



普通高等教育“十二五”规划教材



电工基础实践教程

丁守成 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电工基础实践教程

主 编 丁守成
副主编 黄 瑞
编 写 杨世洲 刘 婕
主 审 罗映红



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书从 21 世纪人才培养的要求出发,结合多年教学改革与实践的经验和成果编写而成,是一本集基础性、应用性、综合性于一体的实践教材。全书分 6 章,主要内容包括常用电工仪表、直流电路实验、交流电路实验、PLC 实验、电工技能训练和电子技术实验。书后还附有电工技能测试题及参考答案。

本书可作为普通高等学校理工科院校电类、非电类专业的电路实验、电工学实验及相关电工实训等的教学用书,也可作为高等职业技术学校相关工科专业的实践教学用书,对于相关工程技术人员也是一本实用的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础实践教程/丁守成主编. —北京:中国电力出版社, 2015.2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-6876-7

I. ①电… II. ①丁… III. ①电工学-高等学校-教材
IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 010561 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 290 千字

定价 24.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

从 21 世纪人才培养的总体要求出发,知识的重新组织和分配势在必行。本书在分析了当前教学的现状和社会需要的基础上,为贯彻和适应素质教育和创新教育的精神,根据普通高等院校电工基础实践教学大纲的基本要求,确定以加强基础、重视工程应用、更新内容体系作为本书编写的基本依据和主要特点。

本书是高等院校理工科专业电工基础实践性教材,目的在于培养学生掌握理论指导下的实验方法、掌握常用电工仪表的正确使用方法、锻炼学生的实际操作能力和创新能力,以实现提高学生的基础实践能力和综合素质的教育目标。在这里力图搭建一个充满活力的、基础扎实的集基础性、综合性、设计性实验及电工技能培训于一体的电工基础实践教学大平台。

本书在以往编写的电工电子系列实践讲义的基础上,结合兰州理工大学电工电子实践教学改革成果,参考了大量的文献资料,吸取各家之长,不断修改、充实、凝练讲义中的内容,并按照学生实践课程的设置顺序重新加以编排,分为常用电工仪表、直流电路实验、交流电路实验、PLC 实验、电工技能训练和电子技术实验六大部分。内容既有基本理论的验证,又有综合设计训练的提高;既有科研能力的培养,又有职业技能基础的教育;同时为强化工程应用能力的培养,增加部分工程性实例。附录是电工技能测试题及参考答案。

本书可作为高等学校本科生电工基础实践、电气控制训练等的教材,还可作为中级维修电工职业技能培训的教材。

本书吸取了兰州理工大学电工电子实验教学中心所有老师的实践教学经验,并在这些老师的支持与指导下完成,由丁守成担任主编,负责全书的统稿和校阅,黄瑞担任副主编。第 2~4 章由丁守成编写,第 1、5 章和附录由黄瑞编写,第 6 章由杨世洲和刘婕编写。本书实验内容丰富,不同院校教师可根据学生专业、水平等实际情况选用。

本书由兰州交通大学罗映红教授主审,提出了不少宝贵的意见和建议,在此谨致以诚挚的谢意。

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

由于编者水平有限,错误和不足在所难免,敬请各位读者批评指正。

编者

2015 年 1 月于兰州理工大学

目 录

前言

第1章 常用电工仪表	1
1-1 电工仪表分类与误差	1
1-1-1 电工仪表的分类	1
1-1-2 误差与准确度	1
1-1-3 使用仪表的基本要求	5
1-2 电压表、电流表和功率表	5
1-3 万用表	8
1-4 钳形电流表	16
1-5 兆欧表	18
1-6 交流毫伏表	20
1-7 直流单臂电桥	22
1-8 示波器	23
1-9 常用仪器使用注意事项	28
1-10 常用电工工具的使用	29
第2章 直流电路实验	32
2-1 电阻元件伏安特性的测定	32
2-2 未知电阻元件伏安特性的测定	34
2-3 叠加定理	35
2-4 电压源、电流源及其电源等效变换的研究	37
2-5 戴维宁定理	39
2-6 直流电路的设计	42
2-7 最大功率传输条件的测定	42
第3章 交流电路实验	45
3-1 三表法测定交流电路等效参数	45
3-2 感性负载电路及其功率因数提高的研究	46
3-3 RC一阶电路	48
3-4 二阶动态电路响应的测试	50
3-5 RLC串联谐振电路	53
3-6 负阻抗变换器	55
3-7 互感电路	57
3-8 三相电路电压、电流及其功率的测量	59
3-9 三相异步电动机的直接启动	61

