

电工与电子技术 实验教程

主编：彭端

副主编：蒋力立

DIANGONG YU DIANZI JISHU SHIYAN JIAOCHENG



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

电工与电子技术 实验教程

主编：彭端

副主编：蒋力立

DIANGONG YU DIANZI JISHU SHIYAN JIAOCHENG



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电子技术实验教程 / 彭端主编. —武汉 : 武汉大学出版社, 2011. 6

ISBN 978-7-307-08820-7

I. ①电… II. ①彭… III. ①电工技术 - 实验 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM - 33 ②TN - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 104003 号

所有权利保留。

未经许可, 不得以任何方式使用。

责任编辑: 方 晴 责任校对: 赵宇星 封面设计: 王 勇

出版: 武汉大学出版社(430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

发行: 广东文舟图书有限公司(510520 广州市天河区天源路育龙居小区)

(电话: 020-37218297/37218285 电子邮件: qiu16888@163.com)

武汉格鲁伯语言文化有限公司(430074 武昌光谷 国际企业中心)

(电话: 027-87773552 电子邮件: books@globepress.cn)

印刷: 广州市怡升印刷有限公司

开本: 787×1092 1/16 印张: 25.5 字数: 621 千字

版次: 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-08820-7/TN·45 定价: 43.50 元

前 言

电工与电子技术实验是高等工科院校一门实践性很强的重要专业基础课程，目的是培养学生理论联系工程实际的能力、实践操作能力、分析和解决实际问题的能力以及综合应用的能力，在实验过程中培养学生严谨求实的科学态度和踏实细致的工作作风，培养学生的工程意识、创新意识，以适应未来实际工作的需要。

《电工与电子技术实验教程》是在总结广东工业大学近五十年的电工与电子技术实验教学经验和现代电工与电子技术实验教学改革的基础上编写完成的。本书综合了电工学实验、电工与电子技术实验仪器与仪表、电路实验、电工基础实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、电子技术基础实验、EDA 基础实验等专业基础课程的实验内容，满足电工与电子技术实验独立设课的教学要求，符合现代实验实践教学规律和学生实验实践的认知规律。教程中的实验内容可根据电类、近电类、非电类不同专业、不同学时、不同层次的实验教学要求灵活选择组合。

开设电工与电子技术实验课程的具体任务是培养学生的电工与电子技术实验实践基本能力，电工和电子技术基本仪器仪表的使用和应用能力，分析基本电路和电子电路的能力，基本电路和电子电路故障的判断、排除能力，以及培养基本的科技报告写作能力。

针对目前电工与电子技术实验教材存在的问题，我校电工电子技术实验中心为了适应高等教育大众化的要求，培养有技能的应用型人才，经过近四年的实验教学改革探索，组织教师总结实验教学经验，在独立设课的基础上，编写了《电工与电子技术实验教程》。本书编写的基本思想是遵循循序渐进、由易到难、由简单到复杂安排实验内容的原则，大部分实验设置了基本型实验（按教学大纲每位学生必须完成的基本实验）、提高型实验（能力强的学生选做实验）和开拓型实验（学生自主学习和探究实验），突出了每个基本型实验内容按 2 个学时安排、教师按 30 分钟讲授、学生能在 60 分钟时间内完成的特点，在学时有限的条件下，增加了学生的实验次数，提高了学生实践环节的重复率，提高了实践的教學质量和效果。教材对常用的电工与电子技术仪器仪表的原理和使用介绍得清晰而详细，对电路和电子技术理论知识的介绍简单、明晰、实用，包含了基本的硬件实验和 EDA 软件实验。实验步骤详细，测量数据的表格简单、清晰，且安排了多个设计型实验，可以根据实际教学情况来选用。作者们对每一个实验项目进行了专门的讨论和研究，分工写作，编写完成后又进行了实际操作和修改，以适应大规模、低故障实验教学的目标。

全书分为 6 章和附录 A、附录 B 共八个部分。第 1 章电工与电子技术实验基本知识，包括电工与电子技术实验课开设的目标和意义、实验的要求、实验故障排除及检测

的一般方法、实验室用电安全；第2章常用电工与电子实验仪器与仪表，包括电工与电子技术实验仪器与仪表的结构、原理、使用方法及注意事项；第3章电工基础实验安排了11个实验项目；第4章模拟电子技术实验安排了12个实验项目；第5章数字电子技术实验安排了10个实验项目；第6章可编程逻辑器件FPGA实验安排了12个实验项目。有些实践还包括了基本型实验、提高型实验、开拓型实验和FPGA实验。附录A和附录B分别汇编了电工与电子技术实验室常用仪器仪表和集成电路芯片，以便实验中查阅和参考。

