ，则 $V_i=0$ 。

屏蔽原理如图1-2-5所示，在G与S之间加入一金属隔板J，则原来的耦合电容 C_i 被分成 $C_{i'}$ 、 $C_{i''}$ 及 $C_{i'''}$ 。由于 $C_{i''}$ 甚小，故可忽略不计。

设金属隔板J对地阻抗为 Z_j ，则 V_G 在J上产生的感应电压 V_j 为：

$$V_j = \frac{j\omega C_{i'} Z_j V_G}{1 + j\omega C_{i'} Z_j} \quad (1-2-2)$$

导体S上被感应的电压 V_i 决定于 V_j ，即

$$V_i = \frac{j\omega C_{i''} Z_i V_j}{1 + j\omega C_{i''} Z_i} \quad (1-2-3)$$

将金属板接地，则 $Z_j=0$ ，于是 $V_j=0$ ， $V_i \rightarrow 0$ ，即起到了电场屏蔽作用。

（3）磁场屏蔽—抑制磁场的耦合干扰，即抑制寄生互感耦合干扰。

随着频率不同，磁场屏蔽要采用不同的屏蔽材料，其磁屏蔽原理也不同，现分述如下：

①低频磁场屏蔽。低频（100KHZ以下）磁场屏蔽常用高导磁率的铁磁材料（如铁、硅钢片、坡膜合金），其原理是利用铁磁材料的高导磁率对干扰磁场进行分路。

图1-2-6所示的屏蔽线圈，用铁磁材料作屏蔽罩。由于其导磁率很高，其磁阻比空气小很多，因此如图（a）所示，线圈所产生的磁通主要沿屏蔽罩通过，即被限制在屏蔽壁内，从而使线圈周围的电路或元件不受线圈磁场的影响。同样，如图（b）所示，外界磁通也将通过屏蔽罩壁而很少进入罩内，从而使外部磁场不致影响到屏蔽罩内的线圈。

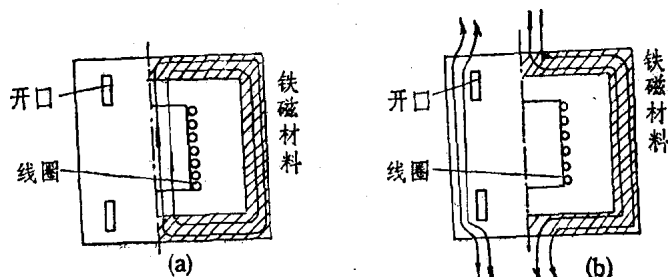


图1-2-6 低频磁场屏蔽

②高频磁场屏蔽。高频磁场屏蔽采用的是低电阻率的良好导体材料，如铜、铝等。它是利用电磁感应现象在屏蔽壳体表面所产生的涡流的反磁场来达到屏蔽目的的，也就是说，利用了涡流反磁场对于原干扰磁场的排斥作用。

如果用良导体金属做成屏蔽盒，将线圈置于屏蔽盒内，如图1-2-7所示，则线圈所产生的磁场将被屏蔽盒的涡流反磁场排斥而被限制在屏蔽盒内；同样外界磁场也将被屏蔽盒的涡流反磁场排斥而不能进入屏蔽盒内，从而达到磁场屏蔽的目的。

