

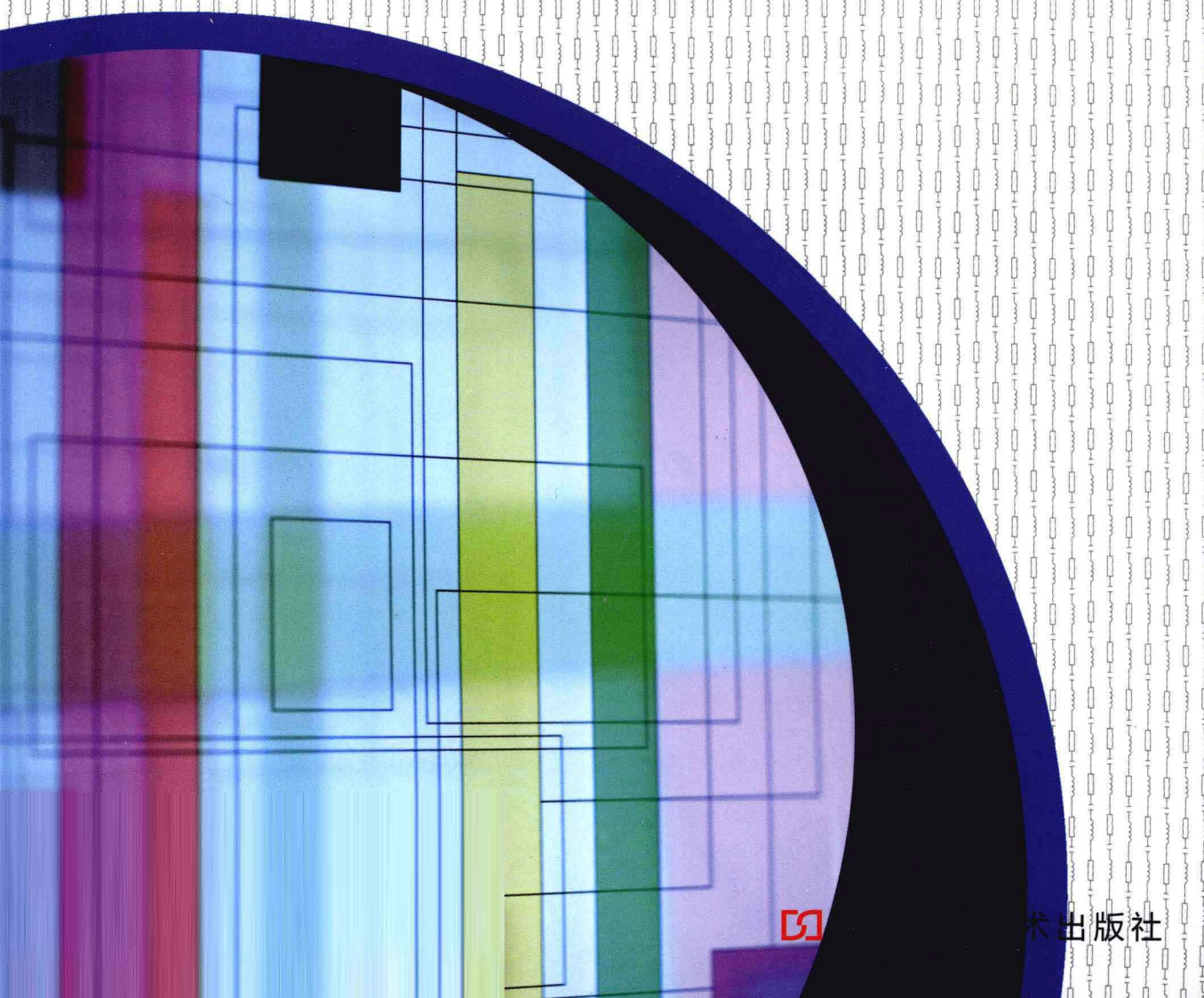
“十一五” 高职高专电气电子相关专业规划教材



DIANGONG JISHU SHIYAN JI FANGZHEN

电工技术实验及仿真

● 徐思成 翟卫青 主编



术出版社

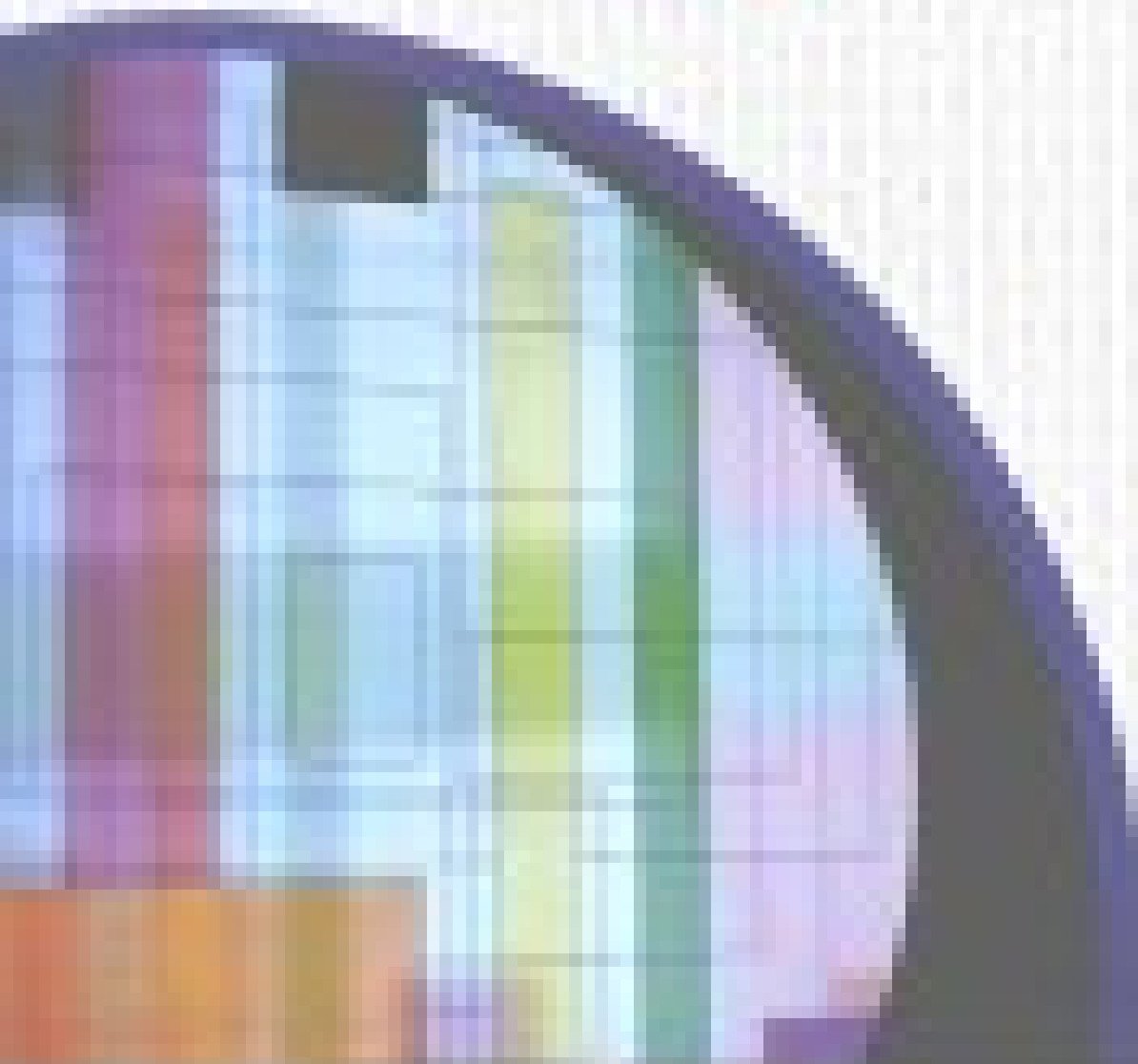
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



DIANGONG JISHU SHIYAN JI FANGZHEN

电工技术实验及仿真

主 编 王 强 副主编 王 强 王 强



“十一五”高职高专电气电子相关专业规划教材

电工技术实验及仿真

徐思成 翟卫青 主编

河南科学技术出版社

·郑州·

内 容 提 要

本书是根据高等学校电类专业电工技术课程的教学要求,为高等学校电类和电类相关专业编写的一本集基础性、综合性于一体的实践教材,是与电工电子基础课程规划教材相配合的实验教材。

全书包括电工实验基础知识、实验和附录3个部分。第1章为电工实验基础知识;第2章至第4章为电工技术实验及Multisim仿真,共36个实验;附录部分对电工实验中用到的实验设备、仪器仪表的原理与使用方法作了简单介绍。本书既可以满足教学需要,又可作为电工电子爱好者的参考资料。在使用本书时,根据专业及学时的不同,可对实验内容进行不同的组合,以满足电工电子实验教学的需要。

本书可作为本科、高等专科院校学生电工电子实验课程的教材或实验指导书,还可供从事电工工程技术人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术实验及仿真/徐思成,翟卫青主编. —郑州:河南科学技术出版社,2008.10
