

DIAN GONG CHAN PIN XUE

电工产品学

黄顺杰 主编

中国物资出版社

电 工 产 品 学

黄 顺 杰 主 编

中 国 物 资 出 版 社

电 工 产 品 学

黄 顺 杰 主 编

中国物资出版社出版

北京市新华书店发行

北京华新印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 印张: 28 $\frac{1}{4}$ 字数: 663 千字

1987 年 5 月第 1 版 1987 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—10,000 册

书号: 4254·205 定价: 5.00 元

编写说明

《电工产品学》是适应高等院校物资管理专业教学的需要而编写的。也可以作为物资管理干部学习的参考书。

全书共分二十章，一至五章讲述电工产品基础理论（直流电路、交流电路、三相电路、磁路、电器基本理论）；六至二十章讲述绝缘材料、电线电缆、变压器、互感器、直流电机、三相异步电动机、同步电机、微电机、低压电器、高压电器、成套电器与组合电器、电工仪表、电焊机、电炉等电工产品的基本结构、工作原理、性能、分类、用途、选用方法及保管技术等。

参加本书编写的有：东北财经大学张文华（第一、二、三章，与李秉贤合编第十七、十八章）；华中工学院李洪茂（第五、十四、十五章）；山东经济学院陈岷源（第六、七章）；北京经济学院秦瑛（第四章）；张永源（第十、十二、二十章），张锡成（第十一章），周玉新（第十三、十九章）；北京物资学院黄顺杰（第八、九、十六章）。本书由黄顺杰主编，北京经济学院物管系机电教研室主审。

由于编者的水平所限，诚恳欢迎读者对本书不妥之处加以批评指正。

编者

一九八五年

北京物资学院

目 录

第一篇 电工产品基础理论

第一章 直流电路	(1)
第一节 电路的基本概念.....	(1)
第二节 电路的基本物理量.....	(4)
第三节 电路的基本定律.....	(8)
第二章 交流电路	(14)
第一节 正弦交流电的基本概念.....	(14)
第二节 正弦量三要素.....	(17)
第三节 纯电阻电路.....	(21)
第四节 纯电感电路.....	(24)
第五节 纯电容电路.....	(27)
第六节 电阻、电感和电容元件串联电路.....	(31)
第七节 电感性负载与电容并联的电路.....	(39)
第三章 三相电路	(46)
第一节 对称三相电动势的产生.....	(46)
第二节 三相电源的联接.....	(48)
第三节 三相负载的联接.....	(51)
第四节 三相电路的功率.....	(59)
第四章 磁路和铁芯线圈电路	(64)
第一节 磁路的概念.....	(64)
第二节 磁性材料及其磁性能.....	(68)
第三节 磁路的基本定律及磁路与电路的比较.....	(73)
第四节 直流磁路.....	(76)
第五节 交流铁芯线圈电路.....	(81)
第六节 具有直流励磁的交流铁芯线圈.....	(89)
第五章 电器基本理论	(96)
第一节 概述.....	(96)
第二节 电磁机构.....	(97)
第三节 电接触.....	(104)
第四节 电弧.....	(108)
第五节 电器中常用的灭弧装置.....	(113)

第二篇 电工材料

第六章 绝缘材料	(120)
第一节 绝缘材料的分类、用途和型号编制方法.....	(120)
第二节 绝缘材料的性能.....	(123)
第三节 常用绝缘材料.....	(135)
第四节 绝缘材料的保管.....	(147)
第七章 电线电缆	(152)
第一节 电线电缆的用途、分类和型号编制.....	(152)
第二节 电线电缆的基本结构.....	(154)
第三节 电磁线.....	(162)
第四节 电气装备用电线电缆.....	(169)
第五节 电力电缆.....	(173)
第六节 电线电缆的保管.....	(184)

第三篇 变 压 器

第八章 电力变压器	(187)
第一节 电力变压器的用途、分类和型号编制.....	(187)
第二节 变压器的工作原理.....	(189)
第三节 电力变压器的结构.....	(196)
第四节 电力变压器的铭牌.....	(199)
第五节 电力变压器的选用和保管.....	(202)
第九章 其他用途的变压器	(205)
第一节 调压变压器.....	(205)
第二节 特种变压器.....	(207)
第三节 互感器.....	(209)

