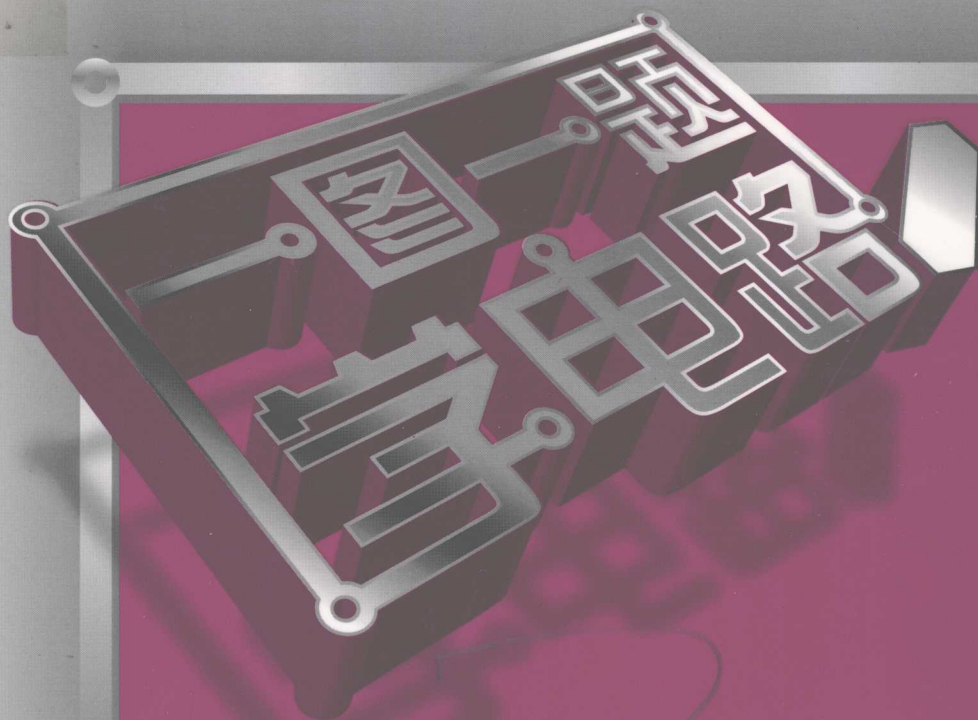




电工测量

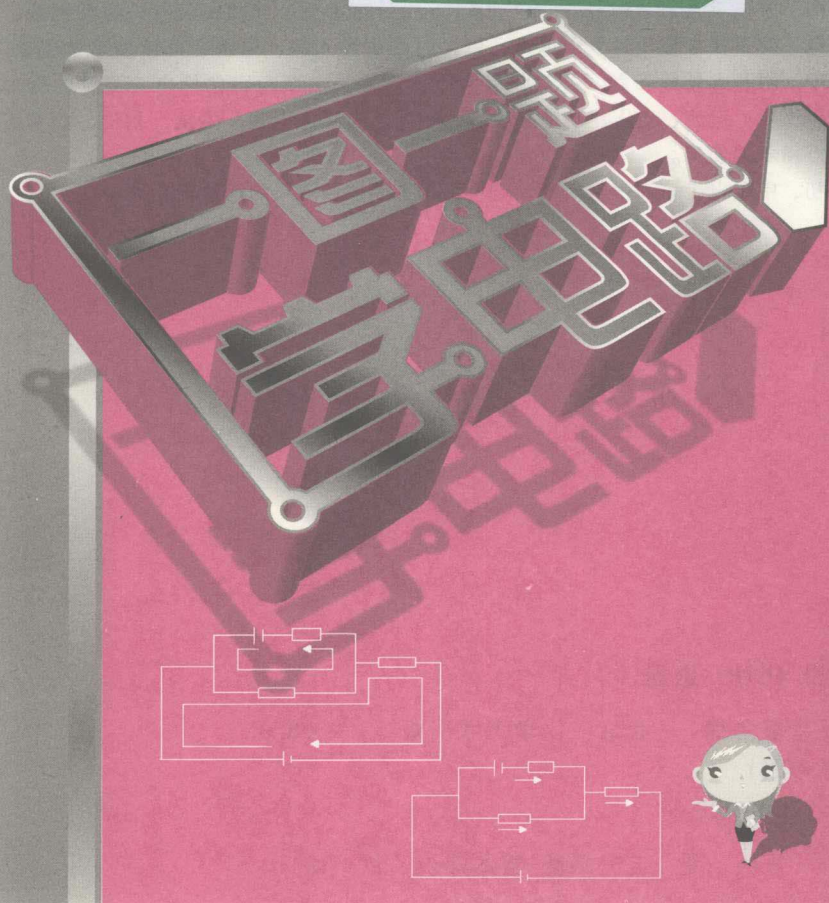
王善斌 主编 魏旭冠 秦焱 副主编 李金伴 主审



化学工业出版社

TM93/109=2

2008



电工测量

王善斌 主编

魏旭冠 秦焱 副主编

李金伴 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《一图一题学电路》系列图书中的一本,其主要特色是以电路图及其分析和例题、习题为主。本书把电工测量技术分为若干个单元,单元内容由浅入深,电路图识读由简单到复杂,知识要点贯穿其中,附有大量练习题,并提供参考答案。本书主要内容包括电工测量的基本知识,常用电工仪器仪表,电流、电压、功率和电能、电阻、电感、电容、阻抗、相位、功率因数 and 频率的测量及万用表的使用。

本书可作为初、中级电工培训学习用书,也可供相关专业职业技术学校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工测量/王善斌主编. —北京:化学工业出版社, 2008. 3

(一图一题学电路)

ISBN 978-7-122-02306-3

I. 电… II. 王… III. 电气测量-基本知识 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 030396 号

责任编辑:李玉晖 宋 薇

文字编辑:李玉峰

责任校对:洪雅姝

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张14¼ 字数281千字 2008年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

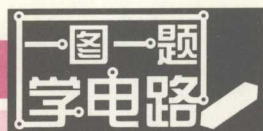
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.00 元

版权所有 违者必究

《一图一题学电路》