本书由广东工业大学电工电子技术实验中心教师和工程技术人员共同编写完成，电工电子技术实验中心主任彭端教授担任主编，蒋力立高级实验师担任副主编，参加编写的老师有陈安、王晗、杜宇上、陈灵敏、曾思明、李水峰、谭雅莉、杨振兰、黄珊珊、刘银萍、刘彦鹏、韩萍。本书的具体分工如下：

彭端教授负责全书的构思、策划、组织工作，并指导、修改了每一个实验项目及内容；蒋力立高级实验师编写第1章，第2章，第3章实验3.1、实验3.4、实验3.7、实验3.9、实验3.10，第6章实验6.1，附录A，附录B；陈安老师编写第5章实验5.1、实验5.2、实验5.5、实验5.9，第六章实验6.4、实验6.5；王晗老师编写第3章实验3.2；杜宇上老师编写第6章实验6.2、实验6.3、实验6.6、实验6.7、实验6.8；陈灵敏老师编写第4章实验4.1、实验4.2、实验4.5、实验4.7、实验4.8；曾思明老师编写第4章实验4.11，第5章实验5.4、实验5.6、实验5.10；李水峰老师编写第6章实验6.9、实验6.10、实验6.11、实验6.12；谭雅莉老师编写第4章实验4.3、实验4.6、实验4.10；杨振兰老师编写第3章实验3.5、实验3.8、实验3.11；黄珊珊老师编写第4章实验4.4、实验4.9、实验4.12；刘银萍老师编写第5章实验5.3、实验5.7、实验5.8；刘彦鹏老师编写第3章实验3.6；韩萍老师编写第3章实验3.3。

《电工与电子技术实验教程》的编写集中体现了广东工业大学电工电子技术实验中心全体教师和工程技术人员的集体智慧，特别是反映了该中心近年来实验教学改革和探索的成果。

本书的编写得到了广东省电工电子技术实验示范中心和工程训练国家级示范中心建设项目的大力支持，得到了广东工业大学实验教学部主任吴福根教授、卫小波书记和其他领导、教师的指导和关怀，学校教务处、实验室及设备管理处等部门以及各学院的领导和老师也都给了许多无私的支持和帮助，在此特别表示感谢。也感谢近五十多年来许多关注及参与电工与电子技术实验的教师们，他们多年的教学经验以及在实验教学改革中的探索和实践，为本书提供了丰富而宝贵的资料积累。

本书的编写参阅了一些相关教材和著作，在此向有关作者谨致谢意。

编者

2011年4月

目 录

第 1 章 电工与电子技术实验基本知识	(1)
1.1 实验课开设的目标和意义	(1)
1.2 实验的要求	(1)
1.3 实验故障排除及检测的一般方法	(2)
1.4 实验室用电安全	(4)
第 2 章 常用电工与电子实验仪器与仪表	(6)
2.1 常用电工仪表	(6)
2.2 常用电子仪器	(12)
第 3 章 电工基础实验	(19)
实验 3.1 伏安特性曲线的测量	(19)
实验 3.2 基尔霍夫定律的验证	(26)
实验 3.3 有源二端网络等效参数的测量	(31)
实验 3.4 一阶动态电路响应的研究	(36)
实验 3.5 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定	(42)
实验 3.6 二端口网络参数的测定	(46)
实验 3.7 三表法测定交流参数	(51)
实验 3.8 日光灯电路及提高功率因数的方法	(55)
实验 3.9 互感的测量	(61)
实验 3.10 单相变压器特性实验	(64)
实验 3.11 三相交流负载电路的测量	(68)
第 4 章 模拟电子技术实验	(73)
实验 4.1 常用电工电子仪器的使用	(73)
实验 4.2 晶体管单级放大电路	(80)
实验 4.3 两级阻容耦合交流放大电路	(86)
实验 4.4 负反馈放大电路	(93)
实验 4.5 射极跟随器	(104)
实验 4.6 差动直流放大电路	(109)

