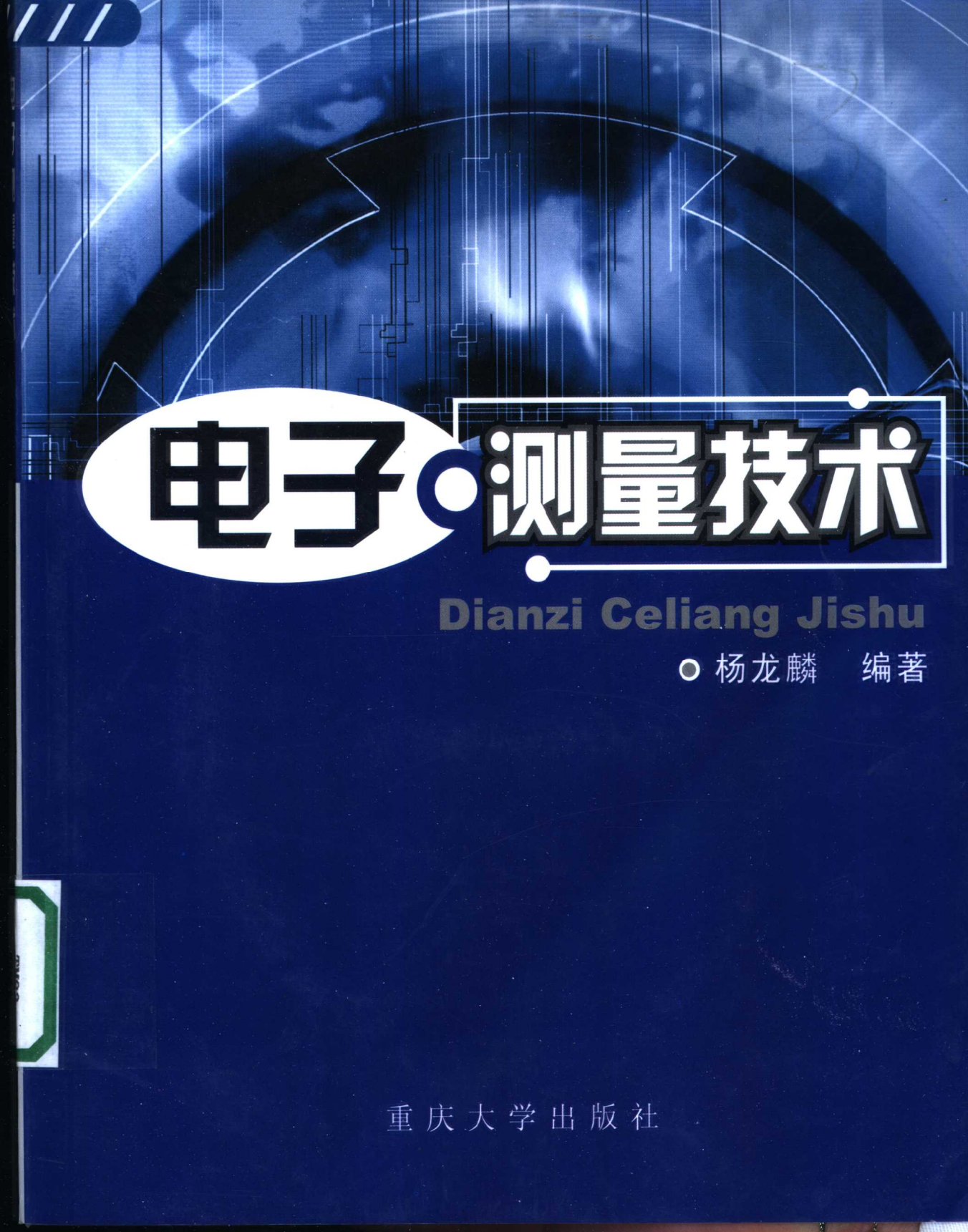




电子·测量技术

Dianzi Celiang Jishu

○ 杨龙麟 编著

重庆大学出版社

电子测量技术

杨龙麟 编著

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书是电子测量技术的基础教材。全书共分9章,第1、2章是测量实验的基础知识、误差分析和数据处理。其后的章节介绍常用的测量技术和相关的测量仪表,是本书的主要内容。最后一章介绍测量系统中不可缺少的重要设备、信号源。