第四篇 电 机

第十章 直流电机	(219)
第一节 直流电机的基本工作原理.....	(219)
第二节 直流电机的基本结构.....	(222)
第三节 直流电机的分类和运行特点.....	(224)
第四节 直流电动机的起动和调速.....	(230)
第五节 直流电机的铭牌和主要系列产品介绍.....	(235)
第十一章 三相异步电动机	(240)
第一节 三相异步电动机的基本结构.....	(240)

第二节	三相异步电动机的工作原理	(243)
第三节	三相异步电动机的电磁转矩、机械特性和效率	(247)
第四节	三相异步电动机的使用	(258)
第五节	双鼠笼式和深槽式异步电动机	(266)
第六节	电磁调速异步电动机和防爆电动机	(268)
第七节	三相异步电动机的铭牌和主要系列产品	(273)
第十二章	同步电机	(278)
第一节	同步电机的结构	(278)
第二节	同步电机的工作原理	(280)
第三节	同步电机的铭牌和主要系列产品介绍	(284)
第四节	电机的型号编制方法	(285)
第五节	电机的选用和保管	(289)
第十三章	微电机	(293)
第一节	概述	(293)
第二节	微型异步电动机	(295)
第三节	伺服电动机	(298)
第四节	测速发电机	(303)
第五节	自整角机	(306)
第六节	步进电动机	(312)
第七节	微电机的保管	(316)

第五篇 电 器

第十四章	低压电器	(319)
第一节	概述	(319)
第二节	低压熔断器	(322)
第三节	非自动切换电器	(327)
第四节	控制继电器	(330)
第五节	接触器	(334)
第六节	自动开关	(337)
第七节	低压电器的保管	(341)
第十五章	高压电器	(343)
第一节	概述	(343)
第二节	断路器	(347)
第三节	隔离开关	(353)
第四节	负荷开关	(355)
第五节	高压熔断器	(357)
第六节	避雷器	(358)
第七节	高压电器的保管	(361)

第十六章 成套电器与组合电器	(363)
第一节 成套配电装置.....	(363)
第二节 组合电器.....	(369)
第三节 成套配电装置的保管.....	(372)

第六篇 电工仪表

第十七章 电测指示仪表	(374)
第一节 电测指示仪表的用途和型号编制方法.....	(374)
第二节 磁电式和电磁式仪表.....	(384)
第三节 电动式仪表和感应式仪表.....	(389)
第四节 电测指示仪表的选用和保管.....	(394)
第十八章 交直流仪器	(399)
第一节 交直流仪器的分类和型号编制方法.....	(399)
第二节 标准量具.....	(400)
第三节 电位差计.....	(403)
第四节 电桥.....	(405)

第七篇 其它电工产品

第十九章 电焊机	(415)
第一节 概述.....	(415)
第二节 手工电弧焊机.....	(421)
第三节 埋弧焊机.....	(423)
第四节 电焊机的选用和保管.....	(427)
第二十章 电炉	(429)
第一节 电炉的用途和型号编制方法.....	(429)
第二节 电阻炉.....	(434)
第三节 感应炉.....	(440)
第四节 电弧炉.....	(442)
第五节 电阻炉的保管.....	(443)

第一篇 电工产品基础理论

第一章 直流电路

本章主要阐述电路中常用物理量的基本概念、符号和单位；要求掌握电路的概念及电路的基本定律等。

第一节 电路的基本概念

电路是由许多电工元件适当组合起来的、电流所流经的路径的总称。图 1—1 是最简单的电路，由干电池、导线和灯泡组成。

电路一般由电源、负载及中间环节（导线）三部分组成。

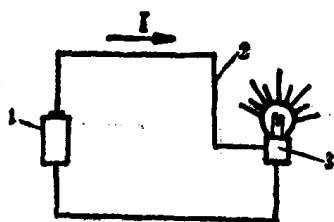


图 1—1 简单电路
1—电池 2—导线 3—灯泡

中间环节是传送、分配和控制电能的部分。主要作用是连接电源和负载，使之成为通路，完成传输、分配电能的目的。简单的中间环节是由几根导线和开关组成；复杂的中间环节是由若干种电器产品和电线电缆构成的。

虽然电源装置、中间环节和负载设备的种类繁多，类型又各不相同，但它们的本质却是相同的。因此，为了突出本质，常用一些电工符号将实际电路加以简化和概括。用电工符号画出的电路称为电路图，图 1—1 用电工符号可画成图 1—2 的电路图。