实验 4.7 运算放大器的线性应用	(117)
实验 4.8 运算放大器的非线性应用	(124)
实验 4.9 有源滤波器	(130)
实验 4.10 RC 桥式正弦波振荡器	(135)
实验 4.11 波形发生电路	(140)
实验 4.12 OTL 互补对称功率放大器	(145)
第 5 章 数字电子技术实验	(151)
实验 5.1 门电路逻辑功能及测试	(151)
实验 5.2 组合逻辑电路的测试和设计	(158)
实验 5.3 译码器及数据选择器	(165)
实验 5.4 RS、D、JK 触发器	(171)
实验 5.5 集成计数器	(179)
实验 5.6 移位寄存器及其应用	(186)
实验 5.7 555 时基电路及其应用	(192)
实验 5.8 D/A、A/D 转换器	(198)
实验 5.9 彩灯循环显示控制器	(205)
实验 5.10 数字电子钟	(214)
第 6 章 可编程逻辑器件 FPGA 实验	(220)
实验 6.1 基本组合逻辑电路设计	(220)
实验 6.2 LED 数码管驱动显示	(238)
实验 6.3 4×4 键盘扫描实验	(247)
实验 6.4 跑马灯设计	(248)
实验 6.5 8×8LED 点阵显示	(263)
实验 6.6 数字频率计电路设计	(280)
实验 6.7 波形发生器	(282)
实验 6.8 LCD 驱动显示	(285)
实验 6.9 交通灯设计	(289)
实验 6.10 电梯控制实验	(291)
实验 6.11 电子钟的设计	(293)
实验 6.12 模拟信号处理	(295)
附录 A 常用仪器仪表	(297)
A1 C43 直流毫安表	(297)

A2	D26 - W 功率表	(299)
A3	TDGC2J - 1 型交流接触调压器	(301)
A4	VC890 数字万用表	(303)
A5	UT803 数字万用表	(305)
A6	AS2294D 双通道晶体管交流毫伏表	(314)
A7	V252 双踪电子示波器	(318)
A8	GOS - 6051 双踪电子示波器	(322)
A9	SP1641D 函数信号发生器	(328)
A10	AS1634/AS1636 函数信号发生器	(331)
A11	JWY - 30F 直流稳压电源	(338)
A12	SS1791 可跟踪直流稳定电源	(340)
A13	SS1792C 直流稳定电源	(344)
A14	GPS - 2303C 直流稳压电源	(346)
A15	TPE - DG1 电工实验箱	(350)
A16	TPE - DQ 电工实验箱	(352)
A17	RXM - 1 模拟电路实验箱	(353)
A18	TPE - A3a 模拟电路实验箱	(355)
A19	RXS - 1 数字电子技术实验箱	(356)
A20	TPE - D3 数字电路实验箱	(358)
A21	KH - 31001 FPGA/CPLD 开发系统实验箱	(360)
A22	TDS1001B/TDS2001C/TDS2012B 数字双踪示波器	(380)
附录 B	常用集成电路芯片	(393)
参考文献	(400)

第1章 电工与电子技术实验基本知识

1.1 实验课开设的目标和意义

电工与电子技术实验是高等工科院校一门实践性很强的重要专业基础课程，目的是培养学生理论联系工程实际的能力、分析和解决实际问题的能力以及综合应用的能力，在实验过程中培养学生严谨求实的科学态度和踏实细致的工作作风，培养学生的工程意识、创新意识，以适应国家科学技术和社会经济发展的需要。

电工与电子技术实验是一门实践性很强的课程，它的任务旨在使学生在实验中，通过对电路进行分析、调试、故障排除和性能指标的测量，熟悉常用元器件的性能和使用方法，掌握测量仪器仪表的工作原理和规范使用，掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能，培养学生综合应用理论知识的能力和解决较复杂的实际问题的能力，培养学生良好规范的操作习惯，增强学生的动手能力。

1.2 实验的要求

实验课的学习有三个环节：实验预习阶段、实验阶段、分析整理与撰写实验报告阶段，每一个阶段都有明确的任务和要求。

1.2.1 实验预习阶段

实验前应对实验内容进行预习，明确实验的目的和要求，并撰写实验预习报告。实验预习报告主要包括：

- (1) 实验名称、实验目的、实验内容、实验方法等；
- (2) 实验仪器设备清单，包括设备的名称、型号、规格、数量，实验中还需记录设备编号；
- (3) 简述实验的原理，包括相关的原理图、电路图及计算公式；
- (4) 实验步骤；
- (5) 实验数据的观测记录表。

1.2.2 实验阶段

在实验过程中，其主要目的如下：一是完成实验任务，二是锻炼实验能力并养成良好的工作习惯，同时逐渐积累经验。因此，在实验过程中要做到脑勤、手勤，善于发现问题、思考问题并解决问题。另外，完成某一实验操作内容只是一种手段，更重要的是通过实验提高

