

电工技术与电子技术 实验指导

清华大学电机系电工学教研组集体编写

唐庆玉 审

Guide to Experiments on Electrical and Electronic Engineering

Guide to Experiments on Electrical and Electronic Engineering

Guide to Experiments on Electrical and Electronic Engineering

Guide to Experiments on Electrical and Electronic Engineering



清华大学出版社

电工技术与电子技术 实验指导

清华大学电机系电工学教研组集体编写

唐庆玉 审

Guide to Experiments on Electrical and Electronic

Guide to Experiments on Electrical and Electronic Engineering

Guide to Experiments on Electrical and Electronic Engineering

Guide to Experiments on Electrical and Electronic Engineering

清华大学出版社
北 京

MAY 25/03

内 容 简 介

本实验指导适用于大专院校非电专业多学时电工学课程的实验教学。其实验内容有两部分:第一部分电工技术实验,编有 11 个实验,包括基本电工仪表的使用、正弦交流电路、RLC 串并联电路的频率特性、三相电路、RC 电路的过渡过程、三相异步电机的继电器接触器控制、可编程控制器(PLC)及电路的计算机仿真等;第二部分是电子技术实验,编有 19 个实验,包括晶体管放大电路、直流稳压电源、可控硅单相半波整流电路、模拟运算电路、波形产生电路、有源滤波器、逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形产生及整形电路、A/D 转换器、D/A 转换器、复杂可编程逻辑器件(CPLD)及电子线路的计算机仿真等。在每部分实验中,既有基本型实验,又有设计型实验和综合型实验,进而还有计算机仿真实验。每个实验中包括多个具体实验题目。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术与电子技术实验指导/清华大学电机系电工学教研组集体编写. —北京:清华大学出版社,2004
ISBN 7-302-07880-7

I. 电… II. 清… III. ①电工技术—实验—高等学校—教学参考资料 ②电子技术—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM-33 ②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 124784 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:王一玲

文稿编辑:魏艳春

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:11 字数:223 千字

版 次:2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-07880-7/TM·48

印 数:1~3000

定 价:15.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前言

清华大学“电工技术与电子技术”课程 1993—1999 年连续三届被评为清华大学最优秀的“一类课程”。1997 年进入“211 工程建设”项目,并于 2001 年通过验收。2002 年又进入清华大学“100 门精品课”建设项目。本实验指导是在多年进行课程改革和实验改革的基础上编写的,内容十分丰富,既有经典的实验,又有反映最新技术的实验;既有验证性的实验,又有设计型和综合型的实验;既有硬件的实验,又有软件的实验。可对学生进行全面的实验技能和动手能力的训练。

本实验指导的内容有两部分:第一部分是电工技术实验,编有 11 个实验,第二部分是电子技术实验,编有 19 个实验。大部分实验中,包括有基本实验和小的设计型实验。基本实验给出了实验线路和实验方法,而设计型实验的实验线路和实验方法都由学生自己拟订,由教师审查后方可进行实验。每个实验在 3 个学时内完成。

为了反映电工电子技术的最新技术的发展,本实验指导还编写了可编程控制器(S7-200 型 PLC)实验、复杂可编程逻辑器件(CPLD)实验和计算机仿真实验等反映最新技术的内容。这三类实验都是属于软件方面的设计实验。

本实验指导的基本实验部分已在清华大学使用了十多年,可编程控制器(S7-200 型 PLC)实验、复杂可编程逻辑器件(CPLD)实验和计算机仿真实验也已使用了 4 年,获得了良好的教学效果。

本实验指导由清华大学电机系电工学教研室集体编写,参加编写人员有(排名不分先后)唐庆玉、刘廷文、卢瑞英、汪晓光、王士敏、王家森、段玉生、王艳丹、刘文武、徐建一、刘艳、冉凡英,由唐庆玉审阅。

本实验指导难免存在错误及不妥之处,希望使用本书的教师和同学提出宝贵的批评意见,以便修改。

编 者

2003 年 1 月

电工电子技术实验室规则

为了在实验中培养学生严谨科学的作风,确保人身和设备的安全,顺利完成实验任务,特制定以下规则。

- (1) 教师应在每次实验前对学生进行安全教育。
- (2) 严禁带电接线或拆线。
- (3) 接好线路后,要认真复查,确信无误后,方可接通电源。如无把握,须请教师审查。
- (4) 发生事故时,要保持镇定,迅速切断电源,保持现场,并向教师报告。
- (5) 如欲增加或改变实验内容,须事先征得教师同意。
- (6) 非本次实验所用的仪器、设备,未经教师允许不得动用。
- (7) 损坏了仪器、设备,必须立即向教师报告,并写出书面检查。责任事故要酌情赔偿。
- (8) 保持实验室整洁、安静。
- (9) 实验结束后,要拉下电闸,并将有关实验用品整理好。