其中： E 为直流电池； R 为电灯泡；

R_0 为直流电池的内阻。常见的电工符号见表 1—1 所示。

电源是供给电能的装置。主要作用是将其其它形式的能量（机械能、热能、光能、原子能和化学能等）转换为电能。常见的电源有：电池、直流发电机、交流发电机等。

负载是取用电能的装置。主要作用是将电能转换为人们所需要的各种各样的其它能量（机械能、光能和热能等）。常见的负载有：电阻、电感线圈、电容器、电灯、电炉和电动机等。

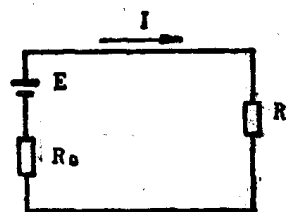
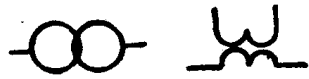
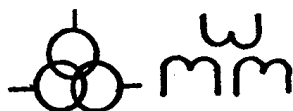
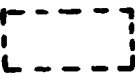


图 1—2 电路图

表1-1 常见电工符号

名 称	符 号	名 称	符 号
直流电	—	变阻器	
交流电	~	电位器	
交直流电	≡	电容器	
正极	—	可变电容器	
负极		电感线图	
接地	+	带抽头电感线圈	
绝缘击穿		有铁芯电感线圈	
导线	—	双线圈变压器	
电缆	—	三绕组变压器	
相交线		变压器绕组	
不相交线		熔断器	
屏蔽		直流发电机	
电阻		交流电动机	

续表 1—1

名 称	符 号	名 称	符 号
原电池或蓄电池		延时开启	
电抗器		延时闭合与开启	
星形联接三相绕组		灭弧触点	
角形联接三相绕组		启动按钮	
开关常开触头(点)		停止按钮	
开关常闭触头(点)		单极开关	
开关切换触头(点)		三极开关	
继电器常开触点		自动开关	
继电器常闭触点		单极隔离开关	
继电器切换触点		三相隔离开关	
接触器常开触点		高压短路开关	
接触器常闭触点		高压负荷开关	
延时闭合		高压断路器	

续表 1—1

名 称	符 号	名 称	符 号
火花间隙		阀型及磁吹避雷器	
避雷器		真空避雷器	
管型避雷器		继电器、接触器及 磁力起动器线圈	

第二节 电路的基本物理量

电路中主要的物理量有：电流、电压、电动势、电阻、电功率和电能等。

一、电流

金属导体中的自由电子和电解质中的正、负离子，在电场力的作用下，会作定向运动。电荷（自由电子、正离子、负离子）有规则的定向移动就形成了电流。

电流的大小是用电流强度来衡量的。它表示在电场的作用下，单位时间内通过导体截面的电量。

设在极短的时间 dt 内通过导体截面 S 的微小电量为 dq （如图 1—3 所示），则电流强度为：

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

上式表示电流强度是随时间而变化的，即是时间 t 的函数。

如果电流强度不随时间变化，即：

$$\frac{dq}{dt} = \text{常数}, \text{ 则该电流称为直流。直流}$$

的电流强度用字母 I 表示，则

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中 Q ——表示 t 时间内通过导体截面的电量。

电流不仅是表征电荷流动的物理现象，同时也是电流强度的简称。

电流的单位是安培（简称安，）用符号 A 表示。1 安培即是 1 秒钟内通过导体某一截面的电量是 1 库仑，即

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

电流的单位除安培外，根据实际电路的需要还有千安（ kA ）、毫安（ mA ）、微安



图 1—3 导体中的电流

(μA) 等单位。它们之间的换算关系为:

$$1\text{kA}=10^3\text{A}=10^6\text{mA}=10^9\mu\text{A}$$

电流除有大小外, 还有方向。习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。电路一定, 电路中电流的实际方向就一定, 但在分析与计算复杂电路时, 很难确定电流的实际方向。所以, 为了便于电路计算, 常可事先任意选定某方向作为电流的正方向(称该正方向为选定或假定正方向)。当电流的选定正方向与电流的实际方向一致时, 则电流值为正值(图 1—4(a)); 反之, 当电流的选定正方向与它的实际方向相反时, 则电流值为负值(图 1—4(b))。因此, 在电流的正方向选定之后, 电流值可正也可负。电流的正方向一般用箭头表示, 有时也可用下标表示。如 I_{ab} 表示电流的选定正方向是从 a 流向 b 。