综合实际动手能力,养成良好的工作作风,培养善于发现问题和解决问题的能力。

(1) 进入实验室,进行实验操作之前,应首先对所需的仪器设备进行配置,核对其型号、规格、精度,并记录仪器设备编号,检查其是否能正常使用。

(2) 实验过程中按时按规定位置实验,未经实验室人员同意,不能私自动用别组的仪器、器材及元器件,更不得私自拆卸仪器、设备;要认真操作,正确使用仪器设备,根据实验内容合理布置实验现场。仪器设备和实验装置安放要稳当。

(3) 独立、正确地连接线路,确定无误后才能接通电源。初学者或没有把握者应经指导教师审查同意后再接通电源。实验时应注意观察,若发现有破坏性异常现象(例如有元件冒烟、发烫或有异味)应立即关断电源,保持现场,报告指导教师,及时找出原因、排除故障,经指导教师同意后才能继续做实验。实验过程中需要改变接线时,应关断电源后再操作。实验过程中应仔细观察实验现象,准确、完整、规范记录数据,描绘波形;发生故障时应独立思考,耐心寻找故障原因并排除,记录故障现象及排除故障的过程和方法。用钢笔或签字笔填写实验数据,不要随意涂改,原始数据要经过指导教师签字确认。

(4) 实验结束后,必须关断电源,断电时先断信号源后断电源,断电后才拆除实验连线,并将仪器、设备、导线等按规定整理。

(5) 认真、如实填写实验仪器设备使用登记簿。

1.2.3 分析整理与撰写实验报告阶段

做完实验后,依据实验记录对实验数据和现象进行分析,并撰写实验报告。实验报告一般包括以下部分:

- (1) 实验数据处理;
- (2) 对测试结果进行分析,作出简明扼要的结论;
- (3) 实验中遇到的问题或故障是如何解决的;
- (4) 回答实验思考题,提出改进实验的建议。

实验报告要求版面布局合理整洁、叙述严谨、文理通顺、书写简洁、符号标准、图表清晰规范。

报告要有结论,结论的依据必须充分,不能似是而非,含糊不清。实验结束后要小结,如:在这次实验中有哪些收获、哪些缺憾,应如何改进,以做到每次实验都有新的体会、新的进步,在实践中不断积累经验,不断提高综合分析的能力。

1.3 实验故障排除及检测的一般方法

故障是不可避免的电路异常工作状态,排除实验中出现的故障,是培养学生综合分析能力的一个重要方面,它需要具备一定的理论知识、较熟练的实验技能以及丰富的实践经验。

1.3.1 实验故障产生的原因

故障产生的原因很多,实验中经常出现的故障主要有:

- (1) 实验电源是否正常工作、电源电压是否达到规定的要求、电路供电是否正常；
- (2) 实验电路连接出现错误：错连或漏连；
- (3) 元器件或连接导线损坏；
- (4) 接触点接触不良；
- (5) 仪器仪表操作和使用不当。

1.3.2 实验故障排除方法

排除故障应根据故障现象，通过观察测试，判断故障性质，确定部位，缩小范围，再在小范围内逐点检查，最后找出故障点并予以排除。

1.3.2.1 强电实验故障解决方法

(1) 直接观测。

出现故障时先切断电源，避免故障扩大。破坏性故障往往有明显的外观异常，其现象常常是冒烟、有烧焦味、有爆炸声、发热等，可采用眼看、耳听、鼻嗅、手摸等方式查出大部分故障：眼看——看元件表面有无烧焦或炸裂；鼻嗅——有无焦糊味；耳听——声音是否异常；手摸——温度是否异常。

实验中出现的故障大部分是非破坏性故障，其现象往往是无电压、无电流，或电压电流值不正确、波形不对等。对这类故障也可先断电检查，如检查是否接线错误，电源电压等级和极性是否符合要求，器件的选用是否正确，有无错接、漏接、短路等情况，芯片电源有无接错等。可用万用表 Ω 挡对每个元件及每条导线逐一检查。

(2) 用电压表测量。

对非破坏性故障，可用万用表电压挡检查电路中各点的电压是否正确。如图 1.3.1 所示的日光灯电路，在检查线路连接无误后通电，但日光灯仍不能点亮，可用万用表交流电压挡逐点测量①~⑦与⑧之间的电压是否为 220 V，当测量到某点（如⑤）无电压时，则故障可能在④与⑤之间的连线上。

由于是强电实验，所以要注意安全，手不可碰触金属部分，采用站立姿势单手测量。测量时先用黑笔接 N 点，并将黑笔插于 N 的插孔中。在拿红笔接 L1 时，看看电源电压是否为正常的 220 V，无异常后才将红笔插入 L1 插孔中，黑笔置于⑧。再无异常可放黑笔在日光灯电路零线接点⑧，用红笔按电源输入顺序逐点测量①~⑦与⑧之间的电压。