3-10	常用继电器接触控制电路	62
3-11	三相异步电动机的正反转控制	64
3-12	三相异步电动机的星形—三角形降压启动控制	65
第4章 PLC 实验		67
4-1	FX 系列可编程控制器 (PLC)	67
4-1-1	FX 系列可编程控制器 (PLC) 简介	67
4-1-2	PLC 基本指令	70
4-1-3	PLC 编程语言	73
4-2	GX Developer 编程软件	74
4-3	PLC 控制小车自动往返运动	83
4-4	PLC 彩灯控制	84
4-5	PLC 交通灯控制	85
4-6	PLC 数码显示控制	87
4-7	PLC 温度检测和控制	88
4-8	PLC 温度液位控制	89
4-9	PLC 机器人控制	91
4-10	PLC 三相异步电动机正反转和Y- Δ 减压启动的设计与调试	92
4-11	PLC 抢答器的设计与调试	93
4-12	PLC 自动感应门控制系统的设计与调试	94
4-13	PLC 控制系统的施工设计	94
第5章 电工技能训练		98
5-1	常用机床和电动葫芦的控制	98
5-2	典型机床的电气控制	99
5-2-1	C6150 车床的电气控制	99
5-2-2	Z3040 摇臂钻床的电气控制	102
5-2-3	M7130 卧轴矩台平面磨床的电气控制	106
5-2-4	T68 卧式镗床的电气控制	108
5-2-5	X62W 卧式万能铣床的电气控制	113
5-3	电工技能训练项目	116
5-3-1	机床电气控制原理图和电气接线图的绘制	116
5-3-2	机床电气设备安装配线	117
5-3-3	基本控制线路的安装步骤及要求	118
5-3-4	机床电气设备的调整试车	119
5-3-5	机床电气设备故障的排除方法	120
5-3-6	电工技能训练任务	121
第6章 电子技术实验		124
6-1	单管共射放大电路	124
6-2	负反馈放大电路	127
6-3	集成运算放大器的应用 (基本运算电路)	129
6-4	低频功率放大电路	132
6-5	整流、滤波和稳压电路	134

6-6	基本逻辑门电路的应用	136
6-7	中规模组合逻辑器件的应用	138
6-8	触发器	141
6-9	计数器	144
6-10	移位寄存器的应用	147
6-11	简易电子秒表	150
6-12	集成定时器的应用	152
附录 A 电工技能测试题		156
A-1 单项选择题		156
A-1-1	职业规范	156
A-1-2	电工电子基础知识	157
A-1-3	PLC 基础知识	166
A-1-4	电气控制基础知识	166
A-1-5	车床	169
A-1-6	铣床	169
A-1-7	桥式起重机	173
A-1-8	磨床	175
A-1-9	钻床	177
A-2 判断题		177
参考答案		184
A-1 单项选择题		184
A-1-1	职业规范	184
A-1-2	电工电子基础知识	184
A-1-3	PLC 基础知识	184
A-1-4	电气控制基础知识	184
A-1-5	车床	184
A-1-6	铣床	184
A-1-7	桥式起重机	184
A-1-8	磨床	184
A-1-9	钻床	185
A-2 判断题		185



第1章 常用电工仪表

电工仪表是电气工程技术人员的基本工具，他们在工作中经常涉及仪器仪表的使用、维修和校准。通过本章的学习，读者能掌握各种仪器的基本线路和工作原理，熟悉测量信号的处理过程，了解现代仪表的新动向、新技术、新器件和新工艺，并对仪器仪表的智能化、自动测量系统的发展及技术有所了解，以便于充分开发其功能，而且能正确使用、维护常用仪表，提高工程识图能力和工程应用能力。

1-1 电工仪表分类与误差

在电能的生产、输送、分配和应用的各个环节中，都离不开电工仪表。电工仪表是保证电气设备安全、经济运行和系统电能质量的重要计量设备。

1-1-1 电工仪表的分类

电工仪表按工作原理分，有磁电系仪表、电动系仪表、电磁系仪表、磁铁电动系仪表、整流系仪表、感应系仪表、磁电系比率表等。

按工作电流分，有直流电工仪表、交流电工仪表和交直流两用电工仪表等。

按测量对象分，有电流表、电压表、欧姆表、兆欧表、接地电阻测量仪、功率表、功率因数表（相位表）、频率表、电能表等。

按使用方式分，有指示仪表和安装式仪表。指示仪表指固定安装在开关板、控制屏及电气设备面板上使用的仪表。安装式仪表可用来测量交直流电路中的各种电气量。

按照外形还可分为圆形仪表（Ⅰ型）、矩形仪表（Ⅱ型）、方形仪表（Ⅲ型）、槽型仪表（Ⅳ型）和广角度仪表（Ⅴ型）。

实验室仪表，指实验室用精密仪表，可用作精密测量和校准较低精度电能表的标准表。

携带式仪表，指便于携带到生产现场进行各种电工测量的仪表，如兆欧表、接地电阻测量仪，万用电能表、钳形电流表等。

按电工仪表测量的准确度不同，可分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0七级。其中，0.1、0.2级用作标准表，用以校验准确度较低级的仪表；0.5、1.0级仪表一般用于实验室；1.5、2.5、5.0级仪表一般安装在现场，用作开关板指示仪表。

此外，有功电能表还有2.0级，无功电能表还有2.0、3.0级。对于320kVA以下变压器低压计费用户和非计费的计量，有功电能表可为2.0级，无功电能表为3.0级。

