

高 等 学 校 教 材

电路与电磁场实验

赵录怀 主编
郭咏虹 应柏青 贺富堂 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

电路与电磁场实验

赵录怀 主编

郭咏虹 应柏青 贺富堂 编

高等教育出版社

内容提要

本书是教育部“九五”规划教材,是为“电路”和“电磁场”课程编写的实验与上机指导书,内容共分五章:绪论,电路实验,电路分析软件 PSpice,电磁场实验,电磁场的计算机辅助分析,可与邱关源主编《电路》(第五版)及冯慈璋、马西奎主编《工程电磁场导论》配合使用。

本书对传统实验内容和方法作了较大改革,注重培养学生的综合实践能力和计算机应用能力,可作为本科生“电路”和“电磁场”课程的实验与上机教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电磁场实验/赵录怀主编;郭咏虹,应柏青,
贺富堂编. —北京:高等教育出版社,2001.12

本科电气信息类专业教材

ISBN 7-04-010176-9

I. 电... II. ①赵... ②郭... ③应... ④贺...
III. ①电路—实验—高等学校—教材 ②电磁场—实验—高等学校—教材 IV. ①TM13-33 ②0441.4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 050811 号

电路与电磁场实验

赵录怀 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

电 话 010-64054588

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 12

字 数 280 000

版 次 2001 年 12 月第 1 版

印 次 2001 年 12 月第 1 次印刷

定 价 10.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

20 世纪 90 年代以来,国内许多高校对“电路”和“电磁场”两门课程的理论教学内容进行了体系调整以及与相关课程的整合,在精简传统内容的同时,也增加了一些新的科技知识。另外,本科计算机教育也在不断加强,学生的计算机应用能力较过去有了很大提高。在编写这本书时,我们注意处理实验教学与理论教学的关系,着力于培养学生的实践能力和创新意识,提高学生的计算机应用能力,为学生在今后的学习和工作中更新知识、学习现代技术奠定良好的基础。

本书内容共分为五章。第一章绪论,给出电工实验中的一些公共基础内容:实验课的基本要求,电工测量仪表的基础知识,有效数字及误差分析,实验故障分析与处理。本章内容可让学生在实验课前自学。

第二章电路实验,在精简、整合、更新传统内容后,实验数目减至 10 个,以小型综合性实验为主,另开辟一些超出理论教学基本要求的实验内容,主要是为了开阔学生视野,增加学生的工程概念和实际电路的调试能力。电阻网络的等效表示和正弦稳态电路的功率测量两个实验涉及多端网络的概念;线性动态电路的研究实验增加了功率 MOSFET 开关器件;耦合电感实验让学生运用所学知识自行设计电路观察互感现象;单相变压器实验让学生了解一些电路模型知识,并学习参数的测定方法。本书加强了运算放大器的实验内容,共有 4 个实验,其中 2 个涉及电路的振荡问题,要求学生在面包板上自插电路,自行调试,自行排除故障,有些实验要求学生用计算机进行仿真。在每个电路实验中,还给出了一些可供选择的研究课题,供学生在实验之余思考,或在开放实验中进一步从事实验研究。本章附录给出电工仪器仪表的使用方法和一些元件的基础知识。

目前,国外电路课程中的计算机辅助分析主要使用 PSpice、MATLAB 等软件,考虑到 PSpice 具有极为丰富的元件库,是从事电子设计自动化的专用软件,且该软件在本科毕业设计、工程电路设计和研究生教育中的使用越来越广泛,本书第三章介绍 PSpice 9 的基本功能和使用方法。相信该内容对电子电路基础、数字电路、电力电子电路等后续课程也会有裨益,学生也有能力用该软件对这些电路自行进行分析。尽管在新版本的 PSpice 中较为流行电路图形输入格式,作者认为要深入了解 PSpice 并进行编程方面的交流,特别是在初步使用该软件阶段,学习文本输入格式仍然是必要的,因此书中兼顾了这两种输入格式。