系列图书编委会名单



主 任：刘会霞

副主任：赵德安 周建中 李金佺 陆一心

委 员：刘会霞 赵德安 周建中 李金佺 陆一心

张建生 王善斌 周新云 丁继斌 谭延良

尤德同 宋昌才 盛占石 张应龙 袁晓明

黄 丽 朱 丽 王富良

《一图一题学电路 电工测量》

编审人员



主 编：王善斌

副 主 编：魏旭冠 秦 焱

主 审：李金伴

参加编写：龚 琳 王 玮 冯玉龙 陈 戈 黄 祚



序

随着科学技术的迅猛发展,不同学科之间相互渗透、交叉融合,不断衍生新的研究领域。作为一种重要的技术手段,电工电子技术的发展日新月异。尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使电工电子技术的内涵和外延发生了革命性的变化,正在迅速改变着设计制造业的面貌。传统的设计制造技术也不断吸收信息、材料、能源及管理等领域现代成果,综合应用于电工电子产品的设计、制造、检测、生产管理和售后服务。21世纪电气设备发展的总趋势是:强弱电技术的融合更为密切;多学科、多专业的交叉更为深入;我国电气产品与国际接轨的步伐将迈得更大,国内外的技术交流也将更为广泛。

当今世界,科学技术发展迅速,知识经济发展显现端倪,综合国力的竞争日趋激烈。国力的竞争,归根结底是科技与人才的竞争。为了适应社会对技术技能人才的需求,配合江苏大学的国家级综合性工程训练示范中心、江苏省实验教学示范中心、农业电气化与自动化国家重点学科,以及机械设计制造及其自动化国家级特色专业建设点建设的需要,江苏大学工业中心、电气信息工程学院和化学工业出版社组织编写了《一图一题学电路》、《电工技能训练丛书》两套系列图书,以期满足广大电气工作者和爱好者的迫切需要。

这两套系列图书从系统的观点出发,分别定位于电工电子的知识储备和技能培养。《一图一题学电路》包括《电工基础》、《电工测量》、《传感器》、《变压器》、《电动机》、《电子技术基础》、《电力电子》、《电力拖动自动控制》8个分册。《电工技能训练丛书》包括《电工基本操作》、《电工测量》、《电工工具和仪器仪表》、《变压器检修》、《电动机检修》、《电子线路安装与调试》、《常用机床电气线路检修》7个分册。