1-1-2 误差与准确度

1. 误差

不论仪表制造得多么精确，测量时仪表的读数和实际值之间总会有差异，这些差异称为仪表的误差。

（1）误差根据产生的原因分为以下两种：

1) 基本误差：仪表结构和制作工艺方面的原因引起的误差。

2) 附加误差：仪表在非规定条件下使用而引起的误差。

(2) 误差的表达形式。

1) 绝对误差 Δ : 指仪表测量指示值 Δ_x 与被测量的实际值 A_0 之间的差值。(绝对误差 Δ 有正、负之分, Δ 正时, 测量值偏大, Δ 负时, 测量值偏小。)

$$\Delta = A_x - A_0$$

2) 相对误差 γ : 指绝对误差 Δ 与被测量实际值 A_0 之比的百分数。

$$\gamma = \Delta / A_0 \times 100\%$$

3) 引用误差 γ_m : 是仪表的绝对误差 Δ 与该仪表的最大量程值 A_m 之比的百分数。

$$\gamma_m = \Delta / A_m \times 100\%$$

【例 1-1-1】 用一只电压表测量电压, 读数为 201V, 而标准表 (可认为是实际值) 读数为 200V。用另一只电压表测量实际电压值为 20V 的电压时, 读数为 20.5V, 试求每只电压表测量的绝对误差和相对误差。

解 绝对误差为

$$\Delta_1 = A_{x1} - A_{01} = 201 - 200 = +1(\text{V})$$

$$\Delta_2 = A_{x2} - A_{02} = 20.5 - 20 = +0.5(\text{V})$$

相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} = \frac{+1}{200} = +0.5\%$$

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} = \frac{+0.5}{20} = +2.5\%$$

虽然第一只表的绝对误差大, 但其对测量结果的影响比第二只表小一些。

2. 准确度

用引用误差来反映仪表的基本误差, 用最大引用误差表示仪表的准确度。通常采用正常工作条件下出现的最大引用误差来表示仪表的准确度等级。

$$\pm K = \Delta_m / A_m \times 100\%$$

式中, K 为仪表的准确度等级; Δ_m 为仪表在量程限度内可能产生的最大绝对误差 (对同一仪表, 其最大绝对误差是固定不变的); A_m 为仪表的最大量程。

仪表的准确度等级是指仪表的最大绝对误差与仪表最大量程比值的百分数。仪表的准确度等级是由其基本误差大小决定的, 根据国家标准 GB 776 的规定分为七个等级, 见表 1-1-1。

表 1-1-1

仪表的准确度等级

准确度等级 K	0.1 级	0.2 级	0.5 级	1.0 级	1.5 级	2.5 级	5.0 级
基本误差 (%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

【例 1-1-2】 用准确度等级分别为 0.2 级和 1.0 级、量程都为 300V 的两只电压表, 分别测量 220V 的电压, 求每只表的最大绝对误差。

解 0.2 级表可能产生的最大绝对误差为

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K) = 300 \times (\pm 0.2\%) = \pm 0.6(\text{V})$$

1.0 级表可能产生的最大绝对误差为

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K) = 300 \times (\pm 1.0\%) = \pm 3(\text{V})$$

因此, 测量 220V 电压时, 0.2 级表测得为 (220 ± 0.6) V, 1.0 级表测得为 (220 ± 3) V。

【例 1-1-3】 用准确度等级为 1.0 级、上限为 10A 的电流表测量 4A 电流时, 可能出现的最大相对误差是多少?

解 该表的最大绝对误差为

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K) = 10 \times (\pm 1.0\%) = \pm 0.1(\text{A})$$

测量 4A 电流时可能出现的最大相对误差为

$$\gamma = \frac{\Delta_m}{A_0} \times 100\% = \frac{\pm 0.1}{4} \times 100\% = \pm 2.5\%$$

由上例可知,在一般情况下,测量结果的准确度(即最大相对误差)并不等于仪表的准确度,两者不可混为一谈。

【例 1-1-4】 用一只准确度等级为 2.5 级、上限为 250V 的电压表分别测量 220V 和 110V 电压,试分别计算最大相对误差。

解 该仪表的最大绝对误差为 $\Delta_m = A_m \times (\pm K) = 250 \times (\pm 2.5\%) = \pm 6.25(\text{V})$

测量 220V 时,可能出现的最大相对误差为

$$\gamma = \frac{\Delta_m}{A_0} \times 100\% = \frac{\pm 6.25}{220} \times 100\% = \pm 2.84\%$$

测量 110V 时,可能出现的最大相对误差为

$$\gamma = \frac{\Delta_m}{A_0} \times 100\% = \frac{\pm 6.25}{110} \times 100\% = \pm 5.68\%$$

由 [例 1-1-4] 可知,用同一只电压表测量不同数值的电压,仪表的准确度虽未变,但被测量远离上量限时测得结果的相对误差较大。所以,在选用仪表时不要片面追求仪表的准确度等级,而应该根据被测量的大小,选择适当的量程。被测量越接近上限值,测量的相对误差越小,测量的准确度越高,一般要求被测量在仪表满刻度的 $1/2 \sim 2/3$ 之间。还应指出,当不在规定的正常条件下使用仪表时,应考虑附加误差的影响。