实验报告的要求

规定一律用 16 开纸认真书写实验报告,并加上专用的实验报告封面整齐装订。实验报告所含具体内容要求如下:

(1) 实验目的

(2) 课前完成的预习内容

包括报告书所要求的理论计算、回答问题、设计记录表格等。

(3) 实验数据表格及处理

此处所指数据是课后根据实验原始记录整理重抄的正式数据,并按指导书要求做必要处理。

(4) 实验总结

即完成指导书所要求的总结、问题讨论及自己的心得体会。如有曲线,应在坐标纸上画出。

学生课前应做的准备工作

- (1) 阅读指导书,了解实验内容,明确实验目的,清楚有关原理。
- (2) 事先完成正式实验报告中的“实验目的”和“实验预习”两项内容,特别是预习实

验,必须在课前认真完成,否则不准做实验。

(3) 按实验指导书要求,设计原始数据记录表格,以备实验记录和课后整理用。

基本实验技能和要求

要求通过本课程的实验,能使同学们掌握实验的基本技能,希望同学们在实验中注意培养和训练。

1. 安全操作训练和科学作风

(1) 接线时最后接电源部分(拆线时应先拆电源部分),接完线后仔细复查。严禁带电拆、接线。出现事故时应立即断开电源,并向教师报告情况,检查原因。勿乱拆线路。

(2) 接完电路后,在开始实验前应做好准备工作

① 调压器三端变阻器的可动端应放在无输出电压位置上,或放在线路中电流为最小的位置上。

② 电压表、电流表或其他测量仪器(如万用表、数字万用表)的量程应置于经过估算的一挡或最大量程挡上。

(3) 合电源闸前要得到教师 and 同组人的允许。每次开始操作前应告诉同组的人,互相密切配合。加负荷或变电路参数时应监视各仪表,若有异常现象,如冒烟、烤糊味、指针到极限位置、指针打弯等,应立即断电检查。

(4) 注意各种仪表仪器的保护措施,如电流表的短路开关(防止电动机启动电流冲击);有些仪器用保险丝作过载保护,不得随便更换。监视仪表过载指示灯,过载跳闸机构,等等。

(5) 预操作(在实验前先操作和观察一下),其目的在于:

① 看电路运行及仪表指示是否正常;

② 看所测电量数据变化趋势,以便确定实验曲线取点;

③ 找出变化特殊点,作为取数据时的重点;

④ 熟悉操作步骤。

2. 一些实验技能

(1) 接线能力

① 合理安排仪表元件的位置,接线该长则长、该短则短,尽量做到接线清楚、容易检查、操作方便。

② 接线要牢固可靠。

③ 先接电路的主回路,再接并联支路。有些电路(如电机控制),主电路电流大用粗



导线,控制电路电流小则用细导线。

(2) 合理读取数据点

应通过预操作,掌握被测曲线趋势和找出特殊点:凡变化急剧的地方取点密,变化缓慢处取点疏。应使取点尽量少而又能真实反映客观情况。

(3) 正确、准确地读取电表指示值

① 合理选择量程,应力求使指针偏转大于 $2/3$ 满量程时较为合适,同一量程中,指针偏转越大越准确。

② 在电表量程与表面分度一致时,可以直读。不一致时则先读分度数,即记下指针指示的格数,再进行换算,并注意读出足够的有效数字,不要少读或多读。

(4) 配合实验结果的有效数字选择曲线坐标比例尺,避免夸大或忽略实验结果的误差。

3. 使用设备的一般方法

(1) 了解设备的名称、用途、铭牌规格、规定值及面板旋钮情况。

(2) 着重搞清楚设备使用的极限值。

① 着重搞清楚设备情况。要注意其最大允许的输出值,如调压器、稳压电源有最大输出电流限制;电机有最大输出功率限制;信号源有最大输出功率及最大信号电流限制。

② 对量测仪表仪器,要注意最大允许的输入量。如电流表、电压表和功率表要注意最大的电流值或电压值。万用表、数字万用表、数字频率计、示波器等的输入端都规定有最大允许的输入值,不得超过,否则会损坏设备。对多量程仪表(如万用表)要正确使用量程,千万不能用欧姆挡测量电压或用电流挡测量电压等。