《一图一题学电路》系列图书介绍了电工电子的基础知识和工程应用,把各相关技术内容分为若干个单元,每个单元由若干知识点组成,每个知识点的展开分为电路图、电路分析、知识要点、例题、例题分析、练习题和练习题答案等模块。这套书的特点是:

模块化——采用单元式的结构,把相关知识划分成若干模块,将基础知识融合到了各个模块中。

应用性——基本理论与实用性并重,通过工程实例来分析、说明基本概念与基本理论及基本概念和理论如何具体在实践中应用。

这两套系列图书编写时从实用出发,力求理论与实际相结合,突出新颖性,介绍电



气设备的结构、工作原理、技术参数、适用场合、技术操作要点、运行与维护经验等。注重理论联系实际,融入应用实例,突出技能和技巧。本着求精避繁的原则,对电气设备的基础理论、材料、器件、应用电路、安装、调试、运行与维修等适用面广、使用频率高和实用性强的技术内容作了详细的阐述。同时,还从实际出发,反映了电工电子、电力电子、计算机、自动控制、传感器、机电一体化相互交叉、纵横结合的发展趋势。

两套书可以作为电工和电子爱好者的参考书,同时也结合了一些高等教育教学改革的思想 and 成果。高等教育是科技发展的基础,是高级专门人才培养的摇篮。我国高等教育在振兴中华、科教兴国的伟大事业中担负着极其艰巨的任务。为了适应我国建设和发展的需要,1993年党中央、国务院颁布《中国教育改革和发展纲要》以后,原国家教委全面启动和实施《高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划》,有组织、有计划地在全国推进教学改革工程。其主要内容是:改革教育体制、教育思想和教育观念;拓宽专业口径,调整专业目录,强调创新精神和实践能力、工程师素质的培养,制定新的人才培养方案;改革课程体系、教学内容、教学方法、教学手段和工程训练;实现课程结构和教学内容的整合与优化。编写、出版这两套系列图书是在以上教育理论与教育思想的指导下,将教学改革思想和教学改革成果融入其中,根据人才培养计划中对学生知识、工程训练和实践能力的要求编写,及时反映了新设备、新技术、新工艺的推广应用。系列图书的编写符合教学改革的精神,遵循了教学规律和人才培养规律,具有明显的特色。希望能够得到读者的关注和指正。

《一图一题学电路》系列图书编委会
2008年3月



前 言

电工测量是电气技术人员和技术工人的基本技能,实际操作技术水平的提高有赖于扎实的理论基础。本书理论联系实际,用现象说明原理,用电路反映应用,以提高读者实践技能为切入口,从实用角度出发,介绍电气工程中常用的测量技术。

本书将电工测量方面的理论和知识,系统地划分成 22 个单元,每个单元包含若干知识点,每个知识点的内容又包括:电路图、电路分析、知识要点、例题、例题分析、练习题和练习题答案。电路由简单到复杂,读者学完一个单元,就能掌握电工测量方面的总分知识和技能。每单元后附有练习题,并提供参考答案。

全书力求理论从简,深入浅出,突出实用性,是一本启发和培养读者思考问题、解决实际问题能力的书,也是企业工程技术人员用于提高自身理论水平与业务能力的参考手册。

本书共分 4 章。第 1 章介绍电流、电压、功率和电能的测量,分为 11 个单元,即电流表的使用、电压表的使用、电度表的使用、低频信号发生器、磁电系检流计、电流的测量、电压的测量、直流电路中功率的测量、直流电路中电能的测量、三相交流电路中功率的测量、三相交流电路中电能的测量;第 2 章介绍电阻、电感、电容和阻抗的测量,分为 6 个单元,即电阻的间接测量、电感的间接测量、阻抗的间接测量、接地电阻的测量、电桥的使用、直流单双臂电桥;第 3 章介绍相位、功率因数和频率的测量,分为 3 个单元,即相位测量、功率因数测量、频率的测量;第 4 章介绍万用表的使用,分为 2 个单元,即数字式万用表的使用和维护、数字式万用表的测量实例。