(“十一五”高职高专电气电子相关专业规划教材)
ISBN 978-7-5349-4086-6

I. 电… II. ①徐…②翟… III. ①电工技术-实验-高等学校:技术学校-教材②电工技术-仿真-高等学校:技术学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第149015号

出版发行:河南科学技术出版社

地址:郑州市经五路66号 邮编:450002

电话:(0371) 65737028

网址:www.hnstp.cn

策划编辑:孙 彤

责任编辑:孙 彤

责任校对:柯 姣

封面设计:李 冉

版式设计:栾亚平

印 刷:河南第一新华印刷厂

经 销:全国新华书店

幅面尺寸:185 mm×260 mm 印张:11.5 字数:256千字

版 次:2008年10月第1版 2008年10月第1次印刷

定 价:25.00元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系。

编委名单

主 编 徐思成 翟卫青
编 委 (按姓氏笔画排序)
王化冰 陈少鸿 徐思成
翟卫青 翟子楠
主 审 李德明

前 言

《电工技术实验及仿真》是高等学校电类各专业电工实验教材,本书力图体现以应用为目的的高等工程技术教育特点。既着眼于基本技能和动手能力的培养,又努力反映新技术、新方法。无论是内容还是形式都有特色和新意,凝聚了编著者所在院校教学改革的最新成果和经验。