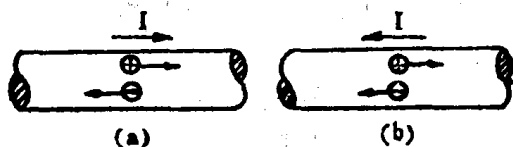


图 1—4 电流的正方向
(a) 正值 (b) 负值

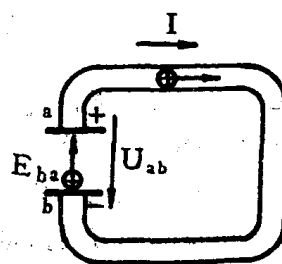


图 1—5 电压

二、电压和电动势

如图 1—5, a 和 b 是电池的两个电极, a 是正极带有正电荷, b 是负极带有负电荷。这些电荷在空间产生了电场。在该电场作用下, 正电荷就要从正极 a 经导体流向负极 b 。这就是电场对电荷做功。为了衡量电场力做功的能力, 引入电压这个物理量。电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功, 称为这两点间的电压 U_{ab} 可用公式表示为:

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{\int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l}}{q} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1-3)$$

式中 W ——电场力所做的功;

F ——电场力;

E ——电场强度。

在电场中两点间的电压也称为两点间的电位差, 即 $U_{ab} = U_a - U_b$, 式中 a 点电位 U_a 高于 b 点的电位 U_b 。

正电荷在电场力 F 的作用下, 不断从高电位 a 点移向低电位 b 点。这样, 电极 a 因正电荷的不断减少而使电位不断降低, 电极 b 因正电荷的不断增多而使电位不断升高, 其结果是 a 和 b 两电极的电位差逐渐减小到等于零。与此同时, 联接导体中的电流也相应地减小到零。

要保证电流不断地在导体中流通, 并为定值, 则必须使 a 、 b 间的电压 U_{ab} 保持一定, 这就必须有另外一种力, 它能克服电场力而使电极 b 上的正电荷逆着电场方向流向

电极 a 。这个力就是电源力，如电池中，在电极和电解液的接触处就有电源力 F_0 。

电动势就是电源力把单位正电荷从电源的低电位端 b 经电源内部移到高电位端 a 所做的功。用 E_{ba} 表示，其公式为：

$$E_{ba} = \frac{W_{ba}}{q} = \frac{\int_b^a \vec{F}_0 \cdot d\vec{l}}{q} \quad (1-4)$$

电源的电动势是衡量电源力做功的一个物理量。在电源力的作用下，电源可不断地把其它形式的能量转换为电能。

在国际单位制中，电压和电动势的单位都是伏特，简称伏，用符号V表示。1伏特的电压（电动势）表示电场力（电源力）把1库仑的电量从一点移到另一点所做的功，称为1焦耳。即是

$$1 \text{ 伏特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

根据电路的实际需要，电压的单位还有千伏（kV）、毫伏（mV）和微伏（ μV ）。其换算关系为： $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \mu \text{V}$ 。

电压、电动势和电流一样，也具有方向性。规定电压的正方向是从高电位端指向低电位端，即为电位降的方向。电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端即为电位升的方向。分别用箭头和下标表示。和电流一样，实际电路中，电压的方向可以任意选定其正方向，当所选电压正方向与规定电压正方向相同时，其值为正，反之，其值为负。

三、电阻

导体中的自由电子在定向移动时，将遇到一定的阻碍作用称为导体的电阻。

电阻是电路中又一个基本物理量，常见的电阻元件有灯泡中的钨丝、电炉中的电阻丝、炭膜电阻、金属膜电阻和绕线电阻等。

导体的电阻值用字母 R 表示。它的阻值大小主要与四个因素有关：

1. 导体的电阻与导体的长度（ l ）成正比。
2. 导体的电阻与导体的截面积（ s ）成反比。
3. 导体的电阻与导体的材料有关。
4. 导体的电阻与导体周围的温度有关。