本书由王善斌主编,魏旭冠、秦焱副主编,龚琳、王玮、冯玉龙、陈戈、黄祚参加编写,由李金伴教授主审。本书收集了教学一线教师的教案、案例和练习题,并得到了他们的大力支持和无私帮助,在此表示感谢和敬意。编写过程中,参考了一些教育网站上有关电工测量方面的课件、练习题及新理论、新方法,在此一并感谢。本书不足之处在所难免,欢迎读者指正。

编者
2008 年 3 月



目 录

第 1 章 电流、电压、功率和电能的测量

1

单元 1	电流表的使用	2
单元 2	电压表的使用	8
单元 3	电度表的使用	14
单元 4	低频信号发生器	29
单元 5	磁电系检流计	36
单元 6	电流的测量	45
单元 7	电压的测量	51
单元 8	直流电路中功率的测量	66
单元 9	直流电路中电能的测量	73
单元 10	三相交流电路中功率的测量	76
单元 11	三相交流电路中电能的测量	85

第 2 章 电阻、电感、电容和阻抗的测量

91

单元 12	电阻的间接测量	92
单元 13	电感的间接测量	101
单元 14	阻抗的间接测量	107
单元 15	接地电阻的测量	113
单元 16	电桥的使用	119
单元 17	直流单双臂电桥	130

第 3 章 相位、功率因数和频率的测量

139

单元 18	相位测量	140
单元 19	功率因数测量	150
单元 20	频率的测量	161



目 录

第 4 章 万用表的使用

171

单元 21	数字式万用表的使用和维护	172
单元 22	数字式万用表的测量实例	182

练习题参考答案

192

参考文献

217



常用的表式串

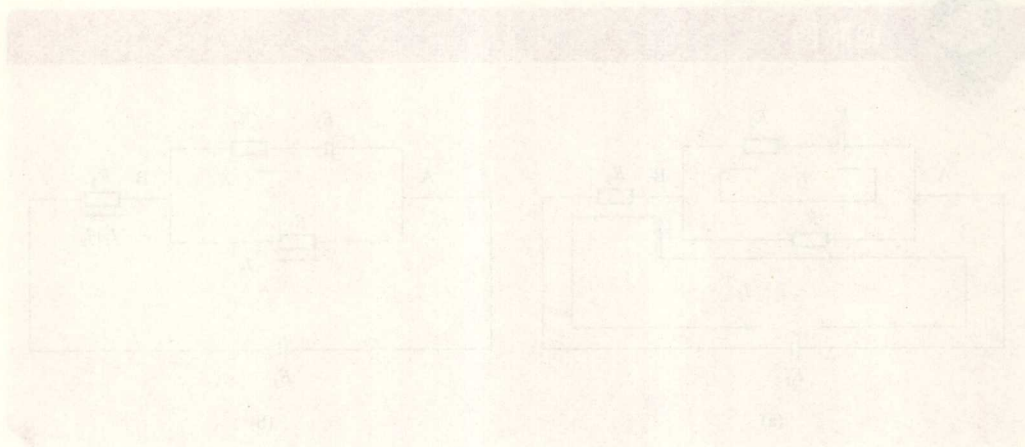


图 1-1 串接式电流表的使用

第 1 章 电流、电压、功率和电能的测量

- 单元 1 电流表的使用
- 单元 2 电压表的使用
- 单元 3 电度表的使用
- 单元 4 低频信号发生器
- 单元 5 磁电系检流计
- 单元 6 电流的测量
- 单元 7 电压的测量
- 单元 8 直流电路中功率的测量
- 单元 9 直流电路中电能的测量
- 单元 10 三相交流电路中功率的测量
- 单元 11 三相交流电路中电能的测量