全书的阐述简洁扼要,深入浅出,着重基本概念。书中含有测量的数字化和自动化方法、较新的测量技术和相关电路分析。内容有一定的深度和广度,适应性较强,读者可以选读其中章节。本书可供高校工科电子类专业的师生使用,也可作电子测量和仪表设计人员的有益参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术/杨龙麟编著. —重庆:重庆大学出版社,2004. 1

ISBN 7-5624-2976-6

I. 电... II. 杨... III. 电子测量—高等学校—教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 075413 号

电子测量技术

杨龙麟 编著

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:何建云 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

*

开本:787×960 1/16 印张:10.25 字数:206千

2004年1月第1版 2004年1月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-2976-6/TN·74 定价:15.50元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

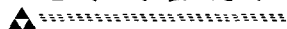
前 言

为了配合教学改革,提高教学质量,根据编者的一些教学实践经验和学习体会编写了本书。本书是针对高校工科电子类本/专科学学生编写的,为 30~60 学时的测量技术基础教材。它与《电路分析》、《信号与系统》、《电子电路实验》、《电路与信号实验》等课程紧密相关,是一门实践性极强的课程。它的任务是使学生建立测量技术的理论基础,获得基本的测量实践知识与技能,培养学生分析问题和解决问题的能力,以及学习严谨的科学态度。

本书是电子测量技术的基础教材。全书共分 9 章,第 1、2 章介绍电子测量的基础知识和误差的基本理论;其后的章节是电子测量的基本方法和技巧,是本书的主要内容;最后一章介绍测量系统所使用的信号源。每章末均有若干思考与练习题,作为课后的练习和补充。

本书虽然是讲述电子测量的基本原理,但是,在内容的阐述方法和分析方法上,力求简洁扼要,深入浅出,着重基本概念的讲述;尽量做到严谨,避免似是而非的解说。一些公式的推演和问题的思考更多是让学生自己去做(DIY)。当自学思考、解决问题、获得成功,以及得到乐趣和自信的时候,无形中增进学生的治学能力,又能更好解决问题,提高学习兴趣,形成良性循环。

本书的主要参考书是潘洪福等 4 人编著的《电子测量技术与仪表》(科技文献出版社重庆分社,1991);杨吉祥等 3 人编著



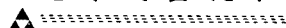
的《电子测量技术基础》(东南大学出版社,1999);朱锡仁等编著的《电路与设备测试检修技术及仪器》(清华大学出版社,1997)。其中第一本书使我受益最大。在此对这些书的作者谨表感谢。在编写过程中,得到重庆邮电学院教材委员会和教学服务中心教材科的大力支持和帮助,编者也在此致以感谢。由于编者水平所限,错误难以避免,希望广大读者、特别是使用本书的师生们提出宝贵意见,予以指正。

编 者

2003 年 5 月

目 录

第1章 基础知识	1
1.1 测量的重要性和特点	1
1.1.1 测量的重要性	1
1.1.2 电子测量的特点	1
1.2 测量实验的干扰抑制	1
1.2.1 干扰的来源和路径	1
1.2.2 干扰的抑制	2
1.2.3 高频电磁场的屏蔽	2
1.2.4 干扰抑制电路举例	3
1.3 实验室的供电	3
1.3.1 三相四线制	3
1.3.2 重要事项	4
1.4 测量的内容和基本方法	5
1.4.1 测量的内容	5
1.4.2 基本测量方法	5
思考与练习题	6
第2章 误差分析和数据处理	7
2.1 误差的表示法	7
2.1.1 误差基本表示法	7
2.1.2 仪表的误差表示法	8
2.2 误差的来源和分类	8
2.2.1 误差的来源	8
2.2.2 误差的分类	9
2.2.3 评定测量结果	9
2.3 系统误差	10
2.3.1 削弱误差的方法举例	10
2.3.2 误差的合成	13
2.3.3 误差的分配	14
2.4 随机误差	15



