



ZHUANGBIAO JIEDIANGONG
JINENG KAOHE PEIXUN JIAOCAI

装表接电工

技能考核培训教材



华北电网有限公司培训中心 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

ZHUANGBIAO JIEDIANGONG
JINENG KAOHE PEIXUN JIAOCAI

装表接电工 技能考核培训教材

华北电网有限公司培训中心 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是华北电网有限公司培训中心根据多年装表接电工培训经验,联合各供电公司技能专家编写而成。本教材共分六章,第一章主要介绍装表接电人员应知应会的电工基础知识;第二章主要介绍万用表、钳形电流表(大电流表、小电流表)、相序表、伏安相位表、现场校表仪等各种表计的类型、结构、原理、应用和使用维护;第三章供用电常识,主要介绍电力系统概述、电力系统运行方式、配电设备、供配电网的接线方式、电气安全与设备接地知识;第四章电能计量装置,主要介绍电能表知识、计量用互感器、电能计量二次回路、电能计量装置的配置等内容;第五章主要介绍高压电源进户方式及装置、低压电源进户方式及装置、电能表及互感器、二次回路、电能计量屏、箱的安装要求;第六章主要介绍电能计量装置的错误接线分析、电能计量装置的接线检查、电能计量装置的故障处理及现场校验。

本书贴近生产一线,读者通过本书的学习能基本掌握装表接电工作的基本技能和基本知识。本书主要用于新形势下装表接电工的专业知识、技能培训,也可供相关专业的一线员工学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

装表接电工技能考核培训教材 / 华北电网有限公司培训中心编. —北京: 中国电力出版社, 2011.4
ISBN 978-7-5123-1532-7

I. ①装… II. ①华… III. ①电工—安装—技术培训—教材 IV. ①TM05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 050011 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 7 月第一版 2011 年 7 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 14.5 印张 249 千字

印数 0001—3000 册 定价 30.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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



装表接电工技能考核培训教材

装表接电专业是供电企业电力营销的重要工种，它直接服务于用电客户，是需求侧管理的重要环节，肩负着是否能够正确计量电量的重要责任，涉及供电企业和用电客户的经济利益。同时，作为客户用电申请的最后环节，只有完成了装表接电，客户才能真正用上电。随着国家电网公司“大营销”体制改革和智能电网发展，提升装表接电的业务水平显得更为迫切和重要。为适应发展需要，进一步提高装表接电人员业务水平，特编写此教材，希望通过正确掌握计量装置的安装、实验和日常运行技术，更好地提升客户服务水平。

本培训教材主要用于电力营销专业装表接电人员的培训、自学和技能鉴定辅助用书等，除介绍必要的理论知识外，还重点介绍了实际工作中必须掌握的技能知识，突出了实用性和针对性，并用图形加以说明，把复杂问题简单化，使读者能在短时间内掌握装表接电专业的实用知识，不至于走弯路，有效提高了读者的学习效率。

参加编审的人员有华北电网有限公司培训中心张华勇、马宝忠、李京欣、张万利、王蓉蓉、赵爽、马静，唐山供电公司吴京忠，廊坊供电公司刘桐然，承德供电公司乔晨光、张剑锋等。

本书的出版得到了华北电网有限公司培训中心领导和各供电公司专家的大力支持和帮助，在此表示诚挚谢意。

由于编写时间仓促且技术发展迅速，书中错误和不足之处在所难免，恳请读者对本书的内容提出宝贵意见，以便将来再版修订。

编者

目 录



前言

第一章 电工基础	1
第一节 直流电路	1
一、直流电路基本概念和简单直流电路	1
二、复杂电路计算	9
第二节 电磁基础知识	14
一、磁的性质和电流的磁场	14
二、感应电动势和载流导体受力	18
第三节 单相交流电路	21
一、交流电路的基本概念	21
二、交流电路的简单计算	28
第四节 三相交流电路	38
一、三相电动势的产生及其特点	39
二、三相电源的联结	40
三、三相负载的联结	42
四、三相电路的功率	45
第二章 常用仪表、工具的使用	47
第一节 常用仪表的使用	47
一、万用表	47
二、钳形电流表	55
三、相序表	61
四、相位伏安表	62
第二节 常用工具使用	65
一、螺钉旋具	65
二、剥线钳	66
三、低压验电笔	67
四、偏口钳	68