（4）电磁屏蔽

所谓电磁屏蔽，是指电场和磁场同时加以屏蔽。电磁屏蔽一般也是指高频时的屏蔽。如

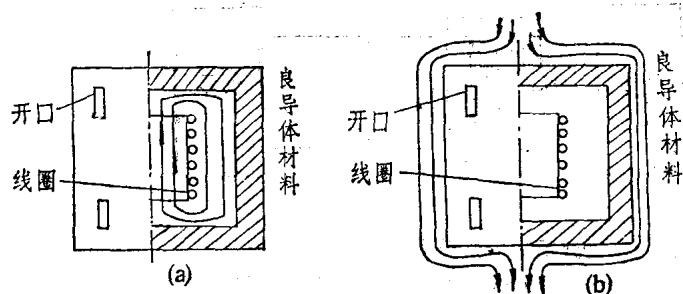


图1-2-7 高频磁场屏蔽

屏蔽作用由吸收损耗衰减和反射损耗衰减两部份起作用。

2. 减小公共耦合电阻

为减小公共耦合电阻，实验中所用接地线，要用直径粗的多股铜芯线，以减小接地电阻和高频时的趋肤效应。

为减少直流电源内阻的影响，当很多实验板公用一个直流电源时，要尽量选用内阻小的直流电源，同时，要采取如图1-2-8所示的退耦电路。

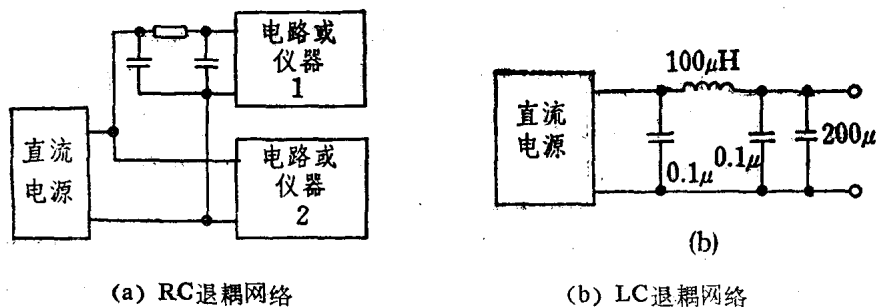


图1-2-8 直流电源的退耦电路

3. 减小寄生耦合的影响

电子设备中的电路，元、部件及导线的布置对抑制寄生耦合干扰有很大影响。为减小这种影响，一是要合理布局实验板的元、器件位置，高增益及高频电路的输入和输出线，要尽量避免相距过近和平行排列。操作时，人员不要太靠近高频部份。各级电路的连接导线应尽可能短，高频信号的传输线要采用屏蔽线。

实验板上各感性元件位置安排要合理，最好加以屏蔽，以减小互感耦合。

其次，为减小串入电网中的干扰电压对实验的影响，可在实验板或有关仪器的电源变压器初级接入如图1-2-9所示的干扰抑制网络。

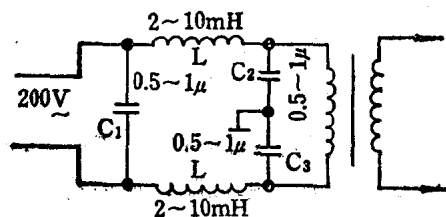


图1-2-9 干扰抑制网络

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，一是通过上面所述三种方法减少干扰及噪声的影响，二是提高信号电平。在图1-2-10中，图(a)要比图(b)的信噪比高。

另外，采用屏蔽（特别是高频部份）与接地技术；选用抗干扰能力强的电路元件，也是抑制干扰的有效措施。

前所述，采用导电材料且接地良好的屏蔽体，就能同时具有电场屏蔽和磁场屏蔽的作用。

导电材料屏蔽体由感应涡流反磁场抵消干扰场，成为涡流的热损耗，并称为金属板的吸收损耗衰减这种损耗衰减起到了屏蔽作用。此外，电磁波通过屏蔽体表面时将产生反射，因此电磁场

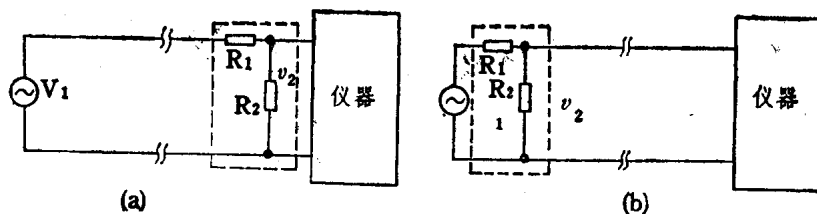


图1-2-10 两种衰减器的联接方式

(a) 传输信号 V_1 较强, 信噪比高 (b) 传输信号 V_2 很弱, 信噪比低

5. 要使抑制干扰有良好效果, 往往需要同时采取多种抑制干扰的措施。

第三节 接地问题

一般所说的地或地线, 有两种含义。第一种含义是指真正的大地, 且常常局限于所在实验室附近的大地。对于三相动力供电电网中的地线, 通常是指电力变压器的中线(又称零线)。它是在发电厂和变电站接大地的。在三相四线制供电电网中, 当三相负载平衡时, 则中线上无电流, 中线与大地为同电位。当三相负载不平衡时, 中线与大地之间便存在一定的电位差, 但一般不超过 $1\sim 2V$, 因而可近似认为中线电位就是大地零电位。

第二种含义是指测量仪器, 设备、实验板等的公共接点。它们通常是与机壳直接相联, 或是通过一个大电容器与机壳相联, 这相当于交流短路。所以, 在交流意义上, 可以把测量系统中的公共接点与仪器或设备的机壳看作同义语。

接地的目的有两个: 一是将电气设备接地以后, 可防止由于设备上电荷积累, 电压升高而造成人身不安全或引起火花放电, 二是将仪器设备外壳或导线屏蔽层等接地, 给高频干扰电压提供低阻抗通路, 防止对电子设备的干扰。前者称为保护接地; 后者称为信号接地。