使用仪表前,应按仪表规定的位置(垂直、水平等)放置好,要远离外磁场、电场;应调节表壳上的调零器,使指针在“零”的位置。测量时,应注意正确读数,使视线与仪表刻度尺的平面垂直。如果仪表刻度尺带有镜子,在读数时,应使指针盖住镜子中指针的影子,这样可减小和消除读数误差。

3. 减小误差的方法

减小因仪表内阻而引起的测量误差有不同量程两次测量计算法和同一量程两次测量计算方法两种方法。

(1) 不同量程两次测量算法。当电压表的内阻不够高或电流表的内阻太大时,可利用多量程仪表对同一被测量用不同量程进行两次测量,所得读数经计算后可得到准确的结果。

1) 电压表不同量程两次测量算法。电压表不同量程测量电路如图 1-1-1 所示,欲测量具有较大内阻 R_0 的电源 U_S 的开路电压 U_0 时,如果所用电压表的内阻 R_V 与 R_0 相差不大,将会产生很大的测量误差。

设电压表有两挡量程, U_1 、 U_2 分别为在这两个不同量程下测得的电压值,令 R_{V1} 和 R_{V2} 分别为这两个相应量程的内阻,则由图 1-1-1 可得出

$$U_1 = \frac{R_{V1}}{R_0 + R_{V1}} U_S, \quad U_2 = \frac{R_{V2}}{R_0 + R_{V2}} U_S$$

对上述两式进行整理,消去电源内阻 R_0 , 化简得

$$U_S = \frac{U_1 U_2 (R_{V2} - R_{V1})}{U_1 R_{V2} - U_2 R_{V1}} = U_0$$

由该式可知：通过上述的两次测量结果 U_1 、 U_2 ，可准确地计算出开路电压 U_0 的大小（已知电压表两个量程的内阻分别为 R_{V1} 和 R_{V2} ），而与电源内阻 R_0 的大小无关。

2) 电流表不同量程两次测量计算法。对于电流表，当其内阻较大时，也可用类似的方法测得准确的结果。图 1-1-2 所示为电流表不同量程测量电路，设电流表有两挡量程， I_1 、 I_2 分别为在这两个不同量程下测得的电流值，令 R_{A1} 和 R_{A2} 分别为这两个相应量程的内阻，则由图 1-1-2 可得出

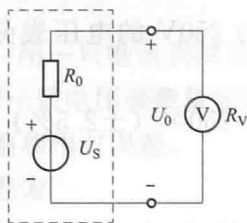


图 1-1-1 电压表不同量程测量电路

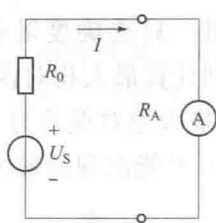


图 1-1-2 电流表不同量程测量电路

$$I_1 = \frac{U_S}{R_0 + R_{A1}}, \quad I_2 = \frac{U_S}{R_0 + R_{A2}}$$

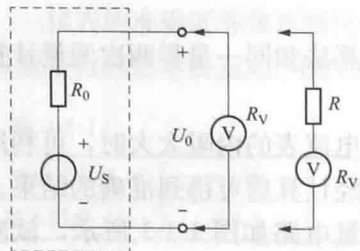
解得

$$I = \frac{U_S}{R} = \frac{I_1 I_2 (R_{A1} - R_{A2})}{I_2 R_{A1} - I_1 R_{A2}}$$

由该式可知：通过上述的两次测量结果 I_1 、 I_2 ，可准确地计算出被测电流 I 的大小（已知电流表两个量程的内阻分别为 R_{A1} 和 R_{A2} ）。

(2) 同一量程两次测量计算法。如果电压表（或电流表）只有一挡量程，且电压表的内阻较小（或电流表的内阻较大）时，可用同一量程进行两次测量法减小测量误差。其中，第一次测量与一般的测量并无两样，只是在进行第二次测量时必须要在电路中串入一个已知阻值的附加电阻。

1) 电压测量。同一量程电压测量电路如图 1-1-3 所示。第一次测量时，电压表的读数为 U_1 （设电压表的内阻为 R_V ），第二次测量时应与电压表串接一个已知阻值的电阻 R ，电压表的读数为 U_2 。由图 1-1-3 可知



$$U_1 = \frac{R_V}{R_0 + R_V} U_S, \quad U_2 = \frac{R_V}{R_0 + R_V + R} U_S$$

解得

$$U_S = U_0 = \frac{R U_1 U_2}{R_V (U_1 - U_2)}$$

图 1-1-3 同一量程电压测量电路

2) 电流测量。同一量程电流测量电路量如图 1-1-4 所示。第一次测量时，电流表的读数为 I_1 （设电压表的内阻为 R_A ），第二次测量时应与电流表串接一个已知阻值的电阻 R ，电流表读数为 I_2 。由图 1-1-4 可知

$$I_1 = \frac{U_S}{R_0 + R_A}, \quad I_2 = \frac{U_S}{R_0 + R_A + R}$$

解得

$$I = \frac{U_S}{R_0} = \frac{I_1 I_2 R}{I_2 (R_A + R) - I_1 R_A}$$

由上面分析可知：采用不同量程两次测量计算法或同一量程两次测量计算法，不管电表内阻如何总可以通过两次测量和计算得到比单次测量准确得多的结果。

1-1-3 使用仪表的基本要求

(1) 选择仪表的类型：根据被测量的性质选择仪表的类型（交流或直流，测交流时是工频还是高频）。

(2) 选择仪表内阻：根据测量线路及被测量电路的阻抗大小选择仪表的内阻（电压表的内阻越大越好）。

(3) 选择仪表的准确度等级：根据实际工程的要求和合理的经济性，合理地选择仪表的准确度等级（一般要求交流电流表、电压表、功率表的准确度等级为 0.5~2.5 级；直流电流表、电压表的准确度等级为 1.5 级；互感器的准确度等级至少应为 1.0 级）。