五、尖嘴钳	68
六、活络扳手	68
第三章 供用电常识	70
第一节 电力系统概述	70
一、电力系统与电力网	70
二、电力系统的生产要求	71
第二节 电力系统运行方式	74
一、中性点不接地系统	74
二、中性点经消弧线圈接地系统	74
三、中性点直接接地系统	75
四、低压配电系统接地方式	76
第三节 配电设备	80
一、刀开关	80
二、交流接触器	81
三、隔离开关	83
四、负荷开关	84
五、熔断器	86
六、断路器	91
第四节 供配电网的接线方式	95
一、供配电网接线基本要求	95
二、高压配电网的接线方式	97
三、中压配电网的接线方式	97
四、低压配电网的接线方式	101
第五节 电气安全与设备接地	103
一、人体触电	103
二、保护接地和保护接零	108
三、电力系统防雷保护	114
第四章 电能计量装置	119
第一节 电能表简介	119
一、电能表的型号含义	119
二、电能表的铭牌标志	119

第二节 计量用互感器	121
一、电流互感器	122
二、电压互感器	130
第三节 电能计量二次回路	138
一、二次回路的基本要求	138
二、电流回路阻抗计算	139
三、电流回路接线	139
四、电压互感器二次压降	141
五、电能计量装置的倍率	143
六、电能计量装置的综合误差	143
第四节 电能计量装置的配置	143
一、分类和设置原则	144
二、电能计量装置接线方式的总体要求	146
三、电能计量装置接线方式	146
四、电能计量装置配置	150
第五章 电能计量装置的安装	157
第一节 电能计量装置安装设计相关规定	157
第二节 低压电能计量装置安装要求	158
第三节 高压电能计量装置安装要求	161
第四节 安装工艺	165
第五节 智能电能表的技术要求	166
第六章 电能计量装置的接线检查	180
第一节 单相有功电能表的接线分析	180
一、单相有功电能表的接线方式	180
二、单相有功电能表的错误接线分析	182
第二节 低压三相四线电能计量装置的接线检查	184
一、正确接线方式	184
二、现场接线检查	185
三、错误接线分析	188
第三节 经电压、电流互感器接入的三相三线有功电能表接线检查	194
一、正确接线方式及相量图	194

二、现场接线检查	196
三、经电压、电流互感器接入的三相三线电能表错误接线分析	201
第四节 追退电量的计算	209
附录 A 常用绝缘导线长期连续运行时的允许载流量	214
附录 B 三角函数及公式	219

第一章

电 工 基 础

第一节 直 流 电 路

一、直流电路基本概念和简单直流电路

(一) 电路的基本组成

1. 电路的概念

电路是由各种元器件(或电工设备)按一定方式连接起来的总体,为电流的流通提供了路径。简单的直流电路如图 1-1 所示。

2. 电路的基本组成

电路的基本组成包括以下四个部分。

(1) 电源(供能元件)。为电路提供电能的设备和器件(如电池、发电机等)。

(2) 负载(耗能元件)。使用(消耗)电能的设备和器件(如灯泡等用电器)。

(3) 控制器件。控制电路工作状态的器件或设备(如开关等)。

(4) 连接导线。将电器设备和元器件按一定方式连接起来(如各种铜、铝电缆线等)。

3. 电路的状态

(1) 通路(闭路)。电源与负载接通,电路中有电流通过,电气设备或元器件获得一定的电压和电功率,进行能量转换。

(2) 开路(断路)。电路中没有电流通过,又称为空载状态。

(3) 短路(捷路)。电源两端的导线直接相连接,输出电流过大,对电源来说属于严重过载,如没有保护措施,电源或电器会被烧毁或发生火灾,所以通常要

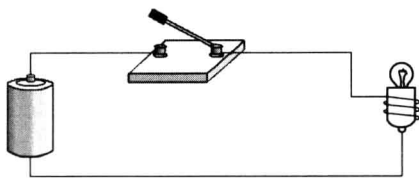


图 1-1 简单的直流电路

在电路或电气设备中安装熔断器等保险装置，以避免发生短路时出现不良后果。

4. 电路模型（电路图）

由理想元件构成的电路叫做实际电路的电路模型，也叫做实际电路的电路原理图，简称电路图。例如图 1-2 所示的手电筒电路。

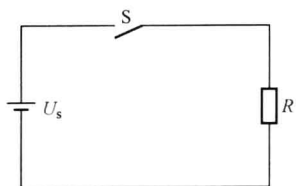


图 1-2 手电筒的电路原理图

理想元件：电路是由电特性相当复杂的元器件组成的，为了便于使用数学方法对电路进行分析，可将电路实体中的各种电器设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元件（模型）来代替，而对它实际上的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。