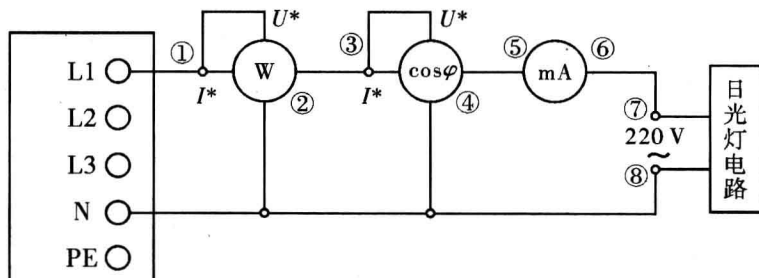


图 1.3.1 日光灯电路

1.3.2.2 弱电实验故障解决方法

(1) 用万用表检查实验电源是否正常工作，电源电压是否达到规定的要求，电路供电是否正常；

(2) 实验电路连接是否出现错误，是否错连或漏连；

(3) 元器件是否正常或连接导线断线；

(4) 接触点是否接触良好；

(5) 仪器仪表操作和使用是否正确；

(6) 用示波器观测关键点的信号。

对于较复杂的信号电路，可在输入端输入合适的信号，用示波器逐级检测。图 1.3.2 所示为波形发生电路。

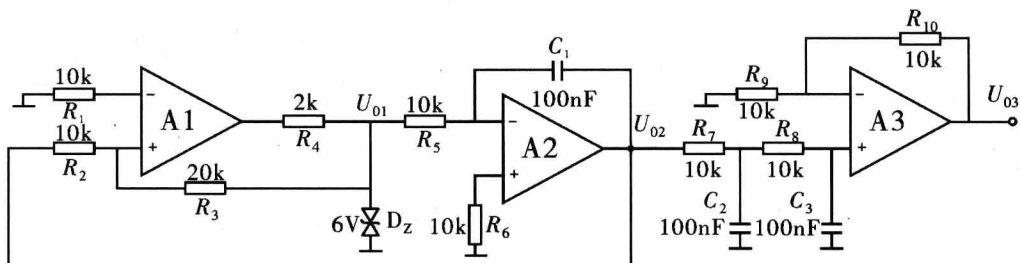


图 1.3.2 波形发生电路

图 1.3.2 中，在正常情况下，A1 输出方波，A2 输出三角波，A3 输出正弦波。若各输出端均无输出，由于 A1 和 A2 互相影响，在仔细检查线路连接无误后，则可先断开 A2 输出端与 A1 输入端之间的连接，在 A1 的输入端输入三角波，如图 1.3.3 所示，用示波器逐级观测各信号 U_i 、 U_{01} 、 U_{02} 、 U_{03} 的波形。

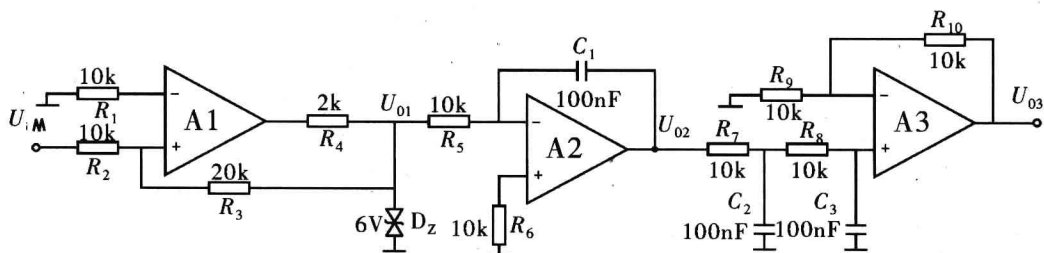


图 1.3.3 波形发生电路故障检测示意图

1.4 实验室用电安全

为了人身与仪器设备安全，保证实验顺利进行，进入实验室后要遵守实验室的规章制度和安全规则。

1.4.1 人身安全

(1) 不能穿拖鞋进入实验室，实验时不允许穿短裤、打赤脚，实验台面不放水杯或饮料瓶等。

(2) 各种仪器设备应有良好的接线地，通过强电装置的连接导线应有良好的绝缘外套，芯线不得外露，杜绝使用绝缘不良的导线。

(3) 在进行强电或具有一定危险性的操作时，应有两人以上合作；在接通 220V 交流电源前，应通知实验合作者；测量高压时，通常采用单手操作（用万用表测量高压时，万用表不要拿在手中，要放在实验台面的合适位置，先将一只表笔可靠放置一个测量点，再单手拿另一只表笔碰触另一测量点）；读取数据时保持站立，不可带电随意搬动电表（接线前应先合理摆放好各仪表，以方便读数）。