第四章电磁场实验,共有 4 个:静电场模拟,磁场的测量,无损耗均匀传输线,时变电磁场演示。这部分内容主要参考江家麟、宁超主编《电工基础实验指导书》编写。

第五章电磁场的计算机辅助分析,开发了 4 个上机内容:分别用有限差分法、模拟电荷法、用直接积分法计算电流线圈的磁场,有限元法解静电场边值问题。此外,本章还附有一个用 C 语言编写的有限元法源程序,供学生参考。鉴于本科阶段不开设计算方法课程,所以在本书中只介绍一些电磁场数值计算的基本方法和思想,要求学生能够针对简单工程问题,用 C 语言、FORTRAN 语言或 MATLAB 软件自编程序,旨在让学生了解电磁场的一些基本数值计算方法,提高

AKR35/09

学生的编程能力,同时也为今后电磁场通用软件的使用打下必要的基础。

本书由赵录怀、郭咏虹、应柏青、贺富堂编写,由赵录怀主编。邱捷副院长为本书的写作从行政上予以大力支持,并对电磁场实验部分的书稿作了认真修改,马西奎教授对电磁场的计算机辅助分析内容的编写予以耐心指导,在此表示感谢。

本书承西北工业大学段哲民教授仔细审阅并提出宝贵意见,编者向他致以衷心的感谢。

限于作者的水平和实践经验,书中定有不少疏漏和不足之处,敬请读者赐教。来信请寄西安交通大学电气工程学院(邮编 710049)。

编者

2000年11月

责任编辑	刘激扬
封面设计	刘晓翔
责任绘图	朱 静
版式设计	马静如
责任校对	殷 然
责任印制	韩 刚

目 录

学生实验制度	1	附录 2.F HG2172 型交流毫伏表	76
第一章 绪论	3	附录 2.G 电阻器、电感器和电容器	77
1.1 实验教学的基本要求	3	附录 2.H 运算放大器技术参数	83
1.2 测量仪表与测试方法	6	第三章 电路分析软件 PSpice	87
1.3 有效数字及误差分析	12	3.1 概述	87
1.4 实验故障分析与处理	15	3.2 PSpice 9 的上机操作步骤	91
第二章 电路实验	17	3.3 直流分析	96
2.1 电阻网络的等效表示	17	3.4 瞬态分析	107
2.2 示波器的使用	22	3.5 正弦小信号分析	115
2.3 线性动态电路的研究	31	3.6 PSpice 应用举例	120
2.4 正弦稳态电路功率的测量	36	第四章 电磁场实验	134
2.5 耦合电感	39	4.1 静电场模拟	134
2.6 单相变压器	41	4.2 磁场的测量	136
2.7 基本运算电路	46	4.3 无损耗均匀传输线	138
2.8 有源 RC 滤波器	53	4.4 时变电磁场演示	143
2.9 方波-三角波发生器	57	第五章 电磁场的计算机辅助分析	150
2.10 范德坡振荡	61	5.1 用有限差分法解静电场边值问题	150
附录 2.A MY-65 型数字多用表	65	5.2 用模拟电荷法解静电场问题	155
附录 2.B JWY-30F 型直流稳压电源	66	5.3 用直接积分法计算电流线圈的磁场	159
附录 2.C KENWOOD CS-4125 示波器	68	5.4 用有限元法求解静电场边值问题	163
附录 2.D XD22 型低频信号发生器	72	附录 5.A 有限元法源程序 YXY.C	174
附录 2.E 功率计	74	参考书目	182