(4) 选择仪表的量程：根据被测量的大小，选择适当的量程，应使被测量的大小为仪表测量上限的 $1/2 \sim 2/3$ 之间。

(5) 选择仪表的工作条件：对应不同的使用场合、工作条件选择适当组别的仪表。

(6) 正确接线：不同的仪表，接线也不同，不能乱接和接错。直流表要注意+、-端子。电动系仪表要注意端子的极性符号。互感器二次绕组的准确度等级有两种，应把仪表接在准确度等级较高一级的端子上，而将继电保护接在准确度等级较低一级的端子上。

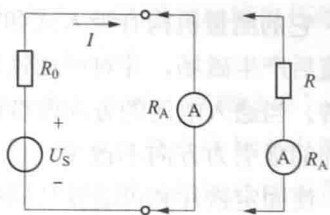


图 1-1-4 同一量程电流测量电路

1-2 电压表、电流表和功率表

1. 磁电系直流电流表、电压表

(1) 构造。直流电流表和电压表的测量机构属于磁电式，其基本构造由固定部分和可动部分组成。固定部分包括永久磁铁、极掌和圆柱铁芯，它们组成一个均匀的空气隙，具有较强磁场的磁路。可动部分包括转动线圈、指针和反作用弹簧，它们固定在同一轴上，是测量电路部分。

(2) 工作原理。当电流通入转动线圈后，线圈在磁场中受到电磁力的作用，力的方向按左手定则确定，可知产生顺时针方向的转动力矩，其大小与通电线圈的电流成正比。在转动力矩的作用下，线圈和转轴上的指针一起转动，当转动力矩与反作用弹簧的反抗力矩平衡时，可动部分即停留在某一位置。指针偏转的角度与通过线圈电流的大小成正比，因此可以制成电流表。

由于线圈的电阻值是固定的，则通过线圈的电流与加在线圈两端的电压成正比。因此只要把刻度盘的电流刻度值改成对应的电压值，就构成磁电系电压表。

(3) 测量方法。电流表必须串联在被测电路中，正极接在“+”端，负极接在“-”端。即被测电流必须从电流表的正极进入，否则指针将要反转（由于是串联在电路中，电流表的内阻都越小越好）。

电压表必须与被测电路并联，并要注意正、负极性和量程。由于电压表支路通过电流，减小了负载上的电压降，因此电压表的内阻越大越好。同一个磁电式测量机构串联不同数值的附加电阻，可以制成不同量程的电压表。

2. 电磁系交流电流表、电压表

(1) 构造及工作原理。交流电压表和电流表通常采用电磁式仪表，它与磁电式的区别在于它产生的磁场不是由永久磁铁产生，而是由线圈通过电流产生的。

它的测量机构有吸入式和排斥式两种。①吸入式（扁线圈式）测量机构：当固定线圈通入电流后产生磁场，并对可动铁片产生吸力，可动铁片是偏心地装在轴上，铁片带动转轴和指针偏转。当通入电流的方向改变时，线圈磁场的极性 & 被磁化铁片的极性同时改变，因此磁场对铁片的吸引力方向不改变。②排斥式（圆线圈式）测量机构：当固定线圈通入电流后产生磁场，使固定铁片和可动铁片同时被磁化，为同性磁极，因此它们将互相排斥，而带动转轴和指针偏转。如果电流改变方向，则它们同时改变极性，因此可动部分的转动方向不变。

不论是吸入式测量机构还是排斥式测量机构，它们的转动力矩的大小都与通入线圈电流的平方成正比，当转动力矩与弹簧扭紧而产生反抗力矩达到平衡时，指针停止在某一位置，其偏转弧度即可表示电流和电压的大小。

(2) 交流电流、电压的测量。

1) 低压电路中的测量方法与直流电路中的测量方法一样。

2) 高电压电流或大电流的测量：必须通过电压互感器或电流互感器将大电压或大电流变为低电压或小电流，从而扩大电压表或电流表的量程。经过电压或电流互感器接入电压表或电流表，使工作人员与高压隔离，确保安全。