全书由电工实验基础知识、实验和附录3个部分组成,其中,第二部分包括36个实验,供不同专业、不同学时及不同条件的实验室选做。

本书力求体现内容和编排的可选性,使学时不同的强电、弱电及机电一体化专业都适用。同时,本书内容便于实施灵活的教学方式,既可作为相应理论课的配套教材,与相应课程同步进行,也可单独设课(一个学期或一个学年内每个实验2~3学时)。在安排本教材的教学进度时,要重视理论和实践的紧密结合,实验要注意由浅入深、由易到难、循序渐进,才能取得最佳教学效果。

参加本书编写的有:河南质量工程职业学院的徐思成,编写了第2章实验2.1~2.12;平顶山学院的翟卫青,编写了第2章实验2.13~2.21;平顶山学院的王化冰,编写了第1章、附录;河南质量工程职业学院的陈少鸿,编写了第3章;平顶山学院的翟子楠,编写了第4章。全书由徐思成副教授、翟卫青副教授担任主编,负责本书内容的组织和定稿。平顶山学院的赵志敏、王艳辉,河南质量工程职业学院的魏波,平顶山教育学院的姚波涛等几位老师为本书的编写提供了很多帮助。李德明副教授担任本书主审,对全书的内容和形式提出很多宝贵的意见和建议,编者在此表示诚挚的谢意。

本书在编写过程中,参考了大量的国内外著作和资料,在此向相关作者表示衷心的感谢!

本教材是平顶山学院、河南质量工程职业学院、平顶山教育学院等多所院校教学改革的产物,尚有许多不足之处,恳切希望得到专家及同行的批评指正,也真诚希望得到广大师生的意见和建议。

编者

2008年7月

目 录

第1章 电工实验基础知识	1
1.1 测量误差基础知识	1
1.2 电工基本参数的测量	4
1.3 指针式电工仪表的工作原理	10
1.4 数字仪表的基本知识	17
1.5 实验室供电系统及安全用电	21
第2章 电工基础实验	26
2.1 线性元件与非线性元件伏安特性的测定	26
2.2 基尔霍夫定律的验证	29
2.3 电压源与电流源的等效变换	33
2.4 叠加定理	37
2.5 戴维宁定理和诺顿定理	39
2.6 一阶电路实验	44
2.7 三表法测定交流电路等效参数	47
2.8 正弦交流电路中 R 、 L 、 C 的特性实验	51
2.9 改善功率因数实验	54
2.10 互感电路实验	58
2.11 三相交流电路负载的连接	62
2.12 三相负载功率的测量	67
2.13 单相变压器实验	70
2.14 三相变压器	75
2.15 笼型三相异步电动机实验	78
2.16 绕线型三相异步电动机实验	82
2.17 三相同步电动机实验	85
2.18 三相同步发电机实验	88
2.19 直流发电机实验	90
2.20 直流电动机实验	93
2.21 设计和组装欧姆表	96
第3章 Multisim 2001 电路仿真软件	102

3.1	Multisim 2001 软件简介	102
3.2	学习建立仿真电路	105
3.3	编辑电路元件	113
3.4	添加电路所需仪表	115
3.5	仿真电路	117
3.6	电路运行分析	118
3.7	产生仿真实验报告	121
第4章	基于 Multisim 2001 软件的仿真实验	123
4.1	基尔霍夫定律的验证	123
4.2	受控源的实验研究	126
4.3	叠加定理和齐次定理的验证	132
4.4	戴维南定理的验证	135
4.5	RC 一阶动态电路的响应	141
4.6	二阶动态电路的响应	146
4.7	R、L、C 元件阻抗特性的测定	149
4.8	R、L、C 串联谐振电路的研究	153
附录		156
附录1	TS—B 型通用电工实验台功能及结构介绍	156
附录2	DT890 型数字万用表使用说明	163
附录3	HG2173 型视频毫伏表使用说明	168
附录4	KH—DD 型交流数字毫伏表使用说明	168
附录5	D34—W 型功率表	170
附录6	兆欧表	173
参考文献		175

第1章 电工实验基础知识

1.1 测量误差基础知识

电工电子测量的方法按获得测量对象数值的渠道,一般分为直接测量法、间接测量法两种。直接测量法在测量过程中能从仪器、仪表上直接读出被测参量的波形或数值的大小;间接测量法是先对各间接参量进行直接测量,并将测得的数值代入公式,通过计算得到待测参量。电工电子测量获得的数据,因测量仪器、测量方法、测量环境、人为因素等的影响,测量结果往往偏离真实数值,产生测量误差。

1.1.1 测量数据的有效数字

1. 有效数字和有效数字位数 测量得到的结果往往都是近似值。例如,用电压表测量电压时,指针的位置如图 1-1-1 所示。此时电压读数可读成 27.5 V。很明显,2 和 7 这两个数字是准确的,称为准确数字;而未位的数字 5 则是根据指针在标尺的最小分格中的位置估计出来的,是不准确数字,称为欠准数字。准确数字和欠准数字在测量结果中,都是不可缺少的,