学生实验制度

1. 实验室是教学实验和科学研究的重要基地,与实验无关的人员未经许可不得擅自进入实验室。学生在实验室进行教学实验必须遵守实验室有关的规章制度。

2. 学生实验前必须认真预习实验指导书,明确实验目的、步骤,初步了解实验所用仪器的性能、使用方法和安全注意事项,未经预习或无故迟到者,指导人员有权停止其实验。

3. 进入实验室不得高声喧哗,不得随便移动与本次实验无关的仪器设备等。不随地吐痰,不乱抛纸屑杂物,保持室内整洁卫生。实验室内禁止吸烟、吃东西,杜绝发生意外事故。

4. 实验中严格遵守操作规程,服从指导教师指导,仪器安装完毕经指导教师检查后方可进行实验。如实、认真作好原始记录,不得抄袭他人实验结果。

5. 爱护实验室仪器设备工具,如违反操作规程或不听从指导而造成仪器设备工具等损坏者,应按“实验器材借用、损坏、丢失赔偿暂行办法”进行处理。

6. 实验中注意安全,节约水、电、材料,遇到事故要立即切断电源、火源,报告指导教师进行处理。大的事故应保护好现场,等待处理。

7. 实验完毕应将仪器、工具、器皿归还原处,实验场所清理干净,经指导教师检查后方可离开实验室。

8. 实验后,学生必须以实事求是的态度认真分析实验结果,写出实验报告,不得抄袭或臆造,并应按时交送实验报告。

第一章 绪 论

1.1 实验教学的基本要求

一、实验教学的目 的

电路和电磁场实验是培养电气信息类工程技术人员实验技能的重要环节,是理论联系实际的重要手段。通过电路和电磁场实验培养学生利用实验手段去观察、分析和研究问题的能力,掌握仪器仪表的基本工作原理和使用方法,学习数据的采集与处理,并为后续课程学习打下良好的基础。随着计算机应用的普及,计算机辅助分析也已成为课程的重要组成部分,在实验课中加强计算机辅助分析的实践,对当代大学生来说是必不可少的。通过电路和电磁场实验教学应该达到以下目的:

(1) 培养学生严谨的科学态度和实事求是的科学作风。

(2) 训练学生基本的实验技能。要求学生能正确使用电压表、电流表、多用表、示波器、信号发生器、毫特斯拉计等仪器仪表,掌握基本的测试技术,具有分析、查找和排除电路故障的能力,具有正确处理实验数据、分析误差的能力,能写出严谨、有理论分析、实事求是、文理通顺的实验报告。

(3) 培养学生通过实验来观察和研究基本电磁现象及规律的能力,以加深对理论知识的理解。

(4) 培养学生独立设计实验的初步能力。

(5) 要求学生初步能用计算机进行电路和电磁场的分析与计算,能根据算法及框图编制简单的计算机程序,学习程序的调试方法。

总之,本实验教学的主要作用是对学生进行基本技能的训练,提高学生用基本理论分析问题与解决问题的能力,同时在实验过程中培养学生严肃认真的科学态度和细致踏实的实验作风,为今后的专业实验、生产实践与科学研究打下坚实的基础。

二、实验课前的准备工作

实验效果与实验预习的好坏密切相关。预习时一定要认真阅读实验教材中的有关内容和附录,对实验目的、要求、实验原理和可能采取的方法等有所了解,对被测量以及可能出现的现象和结果有一个事先的分析和估计,写出预习报告(是正式报告的一部分),对要完成的每个实验做到心中有数。只有这样才能主动地去观察实验现象,发现并分析问题,取得最佳的实验效果。否则达不到预期的效果和要求,甚至在实验中发生事故。

归纳起来,预习的重点包括:

- (1) 明确实验目的、任务与要求、估算实验结果;
 - (2) 复习有关理论,看懂实验原理和方法,熟悉实验电路;
 - (3) 了解有关实验仪器设备的性能及其使用方法;
 - (4) 写出预习报告。预习报告包括以下几方面:准备或设计实验数据表格;计算有关电路参量;了解本次实验所用仪器设备的使用方法、技术指标和操作注意事项;回答预习思考题。
- 对没有预习或没有完成预习报告的学生,指导教师有权停止当事人本次实验。