③ 了解设备面板上各旋钮的作用。使用时应放在正确位置,禁止无意识地乱拨动旋钮。

④ 正式使用设备前应设法判断其是否正常。有自校功能的可通过自校信号对设备进行检查,如示波器有自校正弦波或方波,频率计有自校标准频率。

目 录

电工电子技术实验室规则	V
实验报告的要求	V
学生课前应做的准备工作	V
基本实验技能和要求	VI

第 1 部分 电工技术实验

实验 1 基本电工仪表的原理与使用	1
实验 2 简单正弦电路的研究	9
实验 3 RLC 串联电路的频率特性	12
实验 4 电感线圈与电容并联电路的频率特性	16
实验 5 两种 RC 电路的频率特性	19
实验 6 三相电路	22
实验 7 RC 电路的过渡过程	31
实验 8 继电器接触器控制电路	34
实验 9 可编程控制器(PLC)实验	39
实验 10 Spice 电路仿真实验	45
实验 11 Multisim 电路仿真实验	48

第 2 部分 电子技术实验

实验 12 单管放大电路的研究	51
实验 13 晶体管多级放大器与负反馈放大器实验	55
实验 14 直流稳压电源实验	59
实验 15 可控硅单相半波整流及交流调压实验	63
实验 16 模拟运算电路实验	66
实验 17 波形产生电路实验	70
实验 18 电压-频率转换电路实验	74
实验 19 有源滤波器实验	76
实验 20 运算放大器综合性实验	79

实验 21	基本逻辑门实验	82
实验 22	组合逻辑电路实验	84
实验 23	触发器和移位寄存器实验	88
实验 24	计数器实验	90
实验 25	脉冲波形的产生、整形和分频实验	95
实验 26	A/D 转换器、D/A 转换器实验	99
实验 27	数字电路设计实验	102
实验 28	复杂可编程逻辑器件(CPLD)实验	103
实验 29	Multisim 模拟电路仿真实验	113
实验 30	Multisim 数字电路仿真实验	120

第 3 部分 附录

附录 1	500 型万用表使用说明	125
附录 2	DH1718-E4 型双路直流稳压电源使用说明	129
附录 3	SS7804/7810 型示波器使用说明	131
附录 4	惠普 HP54603B 型示波器使用说明	137
附录 5	TDS210 示波器使用说明	140
附录 6	西门子 S7-200 型可编程控制器编程软件使用说明	142
附录 7	EE1642B1 型函数信号发生器使用说明	154
附录 8	部分数字集成电路组件引脚图	156
附录 9	TES -1 电子技术学习机使用说明	160

第 1 部分 电工技术实验

实验 1 基本电工仪表的原理与使用

1. 实验目的

- (1) 熟悉电压表、电流表、欧姆表的基本原理, 组装简易万用表;
- (2) 学习校验电工仪表的基本方法;
- (3) 了解基本电工仪表的使用常识及其对被测电路的影响。

2. 实验仪器设备

- (1) 简易万用表组装实验板;
- (2) 直流稳压电源;
- (3) 0.5 级标准直流电压表和直流电流表;
- (4) 500 型万用表;
- (5) 滑线变阻器, 标准电阻箱及电阻板。

3. 说明

(1) 图 1.1 所示为自装简易万用表原理图。其中 K_1 、 K_2 是两个机械上联动的“单刀多投”旋转开关, 旋转公共旋钮, 动端 (M 、 N) 可同时换位, 以改变测量功能及量程。

图 1.2 为简易万用表组装实验板的元件布置示意图。其中 K_1 、 K_2 被表达成平动式, 可理解为动端 M 、 N 两个箭头在上下两条组线上滑动, 同步换位。在实际万用表原理图中也经常采用这种方法表示旋转开关。

(2) 图 1.1 中, 表头满偏电流 $I_g = 100 \mu\text{A}$, 表头内阻 $R_g = 2.5 \text{ k}\Omega$ 。

(3) 待装万用表的测量功能及量程如下:

电阻挡: $\times 1 \text{ k}$ 量程 (即表盘读数 (Ω) $\times 1000$), 标称中心阻值为 $15 \text{ k}\Omega$;