各电路元件名称及符号见表 1-1。

表 1-1

各电路元件名称及符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电阻		电压表	
电池		接地	
电灯		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

（二）电流和电压、电动势

1. 电流的基本概念

电路中电荷沿着导体的定向运动形成电流，其方向规定为正电荷流动的方向（或负电荷流动的反方向），其大小等于在单位时间内通过导体横截面的电量，称为电流强度（简称电流），用符号 I 或 $i(t)$ 表示，讨论一般电流时可用符号 i 。

设在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内，通过导体横截面的电荷量为 $\Delta q = q_2 - q_1$ ，则在 Δt 时间内的电流强度可用数学公式表示为

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1)$$

式中 Δt ——很小的时间间隔，秒（s）；

Δq ——电量，库伦（C）；

$i(t)$ ——电流，安培（A）。

常用的电流单位还有毫安（mA）、微安（ μA ）、千安（kA）等，它们与安培



的换算关系为

$$1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$$

$$1\text{kA}=10^3\text{A}$$

(1) 直流电流。如果电流的大小及方向都不随时间变化, 即在单位时间内通过导体横截面的电量相等, 则称之为稳恒电流或恒定电流, 简称为直流 (Direct Current), 记为 DC 或 dc, 直流电流要用大写字母 I 表示为

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{Q}{t} = \text{常数} \quad (1-2)$$

直流电流 I 与时间 t 的关系在 $i-t$ 坐标系中为一条与时间轴平行的直线。

(2) 交流电流。如果电流的大小及方向均随时间变化, 则称为变动电流。对电路分析来说, 一种最为重要的变动电流是正弦交流电流, 其大小及方向均随时间按正弦规律作周期性变化, 简称为交流 (Alternating Current), 记为 AC 或 ac, 交流电流的瞬时值要用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示。

2. 电压的基本概念

电压是指电路中 A、B 两点之间的电位差 (简称为电压), 其大小等于电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功, 电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。

电压的国际单位制为伏特 (V), 常用的单位还有毫伏 (mV)、微伏 (μV)、千伏 (kV) 等, 它们与伏特的换算关系为

$$1\text{mV}=10^{-3}\text{V}$$

$$1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$$

$$1\text{kV}=10^3\text{V}$$

(1) 直流电压。如果电压的大小及方向都不随时间变化, 则称之为稳恒电压或恒定电压, 简称为直流电压, 用大写字母 U 表示。

(2) 交流电压。如果电压的大小及方向随时间变化, 则称为变动电压。对电路分析来说, 一种最为重要的变动电压是正弦交流电压 (简称交流电压), 其大小及方向均随时间按正弦规律作周期性变化。交流电压的瞬时值要用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示。

3. 电动势的基本概念

衡量电源的电源力大小及其方向的物理量叫做电源的电动势。

电动势通常用符号 E 或 $e(t)$ 表示, E 表示大小与方向都恒定的电动势 (即

直流电源的电动势), $e(t)$ 表示大小和方向随时间变化的电动势, 也可简记为 e 。电动势的单位为伏特, 记做 V。

电动势的大小等于电源力把单位正电荷从电源的负极经过电源内部移到电源正极所做的功。如设 W 为电源中非静电力(电源力)把正电荷量 q 从负极经过电源内部移送到电源正极所做的功, 则电动势大小为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

电动势的方向规定为从电源的负极经过电源内部指向电源的正极, 即与电源两端电压的方向相反。

(三) 电阻

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件, 例如灯泡、电热炉等电器。

电阻定律表达式为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-4)$$

式中 ρ ——制成电阻的材料电阻率, 欧姆·米 ($\Omega \cdot m$);

l ——绕制成电阻的导线长度, 米 (m);

S ——绕制成电阻的导线横截面积, 平方米 (m^2);