三、实验中应注意的问题

实验操作是实验的主要内容之一,也是培养学生动手能力的主要环节。进入实验室后学生应遵守实验室规则、学生实验守则等各项规章制度,实验中应注意的问题有以下几方面:

1. 养成良好的习惯

对第一次使用的仪器仪表,必须了解其性能和使用方法,并记录主要仪器设备的名称、型号和规格,切勿违反操作规程,乱拨乱调旋钮,尤其注意不得超过仪表的量程和设备的额定值。

根据实验电路合理布置实验器材。仪器设备的排放应遵循读数方便、操作安全、排放整齐、防止相互影响的原则。仪器仪表的放置应严格按照技术要求,严禁歪斜放置。

对不遵守实验规则、违反操作规程而损坏仪器设备者,除写出书面检查外,还要作出一定的经济赔偿。

2. 正确接线与检查线路

(1) 对初学者来说,首先应按照电路图合理布局与接线。根据电路的特点,选择接线步骤。对简单电路可先选一回路进行接线,然后再连接其他支路。对有些含有集成器件的电路,应按结点连线,以集成器件为中心,再连接其他元件。此外要考虑元件、仪器仪表的对应端、极性和公共参考点等是否连接正确。

(2) 避免导线之间相互交叉与缠绕,每个接线柱上不宜超过三个接线片,尽量减少因牵动一线而引起端钮松动、接触不良或导线脱落,确保电路各部分接触良好。

(3) 仪器仪表接线柱的松紧要合适,避免因过度用力而导致接线柱螺纹滑丝,使其无法拧紧。

(4) 改接线路时,应使实验线路的改动量尽可能地小,避免拆光重接。

(5) 线路接好后,一定要认真检查,确保实验线路无误、仪器仪表量程选择合理、电路参数正确,有的实验必须请指导教师复查接线后方可接通电源。

3. 安全操作

在接通电源前,要保证稳压电源或调压器的起始位置在零位,电路中限流限压装置是否放在使电路中电流为最小的位置。接通电源后,逐渐增大电压或电流,同时要注意各仪表的偏转是否正常,负载工作状况是否正常,电路有无异常现象(如声响、冒烟、有刺鼻气味等现象)。若有异常情况应立即切断电源并保护现场,仔细检查出现故障的原因。

接通电源后应粗测一遍,观察实验现象和结果的趋势是否合理。读数时要姿势正确,思想集中,防止误读。操作或读取数据时,切记不可用手触及带电部分。

改接或拆除电路时必须先切断电源。

4. 数据的读取和整理

(1) 实验开始不必急于记录数据,根据实验要求先做试探性操作,观察实验现象和数据分布规律,依据具体情况再做一定的调整。

(2) 将实验数据记录在事先准备好的表格中,并记录所用仪表仪器的量程或倍率。记录实验数据的多少可随数据变化的快慢而异(曲率较大处可多读取一些数据),保证所提供的数据能够描绘出一条光滑而完整的曲线。

(3) 有效数字的取舍要根据仪表量程和刻度盘实际情况决定,不能盲目增加或删除有效位数。

(4) 保持正确的读数姿势,确保仪表的“针和影”重叠成一条线。

5. 检查实验结果

数据测试完毕,应认真检查实验数据有无遗漏或不合理的情况,原始记录需经指导教师审阅签字后方能拆除线路,并将实验台上各种器件摆放整齐。原始数据应作为实验报告的附件。做实验报告时若发现原始数据不合理,不得随意涂改,及时与指导教师联系,采取可能的补救措施。

四、设计性实验

与常规教学实验相比,设计性实验偏重于实验知识、方法和技能的灵活应用,注重调动学生学习的主动性和积极性,培养学生分析问题和解决问题的能力。

进行设计实验研究的过程如下:(1) 确定实验课题;(2) 查阅相关文献资料;(3) 确定实验方案;(4) 实验操作;(5) 分析讨论实验现象;(6) 完成实验报告。在设计性实验中,应特别注重实验后的讨论,并列岀所查阅的主要参考资料。