2.4.1	随机变量的平均值和方差	15
2.4.2	误差的正态分布	16
2.4.3	n 次测量值的平均值	17
2.4.4	关于标准偏差的几个重要定理	18
2.4.5	测量结果的表示法和置信度	20
2.5	测量数据的处理	20
2.5.1	有效数字的处理	21
2.5.2	绘制曲线	22
思考与练习题		22
第3章	电流、电压的测量	25
3.1	万用表	25
3.1.1	万用表的表头	25
3.1.2	多挡电流表和电压表	26
3.1.3	交流电压表	28
3.1.4	欧姆表	31
3.1.5	测量误差	33
3.2	热电式电流表	35
3.2.1	电流表的结构	35
3.2.2	热电偶电表的原理	35
3.3	电压的测量	37
3.3.1	模拟式交流电压表	37
3.3.2	数字式电压表	43
3.3.3	数字式万用表	44
3.4	电平的概念	47
3.4.1	主观感觉的对数特性	47
3.4.2	电平计算公式	48
3.4.3	电平表	48
思考与练习题		49
第4章	电路元器件参数测量	53
4.1	电容器和电感器的等效电路	53
4.1.1	电容器的等效电路	53
4.1.2	电感器的等效电路	54
4.1.3	交流电桥	55
4.1.4	电桥法测量电感器	56
4.1.5	电桥法测量电容器	57

4.2 实用交流电桥举例	58
4.2.1 常用的交流电桥	58
4.2.2 实用交流电桥举例	59
4.3 谐振法参数测量	60
4.3.1 谐振回路的 Q 值	60
4.3.2 Q 表的基本结构	62
4.3.3 Q 表测量电感线圈	63
4.3.4 Q 表测量电容器	64
4.4 测量的数字化与自动化	66
4.4.1 阻抗测量的数字化	66
4.4.2 阻抗测量的自动化	67
4.4.3 Q 值测量的数字化	72
4.5 晶体管特性的图示法	73
4.5.1 特性图示仪的结构	73
4.5.2 晶体管输出特性的观测	74
4.5.3 晶体管输入特性的观测	74
4.5.4 大功率晶体管的图示法	75
4.5.5 电路举例	76
4.6 运放主要参数的测量	77
4.6.1 输入失调电压、失调电流、偏置电流	77
4.6.2 共模抑制比的测量	78
4.6.3 开环差模电压放大的测量	78
思考与练习题	79
第5章 示波器及其应用	81
5.1 示波管显示原理	81
5.1.1 示波管的结构	81
5.1.2 偏转板原理	82
5.1.3 波形显示的基本方法	84
5.2 示波器的结构和原理	85
5.2.1 示波器的结构框图	85
5.2.2 Y 输入电路	86
5.2.3 多波形显示法	88
5.2.4 X 通道扫描发生器	89
5.2.5 AB 双扫描原理	91
5.3 示波器的一般应用	92