图 1-1-1 有效数字读取示意图

它们统称为有效数字,即从左边第一个非零的数字起到右边最后一个非零数字止所包含的数字。有效数字不但包含了被测参量的大小,也确定了测量的精度。在测试中,记录数据时读数只应保留一位欠准数字,超过一位欠准数字的估计数字是没有意义的。例如,如果将图 1-1-1 的电压读数读为 27.51 V,则末位数 1 是毫无意义的。保留有效数字位数的多少与小数点无关,如 27.5 和 275 都是三位有效数字。0 在数字之间或数字之末算做有效数字,而在数字之前不算做有效数字,如 5.80 和 5.8,两种写法表示的是同一个数值,但前者有 3 位有效数字,后者只有 2 位有效数字,反映了不同的测量精确度。另外,大数值与小数值要用幂的乘积形式表示,如 3 500 V 应记作: 3.5×10^3 V。在表示误差时,一般只取一位有效数字,最多取两位有效数字。

2. 有效数字的运算规则

(1) 修约规则:当有效位数确定后,可对有效位数右边的数字进行处理,即把多余位数上的数字全舍去,或舍去后再向有效位数的末位进一。这种处理方法叫做数的修约。它与传统的“四舍五入”方法略有不同。修约方法应按国家标准 GB 8170《数值修约规则》进行。

(2) 进舍规则: 进舍规则可概括为以下几句口诀: 四舍六入五不定, 五后非零则进一, 五后皆零视五前, 五前为奇数则进一, 五前为偶数则舍去。

(3) 删除规则: 对测量数据进行运算之前, 检查其中有无异常数据, 有则删除。

(4) 平均数有效位数的确定: 平均数的有效位数分下述两种情况确定:

1) 求 4 位以下的有效数的平均数时, 平均数的有效位数与和值的有效位数相同。

2) 求 4 位或 4 位以上的有效数的平均数时, 平均数的有效位数应比和值的有效位数多一位。

3. 有效数字的运算

(1) 加法运算: 若若干个小数位数不同的有效位数相加时, 以小数位数最少的数为标准数, 其余各加数的小数位数应修约成比标准数的小数位数多一位, 然后相加, 其和的小数位数与标准数的小数位数相同。

例: 计算 $3.513 + 4.5314 + 0.04$ 。

解: 各加数中, 0.04 的小数位数最少, 为 2 位小数; 所以其余各加数取 3 位小数, 然后相加; 其和取 2 位小数。其运算过程为

$$\text{原式} \approx 3.513 + 4.531 + 0.04 = 8.084 \approx 8.08$$

(2) 减法运算: 减法运算应分下述两种情况进行:

1) 当两个数值相差较大的有效数相减时, 运算法则与加法相同。

2) 当两个数值相差较小的有效数相减时, 运算法则与加法略有不同。先确定小数位数少的数为标准数, 另一数的小数位数应尽可能比标准数的小数位数多取几位, 以免舍去过小数位后相减而失去意义 (即差值为 0)。差值也应多取几位小数。

例: 计算 $7.86 - 7.8598$ 。

解: 这两数相差很小, 若仍按加法法则计算, 原式 $\approx 7.86 - 7.86 = 0$, 差值为 0, 失去意义。所以在计算中, 小数位数应尽可能多取几位; 或者不进行修约, 直接计算。即

$$7.86 - 7.8598 = 0.0002$$

(3) 乘除运算: 有效数相乘 (或相除) 时, 以有效位数最少的数为标准数, 其余各数修约成比标准数多一位有效数字的数, 然后进行计算。其结果的有效位数与标准数的有效位数相同。

例: 计算 $5.8763 \times 4.2347 \times 0.023$ 。

解: 式中, 0.023 的有效位数为 2, 所以其余两数应修约成有效位数为 3 的数, 然后进行计算, 其积取两位有效数字。其计算过程为

$$\text{原式} \approx 5.88 \times 4.23 \times 0.023 = 0.5720652 \approx 0.57$$

(4) 平方、开平方: 有效数的平方值, 其有效位数应比底数的有效位数多取一位; 有效数的平方根, 其有效位数也应比被开方数的有效位数多取一位。

例: 计算 2.15^2 、 4.87 , 并确定有效位数。

解: 根据计算法则, 所得结果的有效位数为 4。即

$$2.15^2 = 4.6225 \approx 4.622$$

$$\sqrt{4.87} \approx 2.2068076 \approx 2.207$$

1.1.2 误差的基本概念

一般来说,测量仪器的测量准确度通常用允许误差来表示,根据技术条件的要求,规定某一类仪器的误差的最大范围。允许误差的表示可以用相对误差,也可以用相对误差与绝对误差相结合的形式加以表示。