R ——电阻值, 欧姆 (Ω)。

经常用的电阻单位还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$), 它们与欧姆的换算关系为

$$1k\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 10^6\Omega$$

(四) 欧姆定律

电阻元件的伏安关系符合欧姆定律, 即

$$U = RI \text{ 或 } I = U/R = GU \quad (1-5)$$

式中: $G=1/R$, 电阻 R 的倒数 G 叫做电导, 其国际单位制为西门子 (S)。

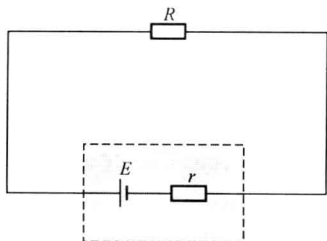


图 1-3 简单的闭合电路

简单的闭合电路如图 1-3 所示, 图 1-3 中, r 为电源的内部电阻, R 为电源外部连接的电阻(负载)。闭合电路欧姆定律的数学表达式为

$$E = RI + rI \text{ 或 } I = \frac{E}{R + r} \quad (1-6)$$

外电路两端电压 $U = RI = E - rI = \frac{E}{R + r} R$, 显然,

负载电阻 R 值越大, 其两端电压 U 也越大; 当



$R \gg r$ 时（相当于开路），则 $U=E$ ；当 $R \ll r$ 时（相当于短路），则 $U=0$ ，一般情况下，此时的电流（ $I=E/r$ ）很大，容易烧毁电源。

（五）电能和电功率

1. 电功率

电功率（简称功率）所表示的物理意义是电路元件或设备在单位时间内吸收或发出的电能。两端电压为 U 、通过电流为 I 的任意二端元件（可推广到一般二端网络）的功率大小为

$$P=UI \quad (1-7)$$

功率的国际单位制单位为瓦特(W)，常用的单位还有毫瓦(mW)、千瓦(kW)，它们与 W 的换算关系是

$$1\text{mW}=10^{-3}\text{W}$$

$$1\text{kW}=10^3\text{W}$$

吸收或发出功率：一个电路最终的目的是电源将一定的电功率传送给负载，负载将电能转换成工作所需要的一定形式的能量，即电路中存在发出功率的器件（供能元件）和吸收功率的器件（耗能元件）。

习惯上，通常把耗能元件吸收的功率写成正数，把供能元件发出的功率写成负数，而储能元件（如理想电容、电感元件）既不吸收功率也不发出功率，其功率 $P=0$ 。

通常所说的功率 P 又叫做有功功率或平均功率。

2. 电能

电能是指在一定的时间内电路设备或元器件吸收或发出的电能量，用符号 W 表示，其国际单位制为焦耳(J)，电能的计算公式为

$$W = Pt = UI t \quad (1-8)$$

通常电能用千瓦小时(kW·h)来表示大小，老百姓俗称为度(电)。

$$1 \text{度(电)} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

即功率为 1000W 的供能或耗能元件，在 1h 的时间内所发出或消耗的电能量为 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

3. 电气设备的额定值

为了保证电气设备和电路元件能够长期、安全地正常工作，规定了额定电压、额定电流、额定功率等铭牌数据。

(1) 额定电压。电气设备或元器件在正常工作条件下允许施加的最大电压。

(2) 额定电流。电气设备或元器件在正常工作条件下允许通过的最大电流。

(3) 额定功率。在额定电压和额定电流下消耗的功率,即允许消耗的最大功率。

(4) 额定工作状态。电气设备或元器件在额定功率下的工作状态,也称满载状态。

(5) 轻载状态。电气设备或元器件在低于额定功率的工作状态,轻载时电气设备不能得到充分利用或根本无法正常工作。

(6) 过载(超载)状态。电气设备或元器件在高于额定功率的工作状态,过载时电气设备很容易被烧坏或造成严重事故。

4. 焦耳定律

电流通过导体时产生的热量(焦耳热)为

$$Q = I^2 R t$$

式中 I ——通过导体的直流电流或交流电流的有效值, A;

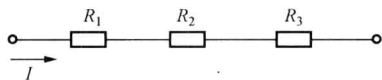
R ——导体的电阻值, Ω ;

t ——通过导体电流持续的时间, s;

Q ——焦耳热, J。

(六) 电阻的串、并联

1. 电阻串联电路的特点



电阻的串联如图 1-4 所示,设总电压为 U 、电流为 I 、总功率为 P 。

电路的等效电阻为

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

图 1-4 电阻的串联

分压关系为

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = \frac{U}{R} = I$$

功率分配为

$$\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \cdots = \frac{P_n}{R_n} = \frac{P}{R} = I^2$$