实验方案的确定,不但要考虑其理论依据,还要考虑到现有的仪器设备、实验环境等(在电磁场实验中还必须考虑边界条件等因素),有时要综合考虑测量准备阶段的各种情况。一个实验方案的确定并不是惟一的,会受到诸多因素的影响。在有些情况下,一个实验课题要采用几种不同的方案进行对比试验,最后选出最佳方案。这就要求实验者不仅有扎实的理论知识,同时还要具有丰富的实践经验。

对指导教师提出的带有一定综合应用性或设计性任务的实验课题,学生可以依据有关理论,独立确定实验方案、选择仪器设备、拟订实验程序和注意事项,还可自行增加一些扩展性的测试内容和项目。此外,也可以利用计算机辅助分析的手段进行实验的设计。电路 CAD 涉及电路图的绘制、分析、印刷板布线等内容,PSpice 是目前电路分析和仿真实验中应用非常广泛的工具软件之一。

在确定实验方案时,应根据研究对象以及对测量精度的要求,列出各种可能的实验原理和计算公式,分析它们的适用条件、优缺点和局限性。最后选定合适的实验原理、实验仪器和最优的实验方案。

实验方案确定之后,需要进一步对实验中可能的误差来源、性质、大小作出初步的估算,选定适当的测量方法,力求测量误差最小。

在选择测量仪器时,主要考虑:(1) 仪器设备的标称值、量程、容量和准确度,以满足实验的要求;(2) 输出阻抗对测量线路影响最小;(3) 频率特性;(4) 稳定性。

一个好的实验设计方案,需要通过实践的检验,才能保证实验结果符合设计要求。

五、实验报告与数据整理

实验报告是实验工作的全面总结,整理实验结果是实验的重要环节,通过整理及编写报告可以系统地理解实验教学中所获得的知识,建立清晰的概念。因此,实验报告要求文字简洁,书写工整,曲线图表清晰,实验结论要有科学根据和分析过程。实验报告应包括以下内容:

- 实验名称和实验目的。
- 实验原理与说明。
- 主要仪器设备的名称、型号、规格和实验台编号。
- 实验任务。列出具体的任务与要求,画出实验电路图,拟定主要步骤和数据记录表格。
- 数据处理和曲线图表,进行数据处理时要注意有效数字和单位的正确表达。
- 实验结论、误差分析和实验体会。
- 回答预习思考题。

数据整理一般是对测量结果进行计算、描绘曲线、分析波形及实验现象,找出其中典型的能够说明问题的特征,从而说明电路的性质。

实验曲线是以图形的形式更直观地表达实验结果的语言。曲线应画在坐标纸上。坐标的分度要合理。坐标上以 x 轴代表自变量, y 轴代表因变量。坐标分度的选择应使图纸上任一点的坐标容易读数,为了便于阅读,应将坐标轴的分度值标记出来,每个坐标轴必须注明变量名称和单位。

曲线要细心绘制。通常实验数据在坐标纸上用“*”、“•”、“△”等不同的符号标出,连接曲线应尽量使用曲线板、电工模板等作图工具。曲线应光滑匀整,不必强使曲线通过所有的点,但应与所有的点相接近,同时使未被曲线经过的点大致均匀地分布在曲线的两侧。此外,在图上要加上必要的注释说明。

记录设备编号和实验台号也是必要的,以便在整理数据时如发现数据有误或异常,可以按原编号设备查对核实。预习报告作为附件,随实验报告一起交指导教师批阅。

1.2 测量仪表与测试方法

对于操作者来说,总希望所使用的仪器仪表具有测量准确、操作简单、显示清晰、自身功耗小、过载时不易损坏以及对环境要求较低等特点。因此指示仪表的技术要求通常包括准确度、灵敏度、标尺特性、仪表功耗、过载能力、频率范围、波形条件以及环境使用条件。