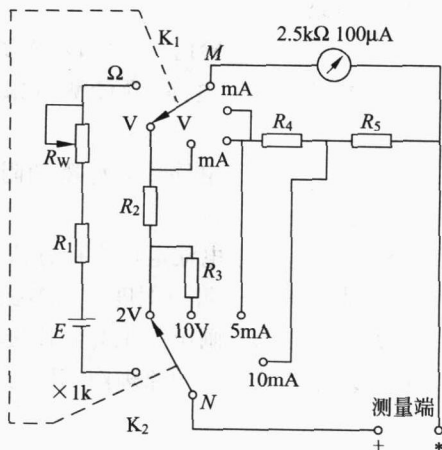


图 1.1

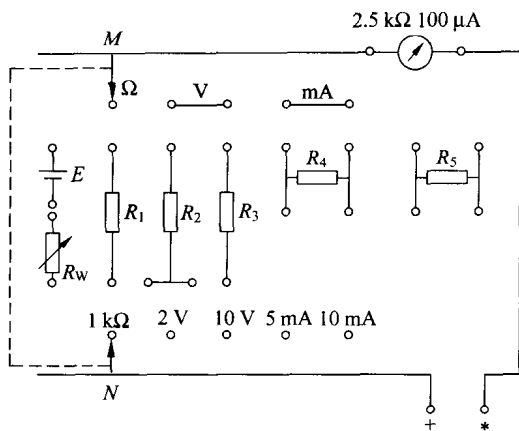


图 1.2

直流电压挡: 2 V 和 10 V 量程;

直流电流挡: 5 mA 和 10 mA 量程。

(4) 质量指标

电阻挡中心阻值相对误差 $< 10\%$;

直流电压、电流挡各量程的准确等级不低于 2.5 级。

4. 预习内容

(1) 仔细阅读附录 1、2 有关 500 型万用表和晶体管直流稳压电源的使用说明及本实验后的附录。

(2) 阅读各项实验内容, 理解有关原理, 明确实验目的。

(3) 根据图 1.1 电路, 弄清测量未知电阻 R_x 的原理, 写出能够说明测量原理的表达式。

(4) 计算图 1.1 电路中各电阻的阻值(设电池电压变化范围为 1.2 V ~ 1.7 V), 并说明 R_w 的作用是什么?

(5) 设图 1.1 中电池电压为标称值 1.5 V 时, 为使表头指针正好指在中间, R_w 应等于多少? 表盘中心的阻值刻度数为多少? (该值称为电阻挡的标称中心阻值)

(6) 根据图 1.1 画出图 1.2 的连接图。

(7) 设计实验 1-4 的原理图, 并写出实验步骤。

5. 实验内容

实验 1-1 初步掌握 500 型万用表的使用方法

- (1) 用该表测量实验板上电池的端电压 $E = \underline{\hspace{2cm}}$ V。
- (2) 测量实验板上各电阻的阻值, 记录于表 1.1 中, 并与预习内容(4)相比较。注意: 改换量程时, 务必重新调零。

表 1.1

R_1	R_2	R_3	R_4	R_5

思考题: 正在通电运行的某电阻 R 能否用万用表 Ω 挡直接测得 R 的阻值? 为什么?

实验 1-2 组装简易万用表

- 1) 按照图 1.2 在实验板上插接全部线路, 并认真复查。
- 2) 对自装万用表进行校验
 - (1) 校验电阻挡
 - ① 将换挡开关置于 Ω 挡。
 - ② 调零: 将两个测量表笔短接, 调节 R_w , 使表针指在 0Ω 处。
 - ③ 测量中心阻值相对误差: 用所装万用表测量图 1.3 中的标准电阻 R_{ab} , 调节电阻箱的阻值, 使表针在标称中心阻值处, 记录 $R_{ab} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ 。则有

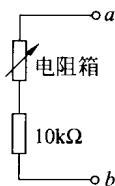


图 1.3

$$\text{中心阻值相对误差} = \frac{\text{被校表标称中心阻值} - R_{ab}}{R_{ab}} \times 100\%$$

- (2) 校验直流电压挡
 - ① 将换挡开关置于 2 V 挡。
 - ② 按图 1.4 接线, 其中 V_1 是标准表, V_2 是被校表。通电前, 应将滑线变阻器 R 调于最小输出位置。
 - ③ 将电源电压 U 调到 2.5 V 左右, 再调节滑线变阻器, 使被校表读数 U_2 依次为表 1.2 所列各值, 同时分别记下对应的标准表读数 U_1 。