两只电阻 R_1 、 R_2 串联时,等效电阻 $R = R_1 + R_2$, 则有分压公式

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-9)$$

【例 1-1】 有一盏额定电压为 $U_1 = 40\text{V}$ 、额定电流为 $I = 5\text{A}$ 的电灯,应该怎样把它接入电压 $U = 220\text{V}$ 照明电路中。

解 将电灯(设电阻为 R_1)与一只分压电阻 R_2 串联后,接入 $U = 220\text{V}$ 电源



上, 如图 1-5 所示。

解法一: 分压电阻 R_2 上的电压为

$$U_2 = U - U_1 = 220 - 40 = 180(\text{V}), \text{ 而且 } U_2 = R_2 I,$$

则

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{180}{5} = 36(\Omega)$$

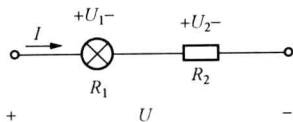


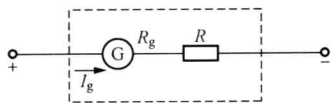
图 1-5 [例 1-1] 的电路

解法二: 利用两只电阻串联的分压公式 $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$ 且 $R_1 = \frac{U_1}{I} = 8\Omega$, 可得

$$R_2 = R_1 \frac{U - U_1}{U_1} = 36(\Omega)$$

即将电灯与一只 36Ω 分压电阻串联后, 接在 $U = 220\text{V}$ 电源上即可。

【例 1-2】 有一只电流表, 内阻 $R_g = 1\text{k}\Omega$, 满偏电流为 $I_g = 100\mu\text{A}$, 要把它改成量程为 $U_n = 3\text{V}$ 的电压表, 应该串联一只多大的分压电阻 R ?



解 如图 1-6 所示, 该电流表的电压量程为

图 1-6 [例 1-2] 的电路图

$U_g = R_g I_g = 0.1\text{V}$, 与分压电阻 R 串联后的总电压

$U_n = 3\text{V}$, 即将电压量程扩大到 $n = U_n/U_g = 30$ 倍。

利用两只电阻串联的分压公式, 可得 $U_g = \frac{R_g}{R_g + R} U_n$, 则

$$R = \frac{U_n - U_g}{U_g} R_g = \left(\frac{U_n}{U_g} - 1 \right) R_g = (n - 1) R_g = 29(\text{k}\Omega)$$

[例 1-2] 表明, 将一只量程为 U_g 、内阻为 R_g 的表头扩大到量程为 U_n , 所需要的分压电阻为 $R = (n - 1) R_g$, 其中 $n = (U_n/U_g)$ 称为电压扩大倍数。

2. 电阻并联电路的特点

电阻的并联如图 1-7 所示, 设总电流为 I 、电压为 U 、总功率为 P , 电路的等效电导为

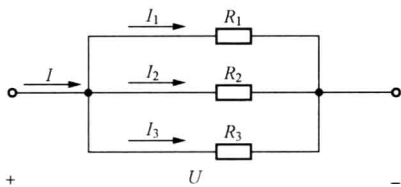


图 1-7 电阻的并联

$$G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n, \text{ 即 } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-10)$$

分流关系为 $R_1 I_1 = R_2 I_2 = \cdots = R_n I_n = R I = U$

功率分配为 $R_1 P_1 = R_2 P_2 = \cdots = R_n P_n = R P = U^2$

两只电阻 R_1 、 R_2 并联时，等效电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-11)$$

则有分流公式为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-12)$$

【例 1-3】如图 1-8 所示，电源供电电压 $U = 220\text{V}$ ，每根输电导线的电阻均为 $R_1 = 1\Omega$ ，电路中一共并联 100 盏额定电压 220V 、功率 40W 的电灯。假设电灯在工作（发光）时电阻值为常数。试求：①当只有 10 盏电灯工作时，每盏电灯的电压 U_L 和功率 P_L ；②当 100 盏电灯全部工作时，每盏电灯的电压 U_L 和功率 P_L 。