一、指示仪表的分类及其性能

根据是否需要将被测量和标准量进行比较,电工测量仪表分为直读式和比较式两大类。直读式仪表按显示方式又可分为模拟量指示仪表和数字量显示仪表。前者主要是电气机械式仪表,测量结果通过仪表指针在仪表标尺或表盘上读出,简称指示仪表;后者是用数字显示测量结果。

本节主要介绍常用传统指示仪表的基本结构、工作原理和技术特性。

电工测量指示仪表的种类很多,分类方法各异。根据常用仪表的工作原理将其分为磁电系、电磁系、电动系、静电系、感应系等,虽然它们的基本结构不同,但它们的主要作用都是将被测电量转换成仪表可动部分的偏转角位移。

电测量指示仪表由测量线路和测量机构两部分组成,如图 1.2-1 所示,测量机构是仪表的核心部分。

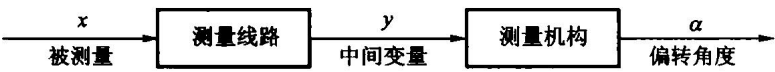


图 1.2-1 电测量指示仪表结构框图

仪表的测量机构可分为活动部分和固定部分,图 1.2-2(a)、(b)分别给出了磁电系和电磁系仪表测量机构的内部结构图。

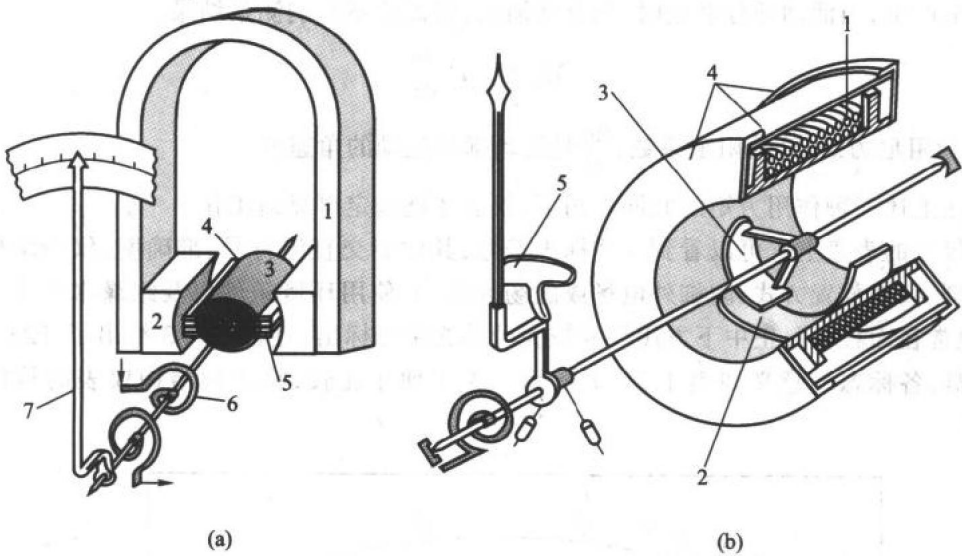


图 1.2-2 测量机构

(a) 磁电系仪表的测量机构

1——永久磁铁;2——极掌;3——铁心;4——铝框;5——线圈;6——游丝;7——指针

(b) 电磁系仪表的测量机构

1——固定线圈;2——固定铁心;3——可动铁心;4——磁屏蔽;5——阻尼器

测量机构的主要作用是：

(1) 产生转动力矩。转动力矩与被测量之间存在着一一对应的确定关系。最理想状态是转动力矩与被测量完全是正比关系,但实际上转动力矩通常还与仪表指针的偏转角有关,因此可以把转动力矩看作是被测量与指针偏转角的函数,可用下面的关系式表示