(4) 万一发生触电事故时，应迅速切断电源，使触电者迅速脱离电源并采取必要的急救措施。

1.4.2 仪器及设备安全

(1) 使用仪器前，应认真阅读仪器使用说明书（参见附录 A），掌握仪器的使用方法和注意事项。

(2) 使用仪器时，应按要求正确接线。

(3) 实验中要有目的地操作仪器面板上的开关（或旋钮），轻旋轻放，切忌用力过猛。

(4) 实验过程中，精神必须集中。当嗅到焦味、见到冒烟和火花、听到“噼啪”响声、感到设备过热及出现保险丝熔断等异常现象时，应立即切断电源，在故障未排除前不得再次开机。

(5) 未经允许不得随意调换仪器，更不准擅自拆卸仪器设备；搬动仪器设备时，必须轻拿轻放。

(6) 仪器使用完毕，应将面板上各旋钮、开关置于合适的位置，如将万用表功能开关旋至“OFF”位置等。

(7) 为保证器件及仪器安全，在连接实验电路时，应该在电路连接完成并检查完毕后，再通电。通电时先接电源后接信号源，断电时先断信号源再断电源。

(8) 实验完成后，切断电源，关闭仪器仪表的电源开关，拆线，收拾好导线放在抽屉中，填写实验室仪器仪表使用记录本。

第2章 常用电工与电子实验仪器与仪表

2.1 常用电工仪表

电工仪表是实现电工测量过程所需技术工具的总称。

电工仪表的测量对象主要是电学量。电学量又分为电量与电参量。通常要求测量的电量有电流、电压、功率、电能、频率等；电参量有电阻、电容、电感等。

常用电工仪表的分类、符号和意义见表 2.1.1。

表 2.1.1 常用电工仪表的符号和意义

分类	符号	名称	被测量的种类
电流种类	—	直流电表	直流电流、电压
	~	交流电表	交流电流、电压、功率
	≈	交直流两用表	直流电量或交流电量
	≈或 3~	三相交流电表	三相交流电流、电压、功率
测量对象		安培表、毫安表、微安表	电流
		伏特表、千伏表	电压
		功率表、千瓦表	功率
		千瓦时表	电能
		相位表	相位差
		频率表	频率
		欧姆表、兆欧表	电阻、绝缘电阻
工作原理		磁电系仪表	电流、电压、电阻
		电磁系仪表	电流、电压
		电动系仪表	电流、电压、电功率、功率因数、电能
		整流系仪表	电流、电压
		感应系仪表	电功率、电能
准确度等级	1.0	1.0 级电表	以标尺量限的百分数表示
	1.5	1.5 级电表	以指示值的百分数表示
绝缘等级	 2kV	绝缘强度试验电压	表示仪表绝缘经过 2kV 耐压试验
工作位置		仪表水平放置	
		仪表垂直放置	
	∠60°	仪表倾斜 60° 放置	

续表

分类	符号	名称	被测量的种类
端钮	+	正端钮	
	-	负端钮	
	± 或 *	公共端钮	
	⊥ 或 \perp	接地端钮	

电工测量指示仪表在结构上都由测量机构和测量线路两部分组成。测量机构又由固定部分和活动部分组成。测量机构是仪表的核心，其主要作用是：产生转动力矩，使仪表的指示器偏转；产生反作用力矩和阻尼力矩。

测量时，仪表的活动部分在转动力矩的作用下偏转，同时产生反作用力矩的部件（如游丝）所产生的反作用力矩也作用于活动部分上，而且随偏转角度的增大而增大。当转动力矩与反作用力矩平衡时，指示器就停止下来，指示出被测量的数值。

电工测量中常用的指针式仪表有磁电系、电动系、电磁系等。这些仪表的结构虽然不同，但工作原理却是相同的，都是利用电磁现象使仪表的可动部分受到电磁转矩的作用而转动，从而带动指针偏转来指示被测量量的大小。