1. 绝对误差 测量仪表的指示值 X 与被测参量真实值 A_0 之间的差值,称为绝对误差,用 ΔX 表示,即

$$\Delta X = X - A_0$$

式中,真实值 A_0 是一个理想的概念。

在实际测量时,测量真实值一般采用两种方法:一是以高一级标准仪表的指示值 A 来代替 A_0 ,称为实际值;二是采用多次测量的结果的平均值 A 代替真实值。此时的绝对误差为

$$\Delta X = X - A$$

绝对误差是有单位、符号的值,其单位与被测参数单位相同,并不能说明测量的准确性。一般情况下,将与 ΔX 大小相等、符号相反的值,称为修正值,用 C 表示,即

$$C = \Delta X = A - X$$

利用修正值可求出测量仪表所表示的实际值,即

$$A = X - C$$

仪器仪表的修正值通常由生产厂家随仪器仪表以数据表或曲线给出,用于对仪器仪表的读数值的修正。

2. 示值相对误差 γ_x (又称相对真值误差) 它是绝对误差 ΔX 与仪表指示值 X 的比值,用百分比表示,即

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

相对误差只有大小,没有单位。在比较测量结果的误差程度时,仅有绝对误差是不够的。实际测量中,一般用相对误差来表示误差的大小。为了减小相对误差,在测量电压和电流时,指针式仪表量程的选择应尽可能使指针接近满偏转(或满刻度的 $2/3$ 以上)。另外,用万用表测量时,所选择的量程应尽可能地使指针指到标尺中心位置附近,此时读数误差最小。

3. 满度相对误差 γ_m 满度相对误差是绝对误差 ΔX 与仪表满度值 X_m 的百分比,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

因为 γ_m 是用绝对误差 ΔX 与一个常数 X_m 的比值来表示的,所以实际上给出的是绝对误差的大小。若 γ_m 已知,则在同一量程内绝对误差是一个常数,因而可反映仪表的基本误差。

1.1.3 测量误差的产生和消除

从误差的来源和性质入手去认识误差并削弱、消除误差,是最根本的途径和极为有效的措施。误差的产生主要有以下几个方面:

1. 仪器误差 指仪器本身电气性能或机械性能不良造成的误差,如仪器校正不好、

刻度不准等造成的误差。消除的方法是预先对仪器进行校准, 配备性能优良的仪器, 并定期计量或校准。

2. 使用误差 也称为操作误差, 指在使用过程中仪器和其他设备的安装、调节、布置不正确或使用不当所造成的误差。减小使用误差的方法是测量前详细了解和掌握仪器的使用方法, 严格按操作规程使用仪器, 提高操作技能及分析能力。

3. 方法误差 指由于测试方法不够完善, 依据的理论不够严格, 或测量定义不明确, 过度的简化或近似等所导致的误差。减小方法误差, 首先要根据被测的对象选择合理的测试方法, 还要选择合适的仪器仪表, 进行科学的分析和计算。

4. 人身误差 指由于操作者测试习惯不良所引起的误差。例如, 读刻度盘时视角不垂直表盘, 读数时有偏大或偏小的习惯等。减小该误差, 应提高操作和测试技能, 改正不正确的测试习惯和方法。

1.1.4 测量结果的表示法

首先, 对于测量的误差值, 包括绝对误差、相对误差、不确定度、标准偏差等, 一般只需取一位到两位数字, 过多的位数通常没有什么意义。

其次, 被测量的量值最低位通常与误差最低位对齐。例如说某频率为 $3\,000.583\text{ kHz} \pm 0.068\text{ kHz}$ 等。

另外, 如果被测量的量值本身低位数字的位比误差低位数还低, 特别是这个量值是经过某些计算包含了较多位数的情况下, 这时应把多余的位数按舍入规则处理掉, 即从与误差最低位对齐处截断。

例如, 计算某电压测量值的算术平均值为 $y = 1.3666\,7\text{ V}$, 测量误差为 $\pm 0.31\text{ V}$, 则最后给出测量结果为 $y = (1.37 \pm 0.31)\text{ V}$ 。

1.2 电工基本参数的测量

1.2.1 电流的测量

测量直流电流通常采用磁电系电流表, 测量交流电流主要采用电磁系电流表, 比较精密的测量可以使用电动系电流表。测量电流时, 测量机构应串联在被测电路中, 如图 1-2-1 所示。

磁电系测量机构允许通过的电流很小。为了扩大量限, 可在测量机构两端并联分流电阻 R_n , 如图 1-2-2 所示。实验室中常用的为多量限电流表, 它们并联的分流电阻不同。分流电阻又称为分流器, 它有内附式和外附式两种。电磁系和电动系测量机构通入的电流进入固定线圈, 可以通入较大的电流。因此, 它们的表头可以直接测量较大电流, 其改变量限的方法是固定线圈分段串、并换接。如图 1-2-3 所示为电磁系电流表改变量限线圈的换接方法。电动系电流表改变量限的换接方法与电磁系电流表基本相同, 只是要注意测量大电流时, 可动线圈与固定线圈并联。