3) 在不断电情况下电流的测量：用钳形电流表可以在不断电的情况下测量电流。

(3) 电磁系仪表的主要特征。

1) 电磁系仪表可制成交直流两用表，结构简单，成本低，应用较广。

2) 由于被测电流不经过可动部分，直接进入固定线圈，因而过载能力强。

3) 刻度特性不均匀，经过对铁芯形状、尺寸精心设计制作后，可适当改善一些刻度特性。

4) 线圈磁场虽经屏蔽，但可动部分的电磁力仍易受外磁场的影响，使仪表产生误差。

5) 电磁系电流表的内阻较大，电磁系电压表的内阻较小，内阻对被测量电路产生较大的影响，产生一定的误差。

6) 电磁系仪表受温度和频率的影响较大。

3. 电动系电流表、电压表和功率表

(1) 测量机构和工作原理。电动系仪表的测量机构由建立磁场的固定线圈和在此磁场中偏转的可动线圈组成。其工作原理是：当固定线圈上加入电流时，线圈中产生磁场强度，其方向可由右手定则确定；当可动线圈通入电流时，磁场中会受到电磁力的作用，方向可根据左手定则确定，该力产生的力矩可使转轴发生偏转。转动力矩的大小与固定线圈、可动线圈中的电流的乘积成正比，当两个电流同时改变时，其转矩方向不变。仪表的反作用力矩由游丝或张丝产生。

(2) 测量。

1) 电流表测试时，其量限与固定线圈和可动线圈的连接方法有关。串联时被测电流小，并联时被测电流大。

2) 电压表的测量电路较简单，一般是将固定线圈和可动线圈相串联后，再接入适当的附加电阻。

3) 功率表测量机构的固定线圈和可动线圈彼此独立，通常把固定线圈作为电流线圈与负载串联。

可动线圈与附加电阻串联后，构成电压回路。由于电动式功率表是单向偏转，偏转方向与电流线圈和电压线圈中的电流方向有关。为了使指针不反向偏转，通常把两个线圈的始端都标有“*”或“±”符号，习惯上称之为“同名端”，接线时必须将有相同符号的端钮接

在同一根电源线上。当弄不清电源线在负载哪一边时, 针指可能反转, 这时只需将电压线圈端钮的接线对调一下, 或将装在电压线圈中更换极性的开关转换一下即可。

图 1-2-1 (a)、(b) 的两种接线方式, 都包含功率表本身的一部分损耗。在图 1-2-1 (a) 的电流线圈中流过的电流显然是负载电流, 但电压线圈两端电压却等于负载电压加上电流线圈的电压降, 即在功率表的读数中多出了电流线圈的损耗。因此, 这种接法比较适用于负载电阻远大于电流线圈电阻 (即电流小、电压高、功率小的负载) 的测量。如在日光灯实验中镇流器功率的测量, 其电流线圈的损耗就要比负载的功率小得多, 功率表的读数就基本上等于负载功率。在图 1-2-1 (b) 中, 电压线圈上的电压虽然等于负载电压, 但电流线圈中的电流却等于负载电流加上电压线圈的电流, 即功率表的读数中多出了电压线圈的损耗。因此, 这种接法比较适用于负载电阻远小于电压线圈电阻及大电流、大功率负载的测量。

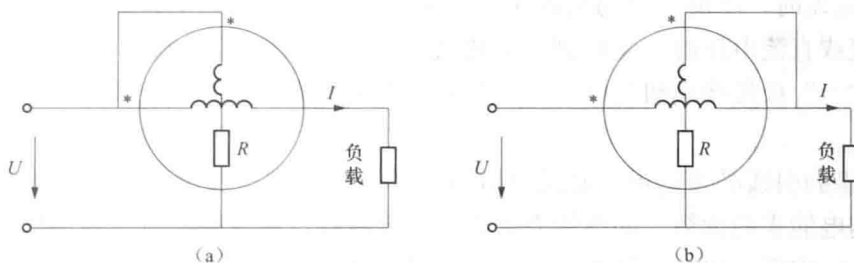


图 1-2-1 功率表的两种接线方式

(a) 接线方式一; (b) 接线方式二

使用功率表时, 不仅要求被测功率数值在仪表量限内, 而且要求被测电路的电压和电流值也不超过仪表电压线圈和电流线圈的额定量限值, 否则会烧坏仪表的线圈。因此, 选择功率表量限, 就是选择其电压和电流的量限。

电动系电流表、电压表测量时, 通入固定线圈和可动线圈的电流要相同且相位相同, 仪表的偏转角与线圈中的电流的平方成正比。

(3) 电动系仪表的特性。

- 1) 可用于直流电路和交流电路的测量。
- 2) 可制成电流表、电压表和功率表, 用于对交直流电流、电压和功率的测量。
- 3) 电流表、电压表的刻度不均匀, 功率表上的刻度均匀。
- 4) 电动系仪表的功率消耗较大, 常用于短时间测量。
- 5) 结构比较复杂。
- 6) 测量机构的附加误差主要由温度、频率和角误差三方面引起。

(4) 数字电压表的技术指标。数字电压表按测量功能可分为直流数字电压表和交流数字电压表两种。数字电压表一般由模拟部分和数字部分组成, 模拟部分的主要功能是获取电压并将其转换为相应的数字量, 数字部分完成逻辑控制、译码和显示等功能。数字电压表的核心是 A/D 转换器, 由 A/D 转换器工作原理的不同, 数字电压表又可分为逐次比较型和双积分型两种。