一、保护接地

前面已经提及, 仪器、设备的外壳应当接地, 以保证安全。如图1-3-1所示, 图中 Z_1 是电位为 V_1 (交流电网电压) 的A点与机壳间的杂散阻抗; Z_2 为机壳与地之间的杂散阻抗, 则机壳上的电位为

$$V_2 = \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right) V_1 \quad (1-3-1)$$

当 V_1 一定, 只要 Z_1 、 Z_2 的分压比不适当, 机壳上所分得的电压 V_2 就可能较高。这时, 如果人体接触机壳, 即有触电的危险。如果将机壳可靠接地, 即 $Z_2=0$, 则机壳上的电位也等于零, 保证了人身安全。

有的仪器设备, 虽然其杂散阻抗 Z_2 很大, 如A点与机壳间电气绝缘击穿, 则机壳上的电位即与 V_1 相等, 这时人体如果接触, 其危险性就更大。如果将机壳接地, 则当绝缘击穿时, 电流经机壳入地, 即可防止机壳带电的危险。对于一般单相动力电源, 其标准配电线路应当按图1-3-2所示方式接地; 对于三相动力电源, 其标准三相三线配电线路按图1-3-3所示方式接地; 标准三相四线配电线路按图1-3-4所示方式接地。正常情况下, 由图1-3-2、1-3-3、1-3-4可见: 地线中是没有电流流过的。但如果某相对机壳绝缘被击穿, 则将有很大的短路

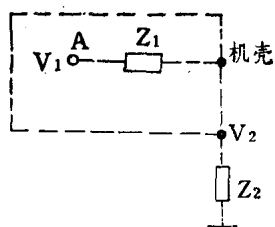


图1-3-1 机壳通过杂散阻抗带电

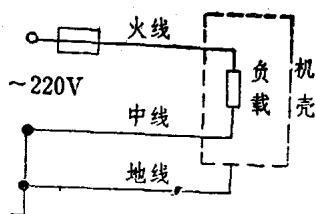


图1-3-2 标准单相配电线路图

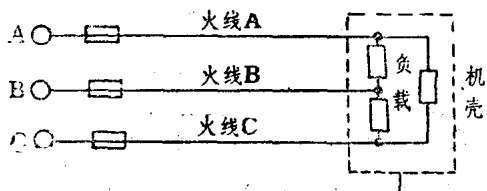


图1-3-3 标准三相三线配电线路图

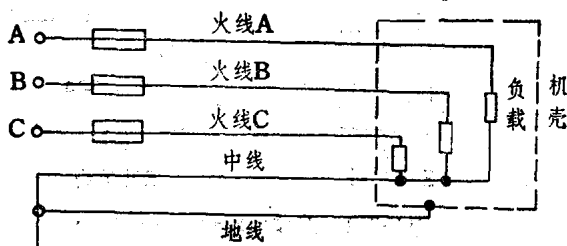
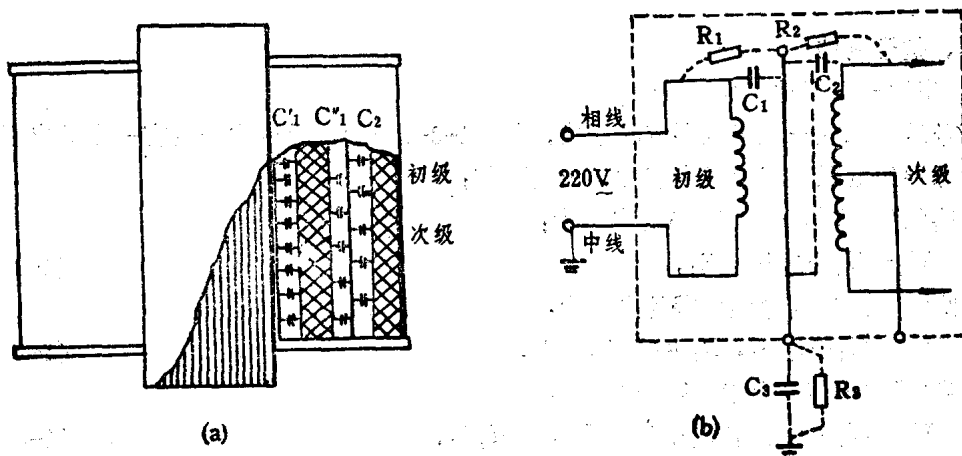