为了使电路工作不因电流表的接入而受到影响, 其内阻必须很小。因此, 如果不慎将电流表并联在电路两端, 电流表将被烧坏。这一点使用时必须特别注意。

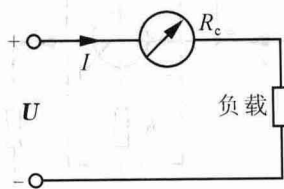


图 1-2-1 磁电系测量机构直接接入电路

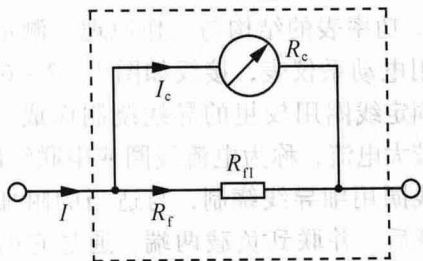
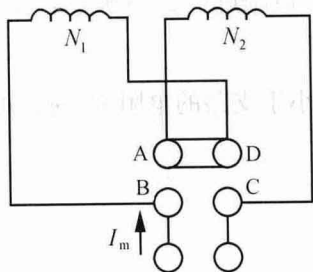
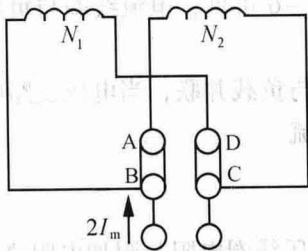


图 1-2-2 磁电系电流表的分流



a. 线圈串联



b. 线圈并联

图 1-2-3 电磁系电流表双量限接换示意图

1.2.2 电压的测量

测量直流电压常用磁电系电压表，测量交流电压常用电磁系和电动系电压表。电压表测量电压时，必须并联到被测电路，如图 1-2-4 所示。

不管将哪种测量机构并联到电路上，所能测量的电压都很小。为了扩大量程，必须将表头与分压电阻串联。多量限的电压表，有标明不同量限的接线端钮，这些接线端钮分别与不同的分压电阻串联，如图 1-2-5 所示。为了使工作电路不因并入电压表而受到影响，要求电压表的内阻必须很高。磁电系电压表的内阻比电磁系和电动系的内阻大，使用时注意选择。

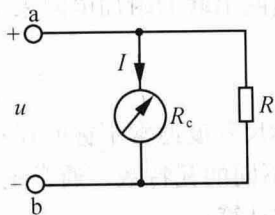


图 1-2-4 电压表测电压

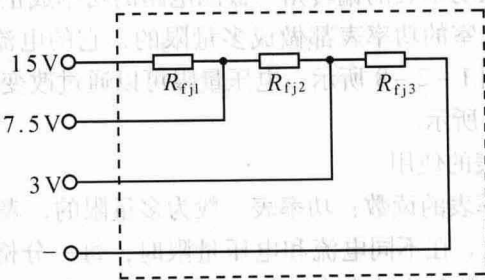


图 1-2-5 电压表扩大量限

1.2.3 功率测量

1. 功率表的结构与工作原理 测量功率使用电动系仪表, 接线如图 1-2-6 所示。固定线圈用较粗的导线绕制而成, 可通过较大电流, 称为电流线圈或串联线圈; 可动线圈用细导线绕制, 与适当的附加电阻串联后, 并联到负载两端, 通过它的电流大小与负载电压成正比, 称为电压线圈或并联线圈。图 1-2-6 虚线框中为功率表 (注: 图中“*”号为“同名端”标记)。

由图 1-2-6 可见, 电流线圈与负载串联, 即 $i_1 = i$ 。

电压线圈与负载并联, 当电压支路的感抗远小于支路的电阻 R_2 时, 可以认为通过电压线圈的电流

$$i_2 = \frac{U}{R_2}$$

式中, R_2 为电压线圈电阻与附加电阻之和。

将 i_1 和 i_2 代入仪表的读数方程中, 可得

$$\alpha = KI_1 I_2 \cos\psi = KI \frac{U}{R_2} \cos\psi = K_p IU \cos\psi \quad (1-2-1)$$

式中, K_p 为功率表的系数; ψ 为两线圈电流的相位差角。

设电路负载为感性负载, 所以它在相位上滞后电压 φ 角; 而电压线圈的电流, 在认为支路感抗远小于支路电阻时, 电压支路电流与电压同相, 即可认为 $\psi = \varphi$, 如图 1-2-7 所示。由此, 式 (1-2-1) 可写成

$$\alpha = K_p IU \cos\varphi = K_p P \quad (1-2-2)$$

可见, 电动系功率表的偏转角与被测电路的功率成正比。

通常实验室的功率表都做成多量限的, 它的电流量限利用电流线圈的串、并联接改变, 如图 1-2-8 所示。电压量限可以通过改变电压线圈串联的附加电阻来实现, 如图 1-2-9 所示。

2. 功率表的使用

(1) 功率表的读数: 功率表一般为多量限的, 表面的标尺刻度通常不标明瓦特数, 而只是分格数。在不同电流和电压量限时, 每一分格代表不同的瓦特数。通常把每一格代表的瓦特数称为功率表的分格常数, 用 C 表示, 按下式计算:

$$C = \frac{U_n I_m}{a_m} \quad (\text{W/格}) \quad (1-2-3)$$

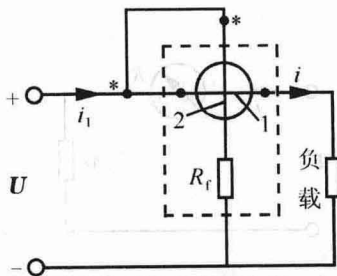


图 1-2-6 电动系功率表

1. 固定线圈 2. 可动线圈 R_f 附加电阻

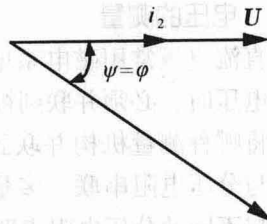


图 1-2-7 负载为感性时功率表的矢量图

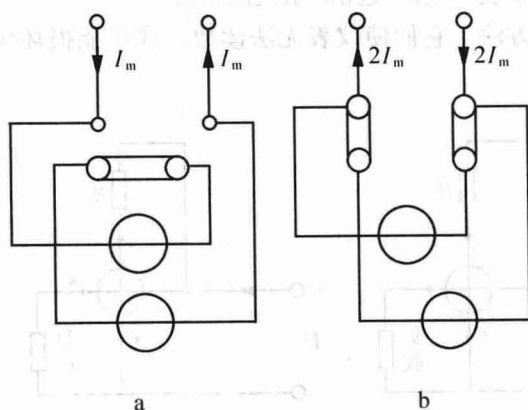


图 1-2-8 改变功率表电流量限接线图

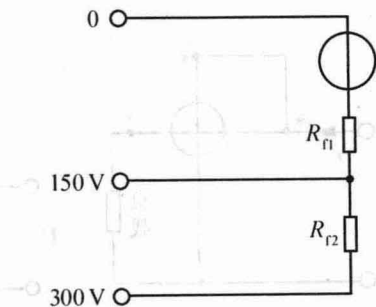


图 1-2-9 多量限功率表电压支路

式中, U_m 为功率表所使用的电压量限; I_m 为功率表所使用的电流量限; a_m 为功率表标尺的满刻度格数。

读数时, 先读得偏转格数, 即可得到被测功率的值为

$$P = Ca \quad (1-2-4)$$

式中, a 为指针偏转格数。

(2) 功率表的量限选择: 在选用功率表时, 不仅要注意功率表的瓦特数, 更重要的是被测电流值和电压值不能超过功率表的电流量限和电压量限; 否则, 会损坏功率表。

(3) 功率表的接线: 功率表有两个独立支路, 为了使接线不发生错误, 通常在电流支路的一端和电压支路的一端标有“*”或“±”等特殊标记(或称同名端、发电机端)。功率表正确的接线规则如下:

标有“*”号的电流端钮必须接到电源一端, 而另一端钮接至负载。电流线圈是串联接入电路的。

标有“*”号的电压端钮, 可以接到电流线圈的任一接线端, 而另一电压端钮接到负载的另一端, 即电压线圈并联接入电路。图 1-2-10 为功率表的正确接线。

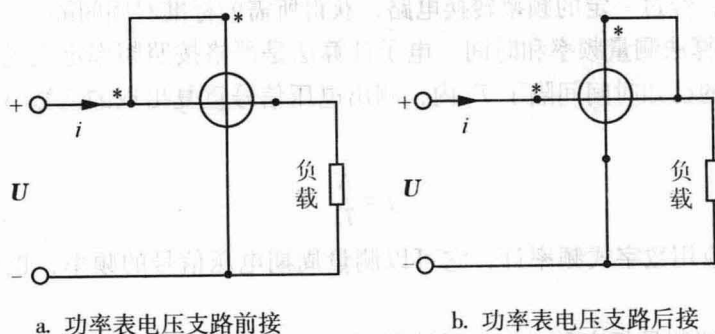


图 1-2-10 功率表的正确接线

图 1-2-10a 的接法适用于负载阻抗远大于功率表电流线圈的阻抗的情况, 而图

1-2-10b的接法适用于负载阻抗远小于功率表的电压支路的阻抗的情况。

图 1-2-11 为功率表的几种错误接线方法。它们使仪表无法读数,或可能损坏仪表。这几种接法是不允许的。

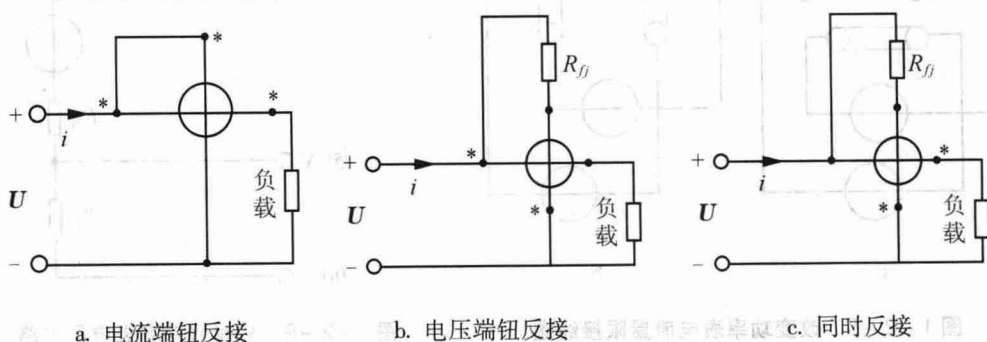


图 1-2-11 功率表的几种错误接线

1.2.4 频率和时间的测量

频率是电子技术中的最基本的参数,它与其他电参数都有密切关系,故在物理量中显得特别重要。频率与周期互为倒数,即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-2-5)$$