单元 1

电流表的使用

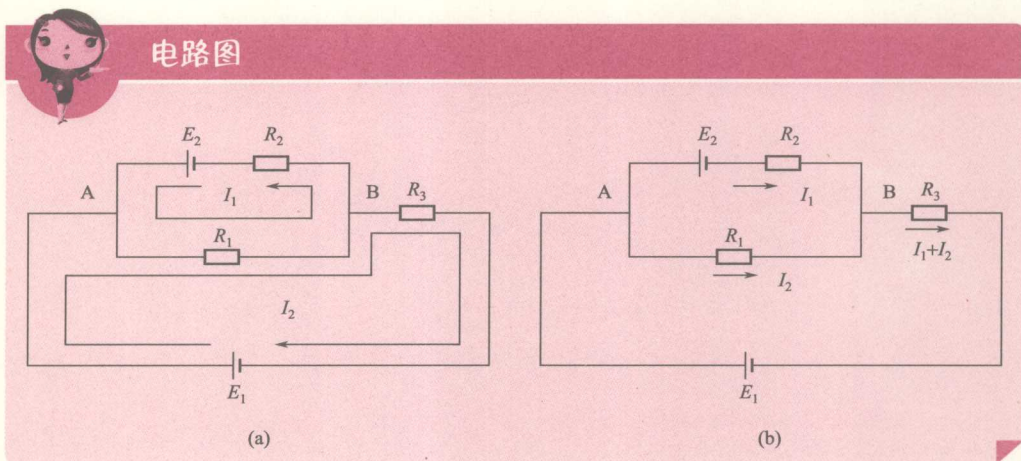


图 1-1 回路电流法和支路电流法

电路分析

当电路中的电压为直流电压时，电路中的电流 I_1 和 I_2 的值，可用电流表直接测得，也可通过回路电流法 [电流流过每一个闭合电路，以回路电流为电路的独立变量，如图 1-1 (a)] 和支路电流法 [电流流过每个支路，以支路电流为独立变量，如图 1-1 (b)] 求得。

知识要点

1. 直接测量法测量直流电流

直接法就是测量被测量时，测量结果能从仪表直接读出。此法简单方便，读数迅速，但由于仪表内阻的存在，测量精度受到一定程度的影响。

如图 1-2 所示，电源电压 E ，电阻 R ，电流表内阻 r ，测量电路的电流 I 。

接入电流表前电流为 $I = \frac{E}{R}$ ，接入电流表后由于内阻的存在，电流变为 $I' = \frac{E}{R+r}$ ，电阻变大电源不变时有 $I' < I$ 。

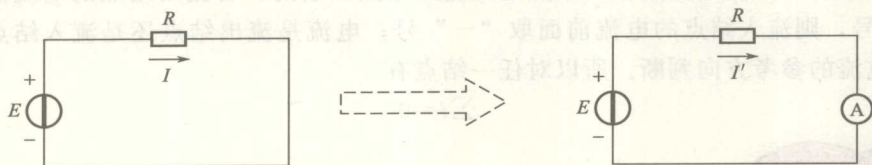


图 1-2 直接法测量电流

2. 带分流器的直流电流表的接入方法

图 1-3 为带分流器的直流电流表的接入方法，测量时应将分流器的电流端（外侧二端子）接入电路中，由表头引出的导线应接在分流器的电位端子上，这时的电流表读数为 I/K （ K 为分流比）。

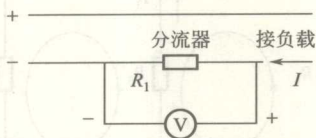


图 1-3 带分流器的直流电流表的接入方法

3. 电流表的使用注意事项

- (1) 磁电系电流表在使用时要注意极性。当仪表接入被测电路时，要保证电流从“+”端钮流入，从“-”端钮流出，以防指针反偏。
- (2) 尽量选择低内阻的电流表测量电流，否则会带来很大的测量误差。
- (3) 量程选择要合适。在量程许可的情况下，应尽量使指针偏转角度大一些。
- (4) 电流表应与被测电路串联。一般电流表的内阻较小，所以，使用时严禁将电流表与被测电路并联。