电压表的主要技术指标有:

- 1) 测量范围。数字电压表的测量范围通常以基本量程为基础, 借助于衰减器扩展量程。
- 2) 输入阻抗。数字电压表的输入阻抗主要由衰减器的阻抗决定。
- 3) 显示位数。数字电压表的显示位数是指完整显示位, 即能够显示 0~9 十个数字的那些位。

4) 测量速度。测量速度是指每秒对被测电压的测量次数, 或一次测量过程所需的时间, 它主要取决于 A/D 转换器的转换速率。

5) 分辨率。分辨率是数字电压表能够显示被测电压的最小变化值, 即显示器末位跳一个数字所需的最小输入电压值。

(5) 仪表使用注意事项。

1) 在搬运和拆装电能表时应小心, 轻拿轻放, 不能有强烈的振动或撞击, 以防损坏电能表的零部件, 特别是电能表的轴承和游丝。

2) 安装和拆卸电能表时, 应先切断电源, 以免发生人身事故或损坏测量机构。

3) 电能表接入电路之前, 应先估计电路上要测量的电流、电压等是否在电能表最大量程内, 以免电能表过载而损坏。选择电能表最大量程时, 以被测量的 1.5~2 倍为宜。

4) 测量电流时, 电流表应与被测电路串联。测量电压时, 电压表应与被测电路并联。测量直流电流或直流电压时, 应特别注意电能表的“+”极接线端钮与电源“+”极相连接, 电表的“-”极接线端钮与电源“-”极相连接。测量交流电流或交流电压时, 无须注意极性。

5) 电能表的引线必须适当, 要能负担测量时的负载而不致过热, 并且不致产生很大的电压降而影响电能表的读数。如电能表带有专用导线时, 在使用时应与专用导线连接。连接的部分要干净、牢靠, 以免接触不良而影响测量结果。

6) 电能表的指针须经常注意作零位调整。平时指针应指在零位上, 如略有差距, 可调整电能表上的零位校正螺钉, 使指针恢复到零点的位置。

7) 电能表应定期用干软布擦拭, 以保持清洁。

8) 使用时仪表应放置水平, 并尽可能远离强电流导线或强磁场地点, 以免使仪表产生附加误差。

9) 仪表指针如不在零位时, 可利用表盖上的零位调整器进行调整。

10) 测量时如遇仪表指针反方向偏转时, 改变换向开关的极性, 即可使指针顺方向偏转。切忌互换电压接线, 以免使仪表产生误差。

1-3 万 用 表

在实验室或现场检修工作中常要用万用表来检查电工设备或仪表的工作状态。万用表的形式多种多样, 具有测量项目多、量程宽、操作简单、携带方便等特点, 已作为一种测量工具在工作中被广泛、频繁地使用着。万用表是一种多功能、多量程的仪表, 是电工最常使用的仪表之一。万用表有指针式和数字式两个基本类型, 两者的功能和使用方法大体相同, 但测量原理、结构和线路却有很大差别, 在性能上也各有特点。

万用表一般用于测量直流电流、直流电压、交流电压及电阻等量值。

1. 万用表的组成

以 MF-10 型万用表为例, 指针式万用表由磁电系测量机构(表头)、测量线路及转换开关三部分组成。

(1) 表头。表头用来指示被测量的数值。通常万用表采用具有高灵敏度的磁电系仪表作表头。表头的满刻度偏转电流较小, 一般仅为几微安到几百微安。万用表表头的表盘上有多条标度尺并刻有各种测量所需要的符号, 其符号及意义见表 1-3-1。

(2) 测量线路。万用表的测量线路分别由多量限的直流电流表、多量限的直流电压表、多量限的交流电压表及多量限的欧姆表等线路组合而成。测量线路中大部分是各种类型、各种数值的电阻元件，分别起分流、降压作用。其中，可变电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 为调整电阻，二极管 VD1、VD2 作整流用，电容 C 是滤波电容，S1、S2 为联动转换开关。干电池有两组，9V 电池用于 $\times 10\text{k}\Omega$ 挡的测量，1.5V 电池用于 $\times 1\text{k}\Omega$ 、 $\times 100\Omega$ 、 $\times 10\Omega$ 、 $\times 1\Omega$ 挡的测量。

(3) 转换开关。万用表中各种测量量限的选择靠转换开关来实现。转换开关绕轴作圆周旋转定点步进。旋转支架上装有活动金属接触片（常称为“刀”），当活动金属接触片与对应的空心绝缘圆片上的固定接触点接触时，就接通了测量电路。由于万用表测量量限及功能较多，因此，常用二～三层绝缘圆片的数十个固定接触点构成转换电路，然后通过转换开关来完成转换工作。