图1-3-4 标准三相四线配电线路图

电流流经地线，相应的保险丝将很快会被熔断，从而保证了仪器、设备和人身的安全。

实验室使用的仪器、设备，一般都由220V交流电网供电。供电线路中，一根为中线，已在发电厂或配电系统用良导体接大地。另一根是相线（火线）。电网电压一般是加到仪器设备内的电源变压器初级。变压器的铁芯以及初、次级之间的屏蔽层都直接与机壳相联接。变压器次级绕组的一端或中心抽头也与此点相接。于是，在变压器的初、次级与铁芯、机壳与大地之间便分别存在一定的分布电容和绝缘电阻，如图1-3-5所示。正常工作情况下，变压器各绕组之间和各绕组与铁芯之间的绝缘电阻阻值在 $100M\Omega$ 以上，其影响可忽略不计。如果仪器或设备受潮后，其绝缘电阻就会明显下降。通电后，如人体接触机壳就有可能触电。

为防止触电事故发生，可在通电后用试电笔（或复用表）检查机壳是否明显带电。一般情况下，由于电源变压器初级绕组两端的漏电阻不相同，因此，把两芯电源插头换个方向插入电源插座，一般可以减弱以至消除漏电现象。



(a) 变压器剖面图；(b) 分布电容的简化电路

图1-3-5 电源变压器的分布电容

为了人身和设备的安全,使用三芯电源插头、插座是比较可靠的办法,特别是近几年数字、模拟集成电路在实验和仪器设备中大量使用,更应该有良好的接地。连接方法如图1-3-6所示。

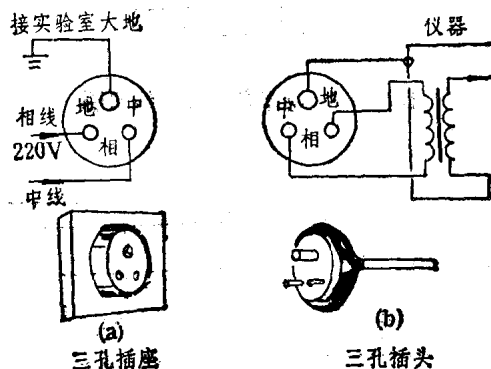


图1-3-6 利用三孔插头座进行安全接地

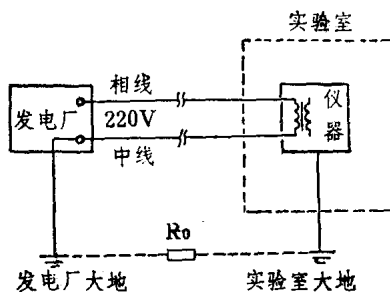


图1-3-7 电网中线与实验室地线间的电阻

三芯插头中,较粗的一个插头与实验室地线相接。两个较细的插头,一个接220V相线(火线),另一个接电网中的中线(零线)。

由于电网中线与实验室大地之间沿线存在着分布的地电阻。因此不允许把中线与实验室地线相接。否则,中线电流在地电阻上将形成一个电位差。同理,也不能用中线代替实验室的地线。

三芯插座中,较粗的一个插孔应与仪器或设备的外壳相接,如图1-3-6所示。按该图的电流连接方式,可以保证仪器设备的外壳始终处于大地电位,从而有效的避免触电事故发生。

在没有三芯插头情况下,要用导线将机壳与实验室大地相接。

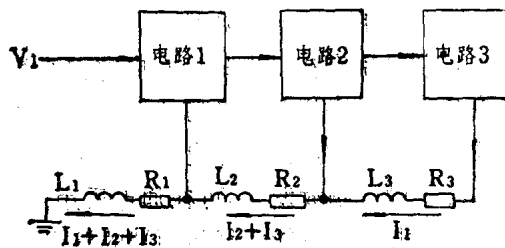


图1-3-8 串联一点接地的干扰

二、信号接地

1. 串联一点接地

信号地线串联一点接地形成的干扰,如图1-3-8所示,导线本身具有一定的电阻和电抗,当仅考虑导线电阻而不计及电感时,由图可知:

电路“1”的零信号参考点A的电位为:

$$V_A = (I_1 + I_2 + I_3)R_1 \quad (1-3-2)$$

电路“2”的零信号参考点B的电位为:

$$V_B = (I_1 + I_2 + I_3)R_1 + (I_2 + I_3)R_2 \quad (1-3-3)$$

电路“3”的零信号参考点C的电位为:

$$V_C = (I_1 + I_2 + I_3)R_1 + (I_2 + I_3)R_2 + I_3R_3 \quad (1-3-4)$$

如考虑其电感 L_1 、 L_2 、 L_3 ,则电路1、2、3之间的相互干扰就更为复杂。因此,这种串联接地方式是不合理的。但由于它比较简单,所以还是常常被采用,但只在低频且各电路电