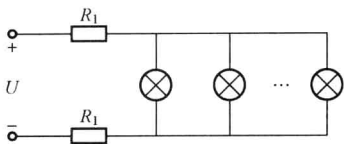


图 1-8 [例 1-3] 的电路图

解 每盏电灯的电阻为 $R = U^2/P = 1210\Omega$ ， n

盏电灯并联后的等效电阻为 $R_n = R/n$ 。

根据分压公式，可得每盏电灯的电压为

$$U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U$$

功率为

$$P_L = \frac{U_L^2}{R}$$

当只有 10 盏电灯工作时，即 $n = 10$ ，则 $R_n = R/n = 121\Omega$ ，因此

$$U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U \approx 216(\text{V}), \quad P_L = \frac{U_L^2}{R} \approx 39(\text{W})$$

当 100 盏电灯全部工作时，即 $n = 100$ ，则 $R_n = R/n = 12.1(\Omega)$ ，则

$$U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U \approx 189(\text{V}), \quad P_L = \frac{U_L^2}{R} \approx 29(\text{W})$$

3. 电阻的混联

在电阻电路中，既有电阻的串联关系又有电阻的并联关系，称为电阻混联。对混联电路的分析和计算大体上可分为以下几个步骤。

(1) 首先整理清楚电路中电阻串、并联关系，必要时重新画出串、并联关系明确的电路图。

(2) 利用串、并联等效电阻公式计算出电路中总的等效电阻。

(3) 利用已知条件进行计算，确定电路的总电压与总电流。



(4) 根据电阻分压关系和分流关系, 逐步推算出各支路的电流或电压。

【例 1-4】 如图 1-9 所示, 已知 $R_1 = R_2 = 8\Omega$, $R_3 = R_4 = 6\Omega$, $R_5 = R_6 = 4\Omega$, $R_7 = R_8 = 24\Omega$, $R_9 = 16\Omega$, 电压 $U = 224\text{V}$ 。试求: ①电路总的等效电阻 R_{AB} 与总电流 I_Σ ; ②电阻 R_9 两端的电压 U_9 与通过它的电流 I_9 。

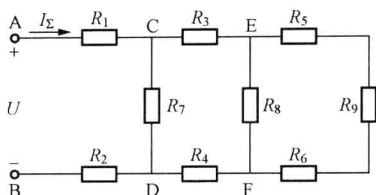


图 1-9 [例 1-4] 的电路图

解 (1) R_5 、 R_6 、 R_9 三者串联后, 再与 R_8 并联, E、F 两端等效电阻为

$$R_{EF} = (R_5 + R_6 + R_9) // R_8 = 24 // 24 = 12 (\Omega)$$

R_{EF} 、 R_3 、 R_4 三者电阻串联后, 再与 R_7 并联, C、D 两端等效电阻为

$$R_{CD} = (R_3 + R_{EF} + R_4) // R_7 = 24 // 24 = 12 (\Omega)$$

总的等效电阻为 $R_{AB} = R_1 + R_{CD} + R_2 = 28 (\Omega)$

总电流为 $I_\Sigma = U/R_{AB} = 224/28 = 8 (\text{A})$

(2) 利用分压关系求各部分电压, 则

$$U_{CD} = R_{CD} I_\Sigma = 96 (\text{V})$$

$$U_{EF} = \frac{R_{EF}}{R_3 + R_{EF} + R_4} U_{CD} = \frac{12}{24} \times 96 = 48 (\text{V})$$

$$I_9 = \frac{U_{EF}}{R_5 + R_6 + R_9} = 2 (\text{A}), \quad U_9 = R_9 I_9 = 32 (\text{V})$$

二、复杂电路计算

(一) 基尔霍夫定律

1. 常用电路名词

以图 1-10 所示电路为例说明常用电路名词。

(1) 支路。电路中具有两个端钮且通过同一电流的无分支电路。如图 1-10 电路中的 ED、AB、FC 均为支路, 该电路的支路数目为 $b = 3$ 。

(2) 节点。电路中三条或三条以上支路的连接点。如图 1-10 电路的节点为 A、B 两点, 该电路的节点数目为 $n = 2$ 。

(3) 回路。电路中任一闭合的路径。如图 1-10 电路中的 CDEFC、AFCBA、EABDE 路径均为回路, 该电路的回路数目为 $l = 3$ 。

(4) 网孔。不含有分支的闭合回路。如图 1-10 电路中的 AFCBA、EABDE 回路均为网孔, 该电路的网孔数目为 $m = 2$ 。

(5) 网络。在电路分析范围内网络是指包含较多元件的电路。