2.1.1 磁电系仪表

磁电系仪表是测量各直流电气量的直读式仪表。它是依靠电磁相互作用的原理制成的。

2.1.1.1 磁电系仪表的结构

磁电系仪表的测量机构由固定部分和活动部分组成，如图 2.1.1 所示。

固定部分：主要是磁路系统。它由永久磁铁、极掌及圆柱铁芯组成。

活动部分：主要指电路系统。它包括铝框及绕在铝框上的动圈、转轴、游丝和指针。

2.1.1.2 磁电系仪表的工作原理

仪表固定部分的永久磁铁（马蹄形磁钢）和放置于磁极间的圆柱形铁芯可在空气隙中形成辐射形均匀磁场。可动线圈绕在矩形铝框架上，可在空气隙中自由偏转。当处在永久磁铁的磁场中的动圈有电流通过时，动圈受转动力矩的作用而发生偏转。游丝因动圈偏转而发生变形，产生反作用力矩。当反作用力矩与转动力矩平衡时，活动部分最终停留在相应的位置，指针在标尺上指出被测量的数值。由于在线圈转动的范围内磁场均匀分布，因此线圈的转动力矩与电流的大小成正比。又由于游丝的反抗力矩与线圈的偏转角度成正比，所以仪表指针的偏转角度与流过可动线圈的电流的大小成正比，因此标尺上的刻度是均匀的。

若利用磁电系测量机构测交流电流，必须先将交流电流用整流电路转换为测量机构所要求的直流电流。此种仪表测量的是交流电经整流后的平均值，但在刻度上是按将正弦量

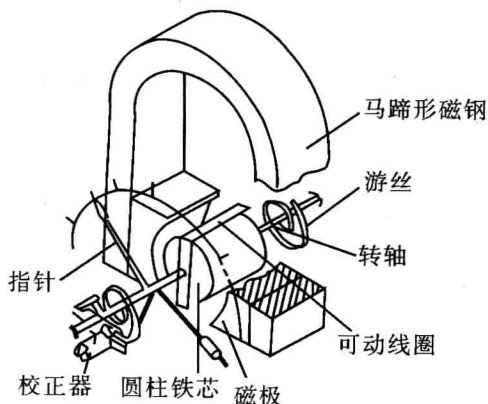


图 2.1.1 磁电系仪表的测量机构

的平均值折算成有效值的方法刻度的,因此用它测非正弦交流电流时,有较大的误差。

磁电系仪表在指示仪表中占有极其重要的地位,主要用于直流电路的电压和电流的测量。其优点是刻度均匀、灵敏度高、准确度高、消耗功率小、受外界磁场影响小等。缺点是结构复杂、造价较高、过载能力小,而且只能测量直流电路。

2.1.1.3 使用磁电系仪表的注意事项

(1) 仪表使用时应按规定的工作位置(水平、垂直)放置,并尽可能远离强电流导线和强磁场物质,以免增加仪表误差。

(2) 使用前,仪表的指针如不在零位,可利用表盖上的调零器将指针调至零位。

(3) 测量时,电流表要串联在被测电路中,电压表要与被测电路并联。同时需注意电流必须从“+”极性端流入,否则指针将反向偏转。

(4) 磁电系仪表的过载能力较低,使用前必须对待测电流、电压大小有所估计,以选择适当的量程,避免过载。

2.1.2 电磁系仪表

根据磁化后相互作用的形式不同,电磁系仪表可分为吸入式(吸引作用)和推斥式(推斥作用)两种,目前采用推斥式的居多。

图2.1.2所示为推斥式电磁系仪表的测量机构。铁片 B_1 和 B_2 放在固定线圈内,铁片 B_1 与转轴相连可以自由转动,铁片 B_2 则是固定不动的。被测电流通过固定线圈时产生磁场,铁片 B_1 和 B_2 同时被磁化。由于两铁片同一端的极性相同,因此两者相斥,致使可动铁片受到转动力矩的作用,通过转轴带动指针偏转。当转动力矩与游丝的反抗力矩相平衡时,指针便停止偏转。当线圈中电流方向改变时,线圈所产生的磁场极性和被磁化的铁片的极性同时改变,但两者作用力方向不变,即指针偏转方向不变。因此,这种仪表可用在交流或直流电路中进行测量。

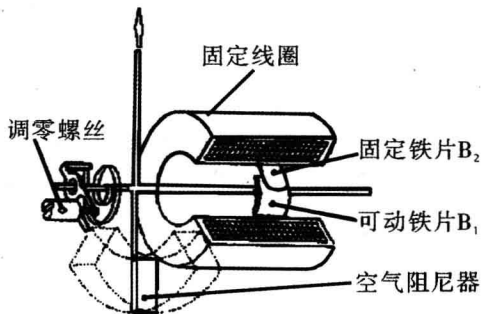


图2.1.2 电磁系仪表的测量机构

由于作用在铁芯上的电磁力与空气隙中磁感应强度的平方成正比,磁感应强度又与线圈电流成正比,因此仪表的转动力矩与电流的平方成正比。又由于游丝的反抗力矩与线圈的偏转角度成正比,所以仪表指针的偏转角度与线圈电流的平方成正比。可见电磁系仪表标尺上的刻度前密后疏,是不均匀的。虽然这种仪表的灵敏度和准确度较低,但其结构简单,过载能力大,又可交直流两用,因此得到广泛应用。