这表明 f 频率不仅是电信号的基本参数,而且也是计时的重要参数。所以,频率和时间可以共用一个基准。将此基准统称为时间频率基准,简称为时频标准。

时频标准的研究工作不断取得巨大进展和成果。过去,采用天文测量定标,现在,已采用原子频率标准(即量子频率标准)定标。其准确度可达 10^{-3} 量级,使时间频率的计量进入了一个崭新阶段。目前的电子测量中,频率测量的精确度最高。

必须指出,并不是所有测量场合都需要用这种极高精确度的标准来测量的。测量精确度的高低应取决于测量任务和具体要求。如在实验室里研究频率对谐振回路和回路参数的影响时,频率的精确度有 $\pm 1 \times 10^{-2}$ 量级或稍高些就足够了。在测定广播电视发射设备的频率时,其精确度应达到 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 量级。因此一般用频率稳定度很高的石英晶体振荡器,经过一定的频率转换电路,获得所需的标准时间间隔。

1. 电子计算法测量频率和时间 电子计算法是严格按照频率定义进行测量的,它是在某个准确的已知时间间隔了 T_0 内,测出电压信号重复出现的次数 N ,然后计算出频率 f ,即

$$f = \frac{N}{T_0} \quad (1-2-6)$$

目前广泛应用数字式频率计,它可以测量周期电压信号的频率,也可测量周期时间。

2. 用示波器测量频率和时间 示波器是实验室中的常用仪器,用它测量频率和周期简便易行。当测量精确度要求不高时,经常采用这种方法。

(1) 利用定量扫描测量频率:示波器都有 X 轴水平扫描系统,它是一个线性度良

好的锯齿波电压,使得光点的 X 轴位移与时间呈线性关系。目前广泛采用对 X 轴扫描时间进行定量校正后,再把定量值直接刻度在控制旋钮的各挡上。例如SR—071B型双踪示波器,当 X 轴扫描速度置于校正挡时,其扫描速度由选择波段开关位置上的对应值决定。例如 $1\mu\text{s}/\text{cm}$ 、 $10\text{ms}/\text{cm}$ 等,表示荧光屏上 1cm (相当一大格)的扫描时间分别为 $1\mu\text{s}$ 和 10ms 。

有了扫描时基标准,就能测量信号的频率,而示波器上显示的稳定波形,至少包含一个完整的周期。如果考虑到 X 轴扫描对被测信号的时间延迟,最好显示两个周期以上的电压波形。读数方法如下:

1) 读出一个周期的时间测出两个相邻周期信号同相点之间的 X 轴上的间隔 D_0 (cm),然后乘以扫描速度 v ,则周期时间为

$$T = D_0 v \quad (\text{s}) \quad (1-2-7)$$

2) 读出 N 个周期波占有的时间:测出 N 个周期波同相点之间的距离 D (cm),扫描速度 v ,则周期时间为

$$T = \frac{1}{N} \cdot D \cdot v \quad (\text{s}) \quad (1-2-8)$$

频率为

$$f = \frac{1}{T}$$

注意:有的示波器有扫描“扩展”,一般为 $\times 5$ 或 $\times 10$ 倍,它可以使波形在水平方向按倍率扩展,使扫描速度扩大相应的倍数。实际读数时,应把扫描时基选择位置上的刻度值除以相应的倍数。

(2) 用李沙育图形测量频率:断开示波器的内部扫描电路,一般可将时基扫描选择置于“外”,表示 X 轴由外部输入。而SR—071B型双踪示波器是将 Y_2 通道的 $X-Y$ 显示开关拉出,从 Y_2 输入作为 X 轴的输入端,然后在示波器的 Y 轴和 X 轴输入两个简谐信号,荧光屏就显示出李沙育图形,如图1-2-12所示。假设被测频率为 f_Y 的信号加在 Y 轴输入端,已知标准频率为 f_X 的信号加在 X 轴输入端。

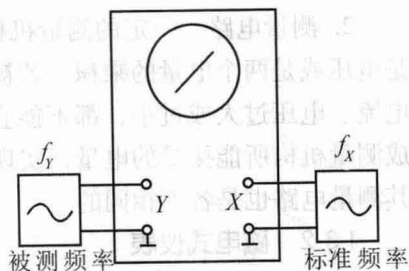


图 1-2-12 测频率线路连接示意图

当调节标准信号源的频率 f_X ,使得两个信号的频率相等,即 $f_Y = f_X$ 时,其李沙育图形为一条直线或一个圆,或一个椭圆。图1-2-13表示出了两信号之间的相位差从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 变化时李沙育图形的变化。由于 f_Y 和 f_X 有偏差,两信号之间的相位差将随时间而变,相位差从 0° 变到 360° ,李沙育图形将转动一周,所需时间相当于一个差频 $F (=f_Y - f_X)$ 的周期,也就是说, f_X (可看做基准 f_0)和 f_Y 的频差越大,图形转动得越快。所以,我们可测量李沙育图形转动一周所需的时间,就不难求得频差

$$F = \frac{1}{T} - \frac{1}{t} \quad (1-2-9)$$

则被测频率源得频率准确度