$$M = F(x, \alpha)$$

式中： M 为转动力矩； α 为偏转角； x 为被测量。

如果仪表的测量机构在 M 的作用下,引起的偏转角位移为 $d\alpha$,测量机构中的电场能量或磁

场能量记为 W , 则 M 对仪表可动部分所作的功 $Md\alpha$ 与该测量机构中电磁能量的变化量 dW 相等, 所以

$$Md\alpha = dW$$

当测量机构中电磁能量的变化量 dW 仅由仪表可动部分的偏转角位移 $d\alpha$ 引起时, 则

$$M = \frac{dW}{d\alpha}$$

(2) 产生反作用力矩。作用于活动部分, 用来平衡转动力矩 M

$$D = K\alpha = F(\alpha)$$

式中: K 为反作用力矩系数, D 为反作用力矩。当转动力矩 M 与反作用力矩 D 相等时, 仪表的活动部分就静止在平衡位置上。

(3) 产生阻尼力矩。作用于活动部分并与其运动速度成正比, 与运动速度方向相反的力矩, 它的作用是使仪表的活动部分更快地静止在最后的平衡位置上, 缩短测量时间。阻尼力矩只在运动过程中产生, 当活动部分静止时, 便自动消失, 因此它不影响测量结果。

$$M_p = -P \frac{d\alpha}{dt}$$

式中: M_p 为阻尼力矩; P 为阻尼系数; $\frac{d\alpha}{dt}$ 是活动部分运动的角速度。

只有在上述三种作用力矩的共同作用下, 仪表才能稳定可靠地工作。

指示仪表的表盘上常可以看到一些标志符号, 其中有交直流符号、准确度、仪表结构和作用原理的系列、仪表放置方式、防御外电场或磁场的级别、使用环境条件以及绝缘水平等。对于被测对象, 通常在面板标尺正中下方用尺寸较大的外文字母标出。图 1.2-3 给出了 T23—V 型电压表刻度盘, 各标志的意义如表 1.2-1 所示。为了便于比较, 将不同结构仪表的特性列在表 1.2-2 中。

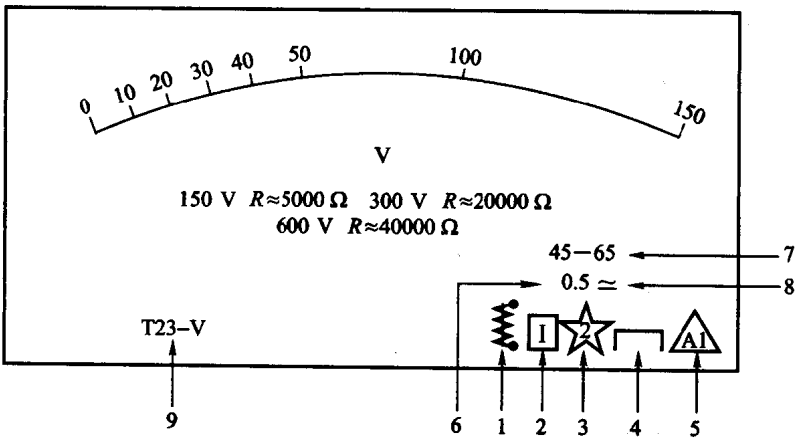


图 1.2-3 T23—V 型电压表刻度盘

表 1.2-1 T23—V 型电压表刻度盘符号含义说明

编号	含 义
1	电磁系仪表。不同的符号代表不同类型的仪表。
2	表示仪表防御外磁场的能力。一共有 I、II、III、IV 四个级别。
3	符号内部的数字表示仪表绝缘强度试验电压值。“2”表示绝缘强度试验电压为 2 kV,“0”表示不进行绝缘强度试验,符号内部没有数字时,表示绝缘强度试验电压为 500 V。
4	仪表水平放置。若需仪表垂直放置或与水平位置成一定角度放置时,则分别用垂直符号和一角度符号表示。
5	仪表容许的工作环境级别。
6	仪表准确度级别为 0.5 级。从 0.5~5.0 共有 7 个不同的级别。
7	仪表能保持准确度级别的额定工作频率范围。
8	工作状态符号,交、直流两用仪表。
9	第一个字母 T 是系列代号(T——电磁系、C——磁电系、D——电动系等);23 是设计序号;V 代表用途号(用国际通用符号表示)。