2. 万用表的技术特性

万用表的技术特性主要包括测量功能、测量范围、测量准确度、测量灵敏度以及内用的电池电压等。以 MF 系列万用表技术特性为例，其主要技术指标见表 1-3-2。

表 1-3-2 MF 系列万用表主要技术指标

测量分类	测量范围	灵敏度或电压降	准确度等级	基本误差表示方法
直流电流	0~0.05~1~10~100mA	0.75V	2.5	以上量限的百分数表示
直流电压	0~2~10~50~250~500V	20 000Ω/V	2.5	
交流电压	0~10~50~250~500V	4000Ω/V	4.0	
电阻	0~4kΩ~40kΩ~400kΩ~4kΩ~40kΩ~（以 24Ω；240Ω；24kΩ。240kΩ 为中心值）		2.5	以标度尺长度百分数表示
音频输出	0dB=1MV, 600Ω 时 10V, -10dB~+22dB 50V, +4dB~+36dB 520V, +18dB~+50dB		4.0	

由表 1-3-2 可见，交流电压的测量范围是 0~500V，测量挡位共分 10、50、250、500V 四挡，电压测量灵敏度为 4000Ω/V，在 45~55Hz 频率范围内保证 4.0% 的测量准确度。其余测量功能也可从此表中看出。

3. 万用表的使用

(1) 正确选择测量种类、量程。

1) 测量种类、测量范围的选择要慎重，每一次拿起表棒准备测量时，都要复查一下选

表 1-3-1 万用表表盘符号及意义

序号	符号	意义
1	A-V-Ω 或 A-V-0	万用表（三用表）
2		交直流两用
3	—或 DC	直流
4	—或 AC	交流（单相）
5		磁电系整流式仪表
10		水平放置使用
12	2.5—	测交流时以指示值的百分数表示的准确度等级。2.5 表示误差不超过 2.5%
13	2.5	以标度尺长度百分数表示的准确度等级。2.5 表示 2.5 级
14	45~1500Hz	工作频率范围
15	20kΩ/V	直流电压灵敏度
16	5kΩ/V 或 5000Ω/V	交流电压灵敏度
17	0dB=1mW, 600Ω	规定零电平为 600Ω 负载上获得 1mW 的功率，以此作为参考电平

择开关的位置是否恰当。

2) 将红色表棒和黑色表棒分别与“+”端和“-”端连接。这样在测量时,通过色标可使红色表棒总与被测对象的正极、高电位接触,避免指针反指。

(2) 正确读数。

1) 表盘刻度尺分格对应的量值要分清。

2) 标度尺与量限开关的示值要对应。

3) 应使万用表的指针指示在 $1/2 \sim 2/3$ 标度尺之间,否则应改变测量量程,使被测量有一最准确的读数。

(3) 测量电阻。

1) 每次测量前必须调零,换欧姆挡后也要调零。

2) 测电阻不能带电,如电路有电容器,应先将电容器放电。

3) 测大电阻时,不能用手接触导电部分,否则会给测量结果带来严重误差。

4) 万用表的电流是从“-”端流出的,即“-”端为内附电池的正极,“+”端为内附电池的负极。

5) 测晶体管电阻时应将测量量限放在 $R \times 100\Omega$ 、 $R \times 1k\Omega$ 挡。若用 $R \times 1\Omega$ 、 $R \times 10\Omega$ 挡测量可能会烧坏晶体管,若用 $R \times 10k\Omega$ 挡测量,则有可能会击穿晶体管。

6) 不允许用万用表 $R \times 1\Omega$ 、 $R \times 10\Omega$ 挡测量微安表、检流计、标准电池等的内阻。

7) 测量间歇中,应防止两根表棒短路,浪费电池能量。

(4) 测量电流与电压。

1) 测量电流时,万用表串入电路,红色试棒接被测对象正极,黑色试棒接被测对象负极。

2) 测量电压时,万用表并入电路,红色试棒接被测对象高电位,黑色试棒接至低电位。

3) 测试中需转换量程转换开关时,应将试棒离开测试点,以免量程转换开关接触点打火,烧毁量程转换开关。

4) 若不知被测对象数值大小,应先将万用表放置在最大测量量限,视指针偏转情况再逐步减小测量量限。

5) 在高电压测试时,宜单手操作,先将黑色试棒置零电位处,再用单手将红色试棒接触被测端。

6) 若被测量波形为方波、矩齿波、三角波等时,测量结果偏差较大。

7) 测量完毕,应将万用表的量程转换开关放至交流电压最高挡。

电阻器、电容器、电感器、半导体器件等是电子系统的常用元器件。掌握常用元器件的性能、用途及测试方法,对提高电子装置的装配质量和可靠性起到重要的作用。

4. 电阻器的识别与型号

电阻器是一种耗能元件。在电子电路中,电阻器作为负载、限流、分流、降压、分压、取样等器件而被大量使用。选用电阻器时应考虑电阻器的类型、阻值、精度和额定功率。

(1) 电阻器的分类。电阻器一般可分为固定电阻器、可变电阻器和敏感电阻器三大类;按电阻体材料的不同,又分为膜式电阻器、实芯式电阻器、绕线式电阻器和特殊电阻器四种类型。常用的电阻器有金属膜电阻器和碳膜电阻器。

(2) 电阻器的指标。

1) 额定功率。电阻器的额定功率分为 0.05、0.125、0.25、0.5、1、2、5、7、10、20W 等 19 个等级。电阻器的额定功率与体积的大小有关,电阻器的体积越大,额定功率数