5.3.1 电压测量	92
5.3.2 时间测量	93
5.3.3 相位差测量	93
5.3.4 频率测量	95
思考与练习题	96
第6章 计数式测量法	97
6.1 通用计数器的应用	97
6.1.1 频率测量和周期测量	97
6.1.2 频率比测量和时间间隔测量	99
6.2 提高计数器精度的方法	100
6.2.1 倒数计数法	100
6.2.2 游标法	101
6.2.3 时间扩展内插法	102
6.2.4 时基的准确度	104
6.3 相位差的数字化测量	104
6.3.1 平均值相位差计	104
6.3.2 减小触发误差	106
思考与练习题	107
第7章 频率特性和波形参数测量	109
7.1 电路的频率特性	109
7.1.1 频率特性的概念	109
7.1.2 电路频率特性举例	109
7.1.3 用点频法测频率特性	114
7.1.4 扫频仪的原理	115
7.2 信号频谱分析	119
7.2.1 时域和频域的关系	119
7.2.2 周期性矩形脉冲的频谱	120
7.2.3 谐波分析仪(选频电平表)	120
7.2.4 频谱分析仪	121
7.3 已调波参数的测量	122
7.3.1 调幅波调幅系数的测量	122
7.3.2 调频波调频系数和频偏的测量	124
7.4 非线性失真的测量	126
7.4.1 基波抑制法	126
7.4.2 交互调制法	128

7.4.3 白噪声法	129
思考与练习题	129
第8章 观测动态电路的响应	130
8.1 全响应的概念	130
8.1.1 暂态分量和稳态分量	130
8.1.2 一阶电路的全响应	131
8.2 观测一阶电路的响应	133
8.2.1 一阶电路的阶跃响应	133
8.2.2 一阶电路的方波响应	133
8.3 观测二阶电路的阶跃响应	135
8.3.1 上升阶跃响应	135
8.3.2 下降阶跃响应	137
8.3.3 阶跃响应公式总结	140
思考与练习题	141
第9章 信号源	142
9.1 低频和高频信号源	142
9.1.1 文氏电桥型正弦信号发生器	142
9.1.2 函数发生器	144
9.1.3 高频信号发生器	147
9.1.4 脉冲信号发生器	148
9.2 频率合成信号源	149
9.2.1 直接合成法	149
9.2.2 间接合成法	150
9.2.3 频率合成器举例	151
思考与练习题	152

第1章 基础知识

1.1 测量的重要性和特点

1.1.1 测量的重要性

测量在科学技术和生产实践的任何部门都是非常重要的。科学研究工作经常需要对一些事物进行试验、探测、证明。这些本身就是一系列的测量实验工作。很难想象,没有适当的测量方法和仪器,能够进行复杂的科研和生产实践。实际上,测量技术的进步会大大提高科技发展的速度;反过来,科技的进步又会给测量理论水平的提高、技术的完善创造良好的条件。

1.1.2 电子测量的特点

凡是利用电子技术的测量都称为电子测量。它能用在电专业的测量,例如,对电信号传输特性的测量和电路设备的参数的测量。特别是它也能广泛地应用在非电专业的测量。利用能量转换器件,把非电量转换为电量进行测量研究,而后得出或反映出非电量的测量结果。

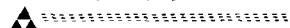
电子测量方法除用于电专业测量外,还广泛地用于科技和生产实践的其他领域。这主要是由于电子测量方法有以下一些优点和特点:电子测量可得到很高的精确度和灵敏度;响应速度极快;频率范围和量程范围大;动态范围也大;容易实现遥控、遥测等智能测量。

现代的电子测量仪器、仪表在技术和性能上已取得非常大的进展。最重要的原因是测量方法的数字化,并利用微处理器集成电路。它们使测量进入自动化和智能化阶段。数字化使测量获得了极高的精确度。电子计算机和测量仪器相结合,可组成很完美的测量系统。

1.2 测量实验的干扰抑制

1.2.1 干扰的来源和路径

在电子测量中,常会遇到各式各样干扰源的电磁场辐射和阻抗耦合,使被测电路



受干扰而失真;使测量仪表工作不稳定,测量数据不可靠;严重的干扰甚至使测量实验不能进行。干扰源可以分为自然的和人为的两大类。自然干扰如:宇宙辐射、雷电等大气放电。人为干扰源如:荧光灯、电焊机的辉光和弧光放电,继电器、开关等的火花放电,设备的高压电路、电源电路,电路之间的互相干扰等。