对于一根材料均匀的长导体来说，在一定温度下（ 20°C ），它的电阻值用下式表示

$$R_{20} = \rho \frac{l}{s} \quad (1-5)$$

式中 ρ ——导体的电阻率，单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ ；

l ——导体的长度，单位为 m ；

s ——导体的截面积，单位为 m^2 ；

R_{20} ——导体的电阻，单位为 Ω 。

如果导体周围的环境温度发生变化，则导体的电阻也将发生变化，其变化规律为：

$$R_T = R_{20} [1 + \alpha(T - 20^\circ\text{C})] \quad (1-6)$$

式中 R_{20} ——环境温度为 20°C 时的电阻值；

T ——环境温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

α ——导体的温度系数，单位为 $1/^{\circ}\text{C}$ ；

R_T ——环境温度为 T 时的电阻值。

各种不同导体的电阻率(ρ)和温度系数(α)是不同。几种常见导体的电阻率和温度系数列在表1—2中。

四、电功率和电能

通常用电的目的就是要将电能转换为其它形式的能量，所以除了要掌握电压、电流和电阻的物理量外，还要掌握电功率和电能。

如图1—6中， a 、 b 两点间的电压为 U ，通过的电流为 I ，则根据电压的定义，当

表1—2 常见导体的电阻率和温度系数

导体名称	电阻率 (20°C) ($\Omega\cdot\text{m}$)	温度系数 ($0-100^{\circ}\text{C}$)($1/^{\circ}\text{C}$)	导体名称	电阻率 (20°C) ($\Omega\cdot\text{m}$)	温度系数 ($0-100^{\circ}\text{C}$)($1/^{\circ}\text{C}$)
银	0.0165×10^{-8}	0.0038	锰 铜	$0.20\times 10^{-8}\sim 0.48\times 10^{-8}$	0.000005
铜	0.0172×10^{-8}	0.00426	康 铜	$0.40\times 10^{-8}\sim 0.51\times 10^{-8}$	0.000005
铝	0.0283×10^{-8}	0.00439	镍 铬 铁	$1.0\times 10^{-8}\sim 1.2\times 10^{-8}$	0.00013
钨	0.0551×10^{-8}	0.0045	铝 铬 铁	1.2×10^{-8}	0.00008
铁	0.1×10^{-8}	0.005	石 墨	$8\times 10^{-8}\sim 13\times 10^{-8}$	-0.0005

电量 q 在电场力的作用下从 a 点移动到 b 点，电场力在电路 ab 点间所做的功为

$$W_1 = Uq = UI t \quad (1-7)$$

即为 ab 点间电路在 t 时间内所取用的电能，也是电阻 R 在时间 t 内所吸收的电能。

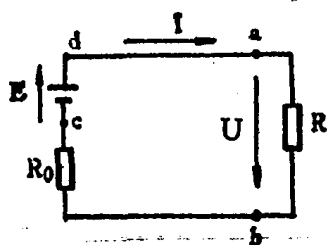


图1—6 直流电路

在图1—6中， c 、 d 两点间的电源电动势为 E ，通过的电流为 I ，则根据电动势的定义，当电量 q 在电源力的作用下从 c 点由电源内部移动到 d 点，电源力在 cd 两点间所做的功为

$$W_2 = Eq \quad (1-8)$$

即为电源在 t 时间内所产生的电能（放出的电能）。

综上所述，电能就是电场力（电源力）在一段 t 时间内所做的功。

电功率是表示单位时间内电场力（或电源力）所做的功。电功率又是电能的转换率。电功率用符号 P 表示，则

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-9)$$

对负载来说所消耗的电功率为：

$$P_1 = \frac{W}{t} = UI \quad (1-10)$$

对电源来说所发出的电功率为：

$$P_2 = \frac{W}{t} = EI \quad (1-11)$$

电功率的单位有瓦特(W), 千瓦(kW)和毫瓦(mW)。其中 $1\text{ kW} = 10^3\text{ W} = 10^6\text{ mW}$ 。

电能的单位是焦耳(J)。焦耳单位太小, 在电工工程上常用千瓦时(度)做为电能的单位。

其中: 一度电 $(\text{kWh}) = 1\text{ kW} \times 1\text{ h} = 1000\text{ W} \times 3600\text{ s} = 3.6 \times 10^6\text{ J}$