2.1.3 电动系仪表

2.1.3.1 电动系仪表的结构和工作原理

磁电系仪表的磁场是由永久磁铁建立的,如果利用通有电流的固定线圈去代替永久磁铁,便可构成“电动系仪表”。电动系仪表是一种利用载流的可动线圈和固定线圈之间的作用力而工作的仪表。它与电磁系仪表相比,最大的区别在于由活动线圈代替了可

动铁片，因此基本上消除了磁滞和涡流的影响，使仪表的准确度得到了提高。电动系仪表的测量机构如图 2.1.3 所示，它有两个线圈：固定线圈（简称定圈）和活动线圈（简称动圈）。图中动圈与转轴固定在一起，转轴上装有指针。定圈分为两个部分，彼此平行排列，这样就使两个线圈之间磁场比较均匀，反作用力矩由游丝产生，利用空气阻尼器产生阻尼力矩。

当定圈通以电流 I_1 时，在定圈中便建立了磁场，如果动圈中通以电流 I_2 时，则受到定圈磁场中电磁力 F 的作用而产生转动力矩，电磁力 F 的大小与磁感应强度 B_1 和电流 I_2 成正比，使得仪表活动部分发生偏转，直到转动力矩与游丝产生的反作用力相平衡时才停止，并指示出读数。仪表指针的偏转角度与两线圈电流的乘积成正比，即

$$\alpha = KI_1 I_2 \quad (2.1.1)$$

对于线圈通入交流电的情况，由于两线圈中电流的方向均改变，因此产生的电磁力方向不变，这样可动线圈所受到转动力矩的方向就不会改变。设两线圈的电流分别为 i_1 和 i_2 ，则转动力矩的瞬时值与两个电流瞬时值的乘积成正比。而仪表可动部分的偏转程度取决于转动力矩的平均值，由于转动力矩的平均值不仅与 i_1 及 i_2 的有效值成正比，而且还与 i_1 和 i_2 相位差的余弦成正比，因此电动系仪表用于测量交流电时，指针的偏转角与两个电流的有效值及两电流相位差的余弦成正比。即

$$\alpha = KI_1 I_2 \cos\varphi \quad (2.1.2)$$

因此电动系仪表除了可以做交直流两用的准确度较高的电压表和电流表以外，还可以做功率表，用来测量交流电路的功率。这种仪表的缺点是易受外磁场的影响；本身消耗的功率比较大，过载能力小；刻度不均匀。

2.1.3.2 电动系功率表的结构与原理

作为瓦特计来测量电路的功率是电动系仪表的一个主要用途。图 2.1.4 所示为功率表的外形、原理图、符号及接线图。测量时将仪表的固定线圈与负载串联，反映负载中的电流，因而固定线圈又叫电流线圈；将可动线圈和附加电阻 R_V 串联后与负载并联，反映负载两端电压，所以可动线圈又叫电压线圈。

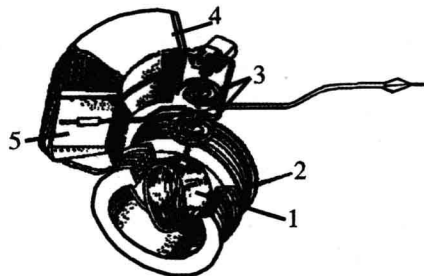


图 2.1.3 电动系仪表的测量机构
1—可动线圈；2—固定线圈（两个）；3—游丝；
4—阻尼盒；5—阻尼叶片

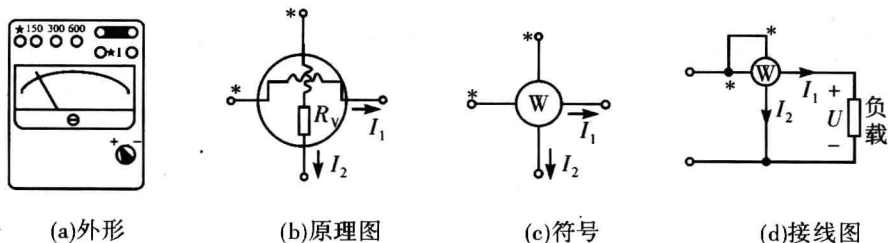


图 2.1.4 功率表的外形、原理图、符号及接线图