为了减弱或消除干扰,弄清干扰的路径是很重要的。干扰路径有:公共阻抗、电场耦合、磁场耦合、电磁场辐射。两个或多个电路(设备)之间若有公共阻抗存在,显然,一个电路的电流流经公共阻抗,会对另外的电路产生干扰。所以,应当尽量地减小电路间的公共阻抗。对于电、磁场耦合和电磁场辐射干扰,一般采用屏蔽或隔离方法,使电磁场不能进入电路。

1.2.2 干扰的抑制

抑制场干扰的最有效的方法是对电路进行屏蔽。电场屏蔽原理如图 1.2.1 所示,其原理:干扰源 A 和受扰源 B 在没有屏蔽的情况下,场电容设为 C_1 ;加上接地的金属屏蔽板之后,它们之间的场电容改变成 C_2 。随着屏蔽板增大, C_2 变小,从而抑制了电场干扰。图(b)中的分布电容 C_4 还有分流干扰电流的作用。对于磁场的屏蔽,常用高导磁率的铁磁屏蔽盒,套住受干扰的元器件,通常是线圈元件。线圈的部分磁场会沿经铁盒,而不会穿出铁盒进入有大磁阻的空间;铁盒外面的干扰磁场经过低磁阻的铁盒,而不会进入盒内的高阻空间。

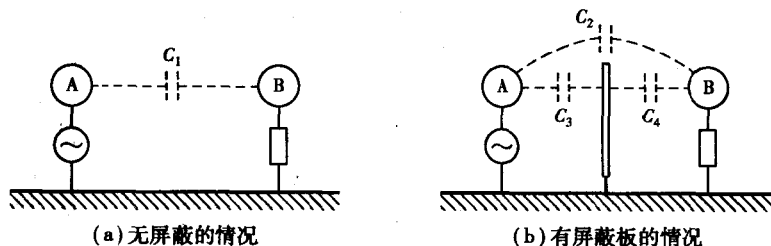


图 1.2.1 电场屏蔽原理

1.2.3 高频电磁场的屏蔽

铁磁材料盒适用于低频(100 kHz 以下)电磁场的屏蔽。对于高频的电磁场,屏蔽盒通常是非磁性的良导体(如铜、铝等)金属盒,并且此盒有良好的接地。高频磁场很难通过屏蔽盒起干扰作用。因为屏蔽盒会感应强涡流磁场,阻止干扰磁场。而高频电场的干扰则由屏蔽盒短路到地,电场不会进入盒内。

1.2.4 干扰抑制电路举例

图 1.2.2 是一个多级放大器的电源配置图。用简单的 RC 低通滤波器来抑制电源公共阻抗的耦合干扰,这种电路常称为去耦合电路。放大器的前级信号弱小,对电源要求特严格。所以,图中的前级有三级 RC 滤波器。滤波器的 R 会使电源电压有所降低,但前级的动态范围很小,电源电压降低是合适的。

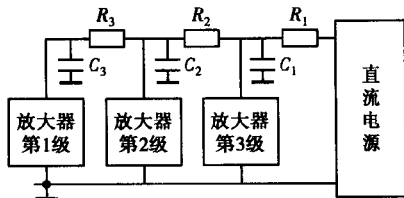


图 1.2.2 直流电源的去耦合电路

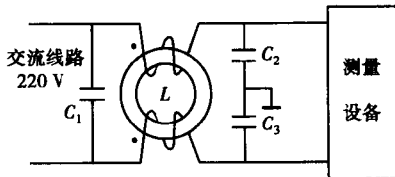


图 1.2.3 交流线路的干扰抑制

图 1.2.3 所示为互感滤波器,它通常是仪器、设备的电源的前置器件。放置在交流电源进线之后、整流器之前。可以抑制从交流电力网路进入设备的大气放电和其他辐射干扰。注意,图中有两组线圈绕在同一磁芯上,它们的匝数相等,同名端子如图中黑点所示。对于交流电的传输,线圈电感为零,无电抗作用。但是,对于同时加到两线上的大气辐射脉冲干扰,两线圈呈现出的电感有很好的抑制作用。