4. 回路电流法

把组成电路的每一个二端元件称为一条支路，把支路的连接点称为结点，这样每一个二端元件是连接于两个结点之间的一条支路。由支路构成的闭合路径称为回路。

在任何时刻，沿任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零。因此，沿任一回路有

$$\sum u = 0$$

上式取和时，需要任意指定一个回路的绕行方向。凡支路电压的参考方向与回路的绕行方向一致者，该电压前面取“+”号；支路电压的参考方向与回路的绕行

方向相反者,前面取“-”号。

5. 支路电流法

在任何时刻,对任一结点,所有流出结点的支路电流的代数和恒等于零。电流的“代数和”根据电流是流出结点还是流入结点判断的。若流出结点的电流前面取“+”号,则流入结点的电流前面取“-”号;电流是流出结点还是流入结点,均根据电流的参考方向判断。所以对任一结点有

$$\sum i = 0$$



图 1-4 中, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 15\Omega$, $E = 10V$ 。试用直流表测量 I_1 、 I_2 和 I_3 , 并与理论值进行比较, 分析误差原因。

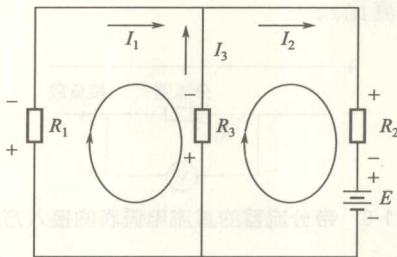


图 1-4 直流表测电流

解: 分别在各支路接入电流表, 测得电流值为

$$I_1 = 0.53A$$

$$I_2 = 0.87A$$

$$I_3 = 0.33A$$

理论计算如下。

电流和电压参考方向及回路绕行方向如图 1-4 所示, 令

$$\begin{cases} u_1 = R_1 I_1 \\ u_2 = R_2 I_2 \\ u_3 = R_3 I_3 \end{cases} \quad (1-1)$$

根据电路图列出 KCL 方程

$$I_1 + I_3 = I_2 \quad (1-2)$$

KVL 方程

$$\begin{cases} u_1 - u_3 = 0 \\ u_2 + u_3 + E = 0 \end{cases} \quad (1-3)$$

将式 (1-1) 代入式 (1-3) 有

$$R_1 I_1 - R_3 I_3 = 0$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 + E = 0$$

代入 $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 15\Omega$, $E = 10\text{V}$ 并联合式 (1-2) 有

$$I_1 + I_3 = I_2$$

$$10I_1 - 15I_3 = 0$$

$$5I_2 + 15I_3 + 10 = 0$$

可解得

$$I_1 = -0.55 \text{ (A)}$$

$$I_2 = -0.91 \text{ (A)}$$

$$I_3 = -0.36 \text{ (A)}$$



例题分析

由于电流表本身内阻的影响,使得测得结果与理论计算结果存在一定的差别,但在误差范围内是允许的。此外,在接线时还应注意以下两点:第一,电流表的极性与电路一致;第二,一般电流表接在被测电路的低电位端,避免使电流表的通电线圈与外壳间形成高电位。

练习题



一、判断题

1. 电流表的内阻越小,测量值越准确。()
2. 电动系功率表的电流线圈和电压线圈的电源钮,接线时极性相反。()
3. 功率表不仅可以测量负载的有功功率,也可以测量无功功率。()
4. 兆欧表的标度尺是反标度的。()
5. 万用表调零器的作用是使指针的初始位置在各测量挡都保持在零位上。()
6. 电流的方向与负电荷流动的方向相反。()
7. 为了扩大电流表的量程,可在表头上并联一个分流电阻。()

二、填空题

1. 指示仪表中的测量机构一般由____和____组成。在工作时主要产生____、反作用力矩和____。
2. 根据电磁系仪表工作时产生的电磁力类型,可将其分为____或____。
3. 直流电流表多为____仪表,交流电流表多为____仪表。
4. 选择电流表时,对于量程,应该使指针位于接近____。