第三节 电路的基本定律

一、欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一, 用来确定电路各部分电压与电流的关系。

欧姆定律根据电路特点有两种形式, 一是一段电阻电路的欧姆定律(无源电路欧姆定律); 二是全电路的欧姆定律(有源电路欧姆定律)。下面分别加以研究。

(一) 一段电阻电路的欧姆定律

图 1—7 是一段电阻电路。实验证明, 流过电阻电路的电流 I , 是与电路两端所加的电压 U 成正比关系, 与电路本身的电阻 R 成反比关系, 即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-12)$$

式 (1—12) 还可以改写为:

$$U = IR \quad (1-13)$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-14)$$

(二) 全电路的欧姆定律

图 1—8 是最简单的全电路。其中 R 为负载电阻, R_0 为电源的内阻, E 为电源的电动势。

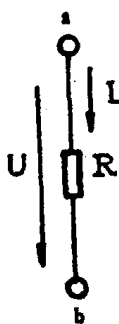


图 1—7 一段电阻电路

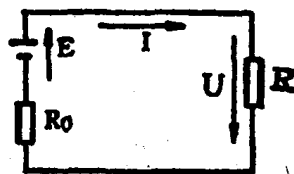


图 1—8 全电路

确定含有电源的电路中的电流、电压及电动势间的关系的欧姆定律, 就称为全电路的欧姆定律。

电动势、电压及电流的正方向如图 1—8 中所示。根据它们的正方向可列出两个式子:

$$U = E - U_0$$

$$IR = U$$

由上式可得: $IR = E - U_0$

则

$$I = \frac{E - U_0}{R} \quad (1-15)$$

其中: $U_0 = IR_0$ 。(1-15)式又可改为:

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-16)$$

式(1-16)就是全电路的欧姆定律的表达式。它表示,对有源的全电路来说,电路中电流 I 大小与电源电动势 E 大小成正比关系,而与电路中全部电阻(包括负载电阻和电源的内阻)值成反比关系。

在一般情况下,电源的电动势和内阻是不变的,因此电流的大小主要决定负载 R 的大小,若负载 R 增大,则电流 I 将减小;反之,若负载电阻减小,则电流将增大。

如负载不是一个,而是若干个负载;电源不是一个,而是若干个电源时,全电路欧姆定律的表达式应改为:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} \quad (1-17)$$

式中 $\sum E$ ——表示所有电动势的代数和,其中电动势的正方向与电流正方向一致的为正值,与电流的正方向不一致的为负值;

$\sum R$ ——电路中所有电阻总和,它包括若干负载电阻之和加上若干电源内阻之和。

例 1-1 用直流发电机 E 给蓄电池充电,如图 1-9 所示。已知发电机的电动势 $E_1 = 210\text{V}$,其内阻 $R_1 = 2\Omega$, $U_{BC} = 90\text{V}$, 蓄电池电动势 $E_2 = 85\text{V}$, 充电电流 $I = 5\text{A}$ 。求: 1) 发电机两端的电压 $U_{AC} = ?$ 2) 蓄电池内阻 $R_2 = ?$ 3) 电阻 $R = ?$

解: 设电流和电动势的正方向如图所示。根据题给条件分析,各量的正方向均与其实际方向一致,所以各量均为正值。

1) 含源电路 AC 的端电压为

$$U_{AC} = E_1 - IR_1 = 210 - 5 \times 2 = 200\text{V}$$

2) 对含源电路 BC 列出电压方程式可确定蓄电池的内阻 R_2

$$\text{因为 } U_{BC} = E_2 + IR_2$$

$$\text{所以 } R_2 = \frac{U_{BC} - E_2}{I} = \frac{90 - 85}{5} = 1\Omega$$

3) 对整个闭合回路,运用全电路欧姆定律建立的关系式,可确定电阻。

因为

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R}$$

所以

$$R = \frac{E_1 - E_2}{I} - R_1 - R_2 = \frac{210 - 85}{5} - 2 - 1 = 22\Omega$$

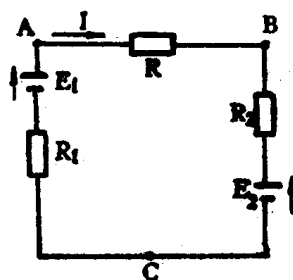


图 1-9 电路图

二、克希荷夫定律

电路的基本定律,除了欧姆定律外,还有克希荷夫电流定律和电压定律。克希荷夫电流定律应用在复杂电路的节点上,克希荷夫电压定律应用于复杂电路的回路中。

电路中三个或三个以上支路相联接的点称为节点。在图 1-10 中共有两个节点