实际上,抑制杂波噪声就是要提高测量实验过程中的信噪比率。所以必须知道提高信噪比的一些基本方法。例如,用信号发生器发送信号给放大器,这个放大器需要几毫伏或更小的电压,且发生器和放大器之间的连接线会引入一定的噪声干扰。在此情况下,不应当直接发送弱小信号至放大器,而应当送出一个较强的信号至线路,再在放大器入口加接衰减器,满足放大器的小信号要求。这样,放大器可得到较高信噪比的测试信号。

1.3 实验室的供电

1.3.1 三相四线制

一般实验室的供电是由电力网提供的三相四线制(50 Hz)低压交流电。三相四线制就是把三个相角差为 120° 的正弦电压源组合在一起,用四根导线传输电能的制式。如图 1.3.1 所示。火线与中线之间的电压称为“相电压”,有效值为 220 V;而火线与火线之间的电压称为“线电压”,有效值为 380 V。例如,AB 线电压的瞬时值等于:

$$\begin{aligned} v_{AB} &= v_{AN} + v_{NB} = v_{AN} - v_{BN} = 220\sqrt{2}\sin\omega t - 220\sqrt{2}\sin(\omega t - 120^\circ) \\ &= 220\sqrt{2}[2\sin 60^\circ\cos(\omega t - 60^\circ)] = 380\sqrt{2}\sin(\omega t + 30^\circ) \end{aligned} \quad (1.3.1)$$

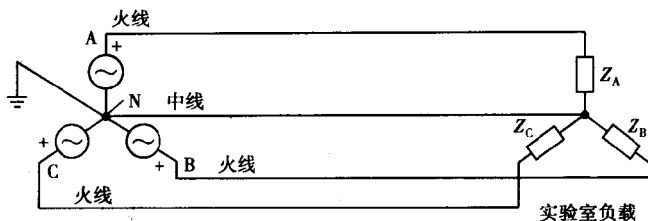


图 1.3.1 三相四线制供电

众所周知三相四线制在负载平衡($Z_A = Z_B = Z_C = Z$)的情况下,中线电流值等于零。为此,设相电流的参考方向是流入负载,中线电流是流出负载。于是,中线电流等于:

$$I_N = \frac{V_{AN}}{Z} + \frac{V_{BN}}{Z} + \frac{V_{CN}}{Z} = \frac{1}{Z}(V_{AN} + V_{BN} + V_{CN}) \quad (1.3.2)$$

可以很简单地从电压向量图证明上式的三个相电压之和等于零,从而证明中线电流等于零。现在,再用瞬时值三角式证明相电压之和等于零,从而证明中线电流为零。

$$\begin{aligned} v_{AN} + v_{BN} + v_{CN} &= 220\sqrt{2}[\sin\omega t + \sin(\omega t - 120^\circ) + \sin(\omega t + 120^\circ)] \\ &= 220\sqrt{2}[\sin\omega t + 2\sin\omega t\cos(-120^\circ)] \\ &= 220\sqrt{2}[\sin\omega t - \sin\omega t] = 0 \end{aligned} \quad (1.3.3)$$

可见,相电流在中线之中有互相抵消作用。即使三相负载不很平衡,中线电流也是不大的,所以,中线可以用较细的导线。对于直接用三相电源的设备,由于其三相负载是一致的,更是完全不要中线。传输一定的电功率,可以用较少的金属导线,这就是三相供电的优点。