5. 测量三相异步电动机定子绕组的电阻时, 可选用____或____, 其中电桥法的准确性较高。

6. 22V、100W 和 20V、60W 的两个灯泡, 则 ()。

(1) 100W 的电阻大 (2) 60W 的工作电流大

(3) 100W 的电阻小, 而工作电流大

(4) 60W 的电阻大, 而工作电流也大

7. 电流强度 (简称电流) 是指单位时间内通过电路某一截面的_____。

三、选择题

1. 防御外界磁场或电场性能最好的仪表是 ()。

A I 级表 B II 级表 C III 级表 D IV 级表

2. 外磁式磁电系仪表的永久磁铁位于可动线圈的 ()。

A 内部 B 外部 C 内部和外部

3. 电磁系仪表的分度呈 () 特性。

A 线性 B 指数 C 平方律

4. 使用电磁系仪表测量交流时, 其指示值为交流电的 ()。

A 瞬时值 B 最大值 C 有效值

5. 采用两表法测量三相三线制电路的功率时, 如果甲表读数为 50W, 乙表读数为 60W, 则该三相三线制电路的功率为 ()。

A 50W B 60W C 110W D 3000W

6. 用准确度为 1.0 级、量限为 5A 的电流表测量 4A 电流时, 则测量结果的准确度是 ()。

A $\pm 2.5\%$ B $\pm 1.25\%$ C $\pm 1.0\%$

7. 用量限为 300V 的电压表去测电压为 250V 的电压, 要求测量的相对误差不大于 $\pm 1.5\%$, 则电压表准确度等级应为 ()。

A 1.25 B 1.3 C 1.5 D 1.0

8. 下面属于电磁系仪表技术特性的是 ()。

A 过载能力差 B 交直流两用 C 准确度高 D 灵敏度高

9. 有一只磁电系表头, 满偏电流为 $500\mu\text{A}$, 内阻为 200Ω 。若需利用该表头测量 100A 的电流, 应选 () 规格的外附分流器。

A 150A 100mV

B 100A 100mV

C 100A 0.001Ω

D 150A 0.001Ω

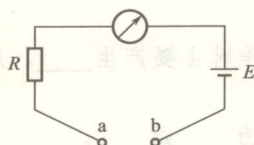


图 1-5 用万用表的电阻挡测量电阻

10. 如图 1-5 所示万用表的电阻挡测量线路, 已知 $R = 30\Omega$, $E = 1.5\text{V}$, 当测量电阻时, 指针指向满偏刻度的 $1/3$ 位置, 那么被测电阻为 ()。

A 30Ω B 60Ω C 10Ω D 20Ω

四、问答题

1. 磁电系测量机构为什么不能直接用来测量直流电?
2. 数字式仪表具有什么特点?

五、计算题

1. 求图 1-6 桥式电路中的电流。
2. 求图 1-7 中 AB 支路的电流 I_{AB} 。
3. 求图 1-8 电路中流过中央支路 AB 的电流 I_{AB} 。

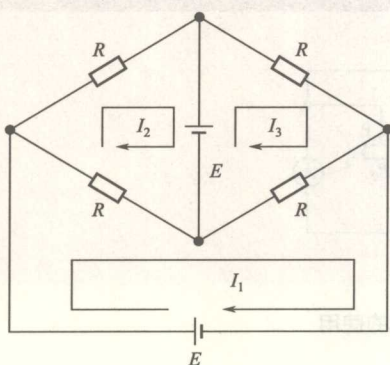


图 1-6 桥式电路

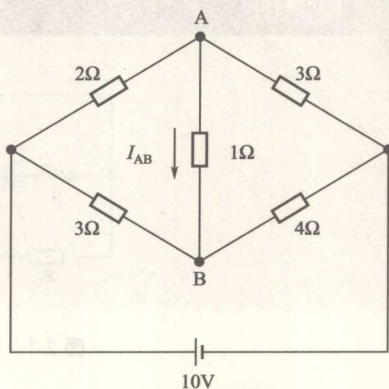


图 1-7 桥式电路的电流计算一

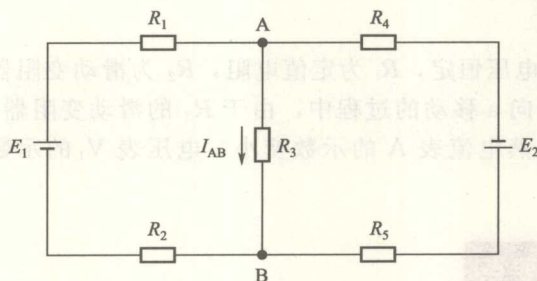


图 1-8 桥式电路的电流计算二