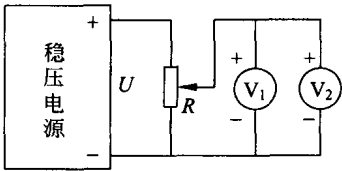


图 1.4

表 1.2

U_2/V	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
U_1/V					
β					

④ 计算各次测量的满刻度相对误差 β (引用误差)

$$\beta = \frac{U_2 - U_1}{\text{被校表量程}} \times 100\%$$

(3) 校检直流电流挡

将换挡开关置于 5 mA 电流挡, 将电源电压 U 调到 6 V。按图 1.5 接线, 其中 mA_1 为标准表, mA_2 为被校表。依照电压挡的检验方法, 完成表 1.3 的测量及计算任务。

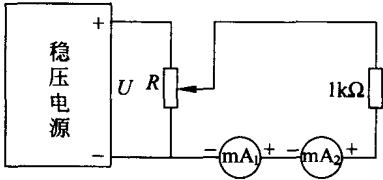


图 1.5

表 1.3

I_2/mA	1	2	3	4	5
I_1/mA					
β					

$$\beta = \frac{I_2 - I_1}{\text{被校表量程}} \times 100\%$$

思考题: 在图 1.5 中, 1 kΩ 电阻的作用是什么?

实验 1-3 研究电工仪表对被测电路的影响

按图 1.6 接线。分别用 500 型万用表的直流电压挡和 0.5 级标准直流电压表测量 A、B 两点间的电压,记录测量结果。A、B 两点间的电压理论值应该是 5 V,这两块表的测量误差是多少?记下这两块表的内阻并分析。

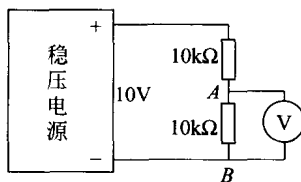


图 1.6

实验 1-4 设计型实验:验证戴维南定理

现有晶体管稳压电源一台(电压调节范围 0 V~30 V),万用表一台,标准电阻箱一台,10 kΩ 电阻两个,1 kΩ 电阻 1 个。试设计一个验证戴维南定理的方法,画出实验电路图,写出实验步骤,记录实验数据,并进行分析。

6. 总结要求

(1) 说明自装万用表的质量指标如何,并简要分析误差原因。

直流电压挡、直流电流挡的准确度等级确定方法如下:

若某一挡(如直流 2 V 挡)校验数据中

$$|\beta|_{\max} \leq 2.5\%$$

则该挡准确度等级不低于 2.5 级。

(2) 讨论实验 1-3 的测量结果。

(3) 整理思考题的答案,并回答如下问题:

① 自装万用表处于电阻挡时,红(接+号端子)、黑(接*号端子)两表笔中,哪只电位高,哪只电位低?试述利用万用表 Ω 挡鉴别二极管极性的方法。

② 在用万用表电阻挡测量电阻之前,需要做哪些准备工作?为什么?

附录 测量仪表的准确度与灵敏度

1. 误差及表达形式

将用实验手段测出的被测量的测量值与该量的标准值进行比较,其差值称为误差。有 3 类量值常被用作被测量的标准值。

(1) 真值(A_0)

真值就是被测量本身的真实值。真值一般是不可测出来的,因此真值也称为理论值或定义值。

(2) 指定值(A_s)

由国际组织或国家测量局设立各种标准器,并以它的测量值作为一种测量标准,这种标准值称为指定值。

(3) 实际值(A)

在一般测量工作中,不可能将所有的测量仪器都直接与国际或国家标准器进行校准,而只能用准确度高一级或高几级的仪器仪表测量值作为标准,这种标准值称为实际值。

(4) 误差的表示方法

① 绝对误差 ΔX

$$\Delta X = X - A$$

式中, X ——测量值(也称为示值);

A ——实际值。

② 相对误差 Δr

$$\text{实际相对误差: } \Delta r_1 = \frac{X - A}{A} \times 100\%$$

$$\text{示值相对误差: } \Delta r_2 = \frac{X - A}{X} \times 100\%$$

$$\text{引用误差(即满刻度相对误差): } \Delta r_3 = \frac{X - A}{X_m} \times 100\%$$

式中, X ——测量值;

A ——实际值;