1.3.2 重要事项

三相电力网电源送到一个大实验室或一幢楼房的总配电板之后,必须平衡分配各相负载,并在配电板上安装电度(功)表、火线开关、保险丝、断路器等设备。但是,绝对不要在中线安装保险丝之类的东西,一定要保证中线连接良好。因为,一旦中线断开,在三相负载不平衡的情况下,负载的相电压会大大超过 220 V。例如,一相负载极重(阻抗极小),则这负载重的相电压很低,其余两相电压很高,可能接近线电压 380 V 而烧毁电器。

在实验室和日常生活中,常用一种单相的三孔电源插座。一般右孔是火线 L,左孔是中线 N,上孔是地线 G。这地线孔的意义:这个地线称为保护地线,通过电源插

头与设备的外壳连接。例如电烙铁,外壳接地可保护人身安全,避免焊接元件被漏电或感应电损坏;又例如仪器仪表,除人身安全之外,外壳接地还有电磁场屏蔽作用(例如抑制人体感应)。所以,插座的地线孔应当用专线,就近与大地良好连接。虽然中线 N 在发电站已经连接大地(接地),在用户端的总配电板上,中线也常再接地,但中线不能代替地线。因为在三相负载不平衡的时候,连接负载的中线有较大电流,中线对地有较大电压,使设备外壳带电。除连接大地的“地”之外,在电路图上还会看到另一种“地”。它表示各个电路以及信号的公共“零电位”参考点。它常被称为信号地或参考地。

在测量实验过程中,必须注意人身安全,确保仪表的正确工作状态。在仪器设备加电之前,应先确定电源电压是否符合要求;加电之后,如果出现异常现象,则首先应当切断电源。最后,举一个单相自耦变压器(调压器)连接的例子:它有两个输入端子和两个输出端子,但有一个输入端子跟输出的一个端子是直接连通的,因此,输入跟输出直通的公共端子必须连接中线,另一输入端子连接火线。判断电源火线和中线的简单办法是使用(氖灯)验电笔。

1.4 测量的内容和基本方法

1.4.1 测量的内容

测量的内容(包括电专业和非电专业)是极其庞大、繁多的,甚至可以说是无所不包的。所以,在此只能对本书电路测量的内容做一简略的叙述:

- ①电能量的测量(电流、电压、功率、电磁场强度等);
- ②电路参数的测量(电阻、电感、电容、阻抗、品质因数等);
- ③信号参数的测量(波形、频率、相位、调制系数、失真度等);
- ④设备性能的测量(放大倍数、灵敏度、频带、噪声系数等);
- ⑤器件特性曲线的显示(幅频特性、伏安特性等)。

1.4.2 基本测量方法

为了实现测量,获得测量结果,采用的各种手段和方式称为测量方法。测量方法可以有多种分类法:例如,根据被测量的状态可分为静态和动态测量法;根据测量的性质可分为时域、频域测量法以及随机测量法;根据测量的手段,可分为直接与间接测量法以及组合测量法。

直接测量法是直接以被测量为对象进行测量,并直接从仪表的标尺读数得出测量结果。间接测量法不是直接测量被测量,而是测量与被测量有函数关系的其他量,然后利用函数关系式计算出被测量。例如,用伏安法测量电阻 R :先直接测量电阻的

电流和端电压,然后用欧姆公式 $R = V/I$ 计算出电阻 R 值。组合法实际上是一种较复杂的间接测量法。例如,已知导体电阻 R 与温度 t 的函数关系式为:

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2] \quad (1.4.1)$$

式中: R_{20} 是 20°C 时的电阻值; α 和 β 是导体的温度系数。

为了求得需要的温度系数 α 和 β , 可先测量出这个导体在三个温度下的电阻值: R_0 、 R_{20} 、 R_{50} , 代入上式, 即得下列联立方程:

$$\left. \begin{aligned} R_0 &= R_{20} [1 + \alpha(0 - 20) + \beta(0 - 20)^2] \\ R_{50} &= R_{20} [1 + \alpha(50 - 20) + \beta(50 - 20)^2] \end{aligned} \right\} \quad (1.4.2)$$