表 1.2-2 不同类型仪表的特性

仪 表 系 列	磁电系	整流式(磁电系)	电磁系	电动系
符号标记				
型号	C	L	T	D
测量电压、电流	直流或交流的恒定分量	交流平均值(正弦交流下刻度为有效值)	交流有效值或直流	交流有效值或直流(并可测交直流功率)
使用频率范围	一般用于直流	45~1 000 Hz,个别可达 5 000 Hz 以上	一般为 50 Hz,频率变化时,误差较大	一般为 50 Hz,个别可达 8 000 Hz
准确度	高 0.5 至 1.0 级	低 1.0 至 2.5 级	较低 0.5 至 2.5 级	高 0.5 至 1.0 级
功率损耗	小	小	大	大
波形影响		测量非正弦交流信号的有效值误差很大	可测量非正弦交流有效值	可测量非正弦交流有效值
外磁场防御能力	强	强	弱	弱
分度特性	均匀	接近均匀	不均匀	不均匀(作功率表时除外)
过载能力	小	小	大	小
驱动力矩(电流相同时)	大	大	小	小
主要应用范围	直流电表	多用表	交流电表	交流或直流电表

仪表准确度等级可分为七级,如表 1.2-3 所示。

表 1.2-3 仪表准确度等级

准确度等级指数	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本引用误差 %	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

外磁场对仪表指示值的影响,可采用磁屏蔽来减少其附加误差。仪表对外磁场的防御能力可分为 I、II、III、IV 四级,如表 1.2-4 所示。

表 1.2-4 仪表防御能力

测试条件	准确度等级	仪表读数允许误差 %			
		I	II	III	IV
400 A/m	0.1、0.2、0.5	±0.5	±1.0		
	1.0、1.5			±2.5	
	2.5、5.0			±2.5	±5.0

二、指示仪表的技术要求

(1) 准确度:指测量结果与被测量真实值之间的接近的程度。根据国家标准,指示仪表分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七个等级。准确度等级是按仪表基本引用误差(满刻度误差) γ_m 划分的,基本引用误差

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_m}{x_m}$$

其中: Δx_m 是仪表量程内的最大绝对误差, x_m 是测量仪表满刻度指示值。

(2) 灵敏度:测量机构可动部分偏转的角度与被测量的变化量之比,即单位被测量的偏转角。其表达式为

$$S = \frac{d\alpha}{dx}$$

式中: S ——仪表灵敏度; α ——可动部分的偏转角度; x ——被测量。

如果被测量 x 与偏转角 α 成正比例关系,则灵敏度 S 为一常数,与偏转角 α 无关,这说明仪表表盘为均匀刻度。由此可见,灵敏度取决于仪表的偏转性能,并与被测量性质有关。

例如将 $1\ \mu\text{A}$ 的电流通入微安表,若该表偏转 10 格,则其灵敏度 S 为 10 格/ $1\ \mu\text{A}$ 。不同类型仪表的灵敏度有时相差很大。仪表灵敏度反映了仪表所能测量的最小被测量。如果用不同类型的仪表测同一被测量时,其结构不同,即使有相同的电压灵敏度也可能有不同的电流灵敏度。

(3) 仪表的功耗

仪表在接入被测电路时,自身将消耗一些功率。功耗大小主要取决于仪表内的阻抗值。为了减小仪表的功耗,要求电压表的内阻应尽可能大,电流表的内阻应趋近于零,而功率表应同时具有上述特点。关于仪表功耗的考虑也要视实际被测电路而定。例如用电压表测稳压电源或大容量电源电压时,即使电压表的内阻抗较低,该电源的电压不会因仪表功耗大小而有所改变;相反,如果被测电路本身内阻抗高、容量小,即使仪表功耗不太大,也会导致被测电路工作状态的变化,从而引起测量方法误差。