X_m ——上量限值(即满刻度值)。

2. 电工仪表的准确度等级

在规定的工作条件下,由于仪表本身的原因造成的测量误差称为基本误差,由于使用不当(即工作条件不符合规定)而造成的除基本误差之外的误差称为附加误差。

因为仪表在不同刻度点的绝对误差略有不同,所以一般电工仪表的基本误差($\pm K\%$)常用最大的引用误差来表示,即

$$\pm K\% = \frac{(X - A)_{\max}}{X_m} \times 100\%$$

其中 K 称为仪表的准确度。

我国的仪表按其准确度共分为 0.1、0.2、0.5、1.0、2.0、2.5、5.0 七个等级。0.1、

0.2 级仪表通常选作标准表;0.5~1.5 级仪表多用于实验室;2.5、5.0 级仪表通常用于要求不高的工程测量。

由上面的公式可知,测量时可能产生的最大绝对误差为

$$(X - A)_{\max} = \pm K\% \cdot X_m$$

若读数为 X ,则测量结果可能出现的最大相对误差 Δr 为

$$\Delta r = \frac{\pm K\% \cdot X_m}{X}$$

例如,500 型万用表直流电压挡的准确度等级为 2.5,若用此表 50 V 量程挡去量 30 V 电压,可能出现的最大绝对误差是

$$\pm 2.5\% \times 50 = \pm 1.25 (\text{V})$$

最大的相对误差为

$$\frac{\pm 2.5\% \times 50}{30} = \pm 4.1\%$$

若用此表 500 V 量程挡去量同一个电压,则可能出现的最大绝对误差是

$$\pm 2.5\% \times 500 = \pm 12.5 (\text{V})$$

而最大的相对误差是

$$\frac{\pm 2.5\% \times 500}{30} = 41\%$$

仪表误差占被测量的 41%,测量结果就不可信了。由此可见,测量结果的准确度不仅与仪表的准确度有关,而且还与被测量的大小有关。所用仪表确定后,选用的量程越接近被测量值,测量结果的误差就越小。这就是使指针偏转角大于满刻度的 $2/3$ 以上才读取测量结果的原因。

3. 准确度等级的确定

以校验电压表 10 V 挡(直流)为例。若假定被校表 V_2 为 2.0 级,按规定要选用准确度比被校表高两级的表作为标准表,所以选用 0.5 级表作为标准表 V_1 。按图 1.7 所示接线。

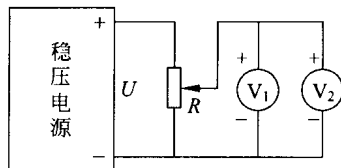


图 1.7

选取几个数据点来进行校验,记录数据并进行计算。

若

$$\frac{|(X-A)_{\max}|}{X_m} \times 100\% = \frac{|(X-A)_{\max}|}{10} \times 100\% \leq 2.0\%$$

则该表可定为 2.0 级。

若

$$\frac{|(X-A)_{\max}|}{X_m} \times 100\% = \frac{|(X-A)_{\max}|}{10} \times 100\% > 2.0\%$$

则应降低标准表的准确度等级,再按上述做法重新校核。

4. 灵敏度

灵敏度用来表示仪表对被测量的反应能力,它反映了仪表所能测量的最小测量。在指示仪表中,被测量的变化将引起仪表的可动部分偏转角变化,如果被测量变化了 ΔX ,引起偏转角相应变化 $\Delta\alpha$,则 $\Delta\alpha$ 与 ΔX 的比值就是仪表的灵敏度,用 S 表示,即

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X}$$

若灵敏度过高,量限可能过小,故不能单纯追求高灵敏度;而灵敏度过低,又不能反应被测量较小的变化。

万用表电压挡的灵敏度是用 Ω/V 来表示的。例如 500 型万用表 500 V 以下的直流电压挡灵敏度为 $20000 \Omega/V$,这就是说,500 V 以下的直流电压各挡,表头的满偏电流为

$$1 \text{ V}/20000 \Omega = 50 \mu\text{A}$$

选用 50 V 挡去量电压时,此表的内阻为

$$20000 \Omega/V \times 50 \text{ V} = 1000 \text{ k}\Omega$$

若选用 10 V 挡去量电压时,此表的内阻为

$$20000 \Omega/V \times 10 \text{ V} = 200 \text{ k}\Omega$$

由此可进一步分析仪表对被测线路的影响。