从这联立方程就可解出所需要的 α 和 β 。

直接测量法简单而常用, 是间接法的基础。间接法是当被测的量不能或不方便直接测量时, 或者当用间接法会得出比直接法更为精确的结果时才采用的。

直接测量法又可分为直读式和比较式。直读式使用直读仪表, 直接读出被测量值, 所以, 操作简单快捷。除数字显示的仪表外, 一般模拟指示的仪表其准确度都不很高。而比较式测量是利用标准量与被测量进行比较。比较的方法是使两者的差值为零或为微小值。还可以在相同测量条件下, 用标准量代替被测量, 调节标准量, 使仪表的指示跟被测量的指示相同, 于是被测量等于调节后的标准量。

思考与练习题

- 1.1 说说测量技术的重要性和电子测量的特点。
- 1.2 说说测量实验中干扰的危害, 说出一些干扰源和干扰路径。
- 1.3 在干扰抑制中, 电场屏蔽和磁场屏蔽方法的特点是什么? 说出低频电磁场屏蔽方法与高频电磁场屏蔽方法的区别。
- 1.4 叙述图 1.2.3 互感滤波器的作用与原理。
- 1.5 电力供应的三相四线制的输电方式是怎样的? 它有什么优点?
- 1.6 试用相量图代替式(1.3.1), 证明相电压为 220 V 时的线电压为 380 V 。
- 1.7 试用相量图代替式(1.3.2)、式(1.3.3), 证明平衡负载情况的中线电流等于 0。
- 1.8 某实验室为 220 V 单相供电, 设备的最大用电量为 1 kW 。现有 3 A 、 5 A 、 10 A 三种保险丝, 你选用哪一种?
- 1.9 不能在总配电板的中线上安装保险丝、开关或其他断电器, 为什么?
- 1.10 说说保护地、参考地和信号地的作用和它们间的区别。
- 1.11 定义直接测量法和间接测量法, 定义直读法和比较法。

第2章 误差分析和数据处理

在做测量实验之后,不可缺少地要对测量所得数据进行处理和做误差分析。所以,测量实验人员必须了解和掌握:如何对测量数据进行整理、统计、计算或绘制曲线;并且能够对测量误差做出分析,了解误差的原因和特性,评定数据的可靠度,确定测量误差的正确表示法等,这些都是本章所要讨论的内容。

2.1 误差的表示法

2.1.1 误差基本表示法

在测量过程中,总是尽力想找出被测量的真实值,但由于测量仪器本身的不精确,测量方法的不完善,测量条件的不稳定,以及人员操作的失误等原因,都会使测量值和真实值有差异,这就造成测量误差。

如果测量误差过大,超过一定限度,测量的结果会变成无意义,失去使用价值。使用大误差的测量数据,有可能给工程应用带来危害和灾难。但是,过分要求精确,也会增加测量成本,造成浪费。

由于测量方法和使用仪表的不同,测量误差可以有多种表示法。这里,先介绍两种最基本的误差表示法:绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差

设对一个 A 量进行测量,其真实值为 A_0 ,而测量值为 A_x ,则测量的绝对误差的定义为:

$$\Delta A = A_x - A_0 \quad (2.1.1)$$

绝对误差 ΔA 是正(负),表示测量值大(小)于真实值。事实上,由于微观量值的离散性和不确定性,绝对的真实值是不可测知的。所以,上式中的 A_0 总是用更高一级的标准仪表的测量值 A (称为标准值)来代替,于是,上式可写成:

$$\Delta A = A_x - A \quad (2.1.2)$$

(2) 相对误差

绝对误差与标准值之比的百分数被定义为相对误差 γ ,即

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} \times 100\% \approx \frac{\Delta A}{A_x} \times 100\% \quad (2.1.3)$$