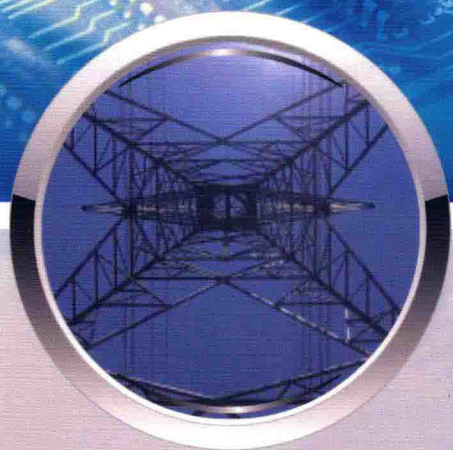


A manual for utility calculation

供用电实用计算手册

季发军 孙建中 编著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

供用电实用计算手册

季发军 孙建中 编著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

图书在版编目 (CIP) 数据

供用电实用计算手册/季发军, 孙建中编著. —北京: 知识产权出版社, 2018.9
ISBN 978-7-5130-5362-4

I. ①供… II. ①季… ②孙… III. ①供电管理—手册 ②用电管理—手册
IV. ①F407.61-62 ②TM92-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 310585 号

内容提要

编者根据自己多年从事供用电技术管理工作中所积累的经验, 整理编写了本书。本书介绍了常用的电力计算公式、工程计算实例和有关技术数据, 供日常携带和参考。本书适合供电企业、小水电从事电气设备运行管理、规划设计、运行维护等的工程技术人员使用, 也可用作大中专院校电力电气的专业课程教材, 当然亦可作为工矿企业电工和农村电工技术培训时的辅助教材。

责任编辑: 高志方

责任校对: 谷 洋

封面设计: 陈 曦 陈 珊

责任印制: 孙婷婷

供用电实用计算手册

季发军 孙建中 编著

出版发行: 知识产权出版社有限责任公司

社 址: 北京市海淀区气象路 50 号院

责编电话: 010-82000860 转 8512

发行电话: 010-82000860 转 8101/8102

印 刷: 北京虎彩文化传播有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

版 次: 2018 年 9 月第 1 版

字 数: 523 千字

ISBN 978-7-5130-5362-4

网 址: <http://www.ipph.cn>

邮 编: 100081

责编邮箱: gaozhifang@cnipr.com

发行传真: 010-82000893/82005070/82000270

经 销: 各大网上书店、新华书店及相关专业书店

印 张: 23.75

印 次: 2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 98.00 元

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

本书编委会

编 著：季发军 孙建中

编 委：王忠强 姚 楠 华大鹏 程凤鸣

王文豪 马新攀 孙怡斐 史宏伟

张露江 张 利 肖承仟 付 晓

潘 勇 肖 寒 景国明 李亚娟

朱海翔 吴蔚然 管世超 洪 浩

全 帅 龙 洁 张 媛 凌建琴

前 言

电力系统是国民经济的重要能源系统，随着科技、经济的发展，电力广泛应用在社会生活的各个领域，全社会也对供电企业的供用电技术服务水平提出了更新更高的要求。为了适应新形势下供电、用电中的规划、建设、管理、运行方面的需要，利于供电企业和工矿企业技术人员在工作中随时查阅数据、解决工作中所遇到的且必须进行的电气计算，编者根据自己多年从事供用电技术管理工作中所积累的经验，整理编写了本书。本书介绍了常用的计算公式、工程计算实例和有关技术数据，供日常携带和参考。

本书共分十二章，主要介绍了供用电企业负荷计算、绩效指标考核、架空线路、电力变压器、电动机、无功补偿、短路电流计算、继电保护整定、接地与防雷等方面的计算内容。配合所精选的计算实例，深入浅出，简明扼要，力求涵盖供、用电技术管理工作中时常遇到的必要计算。对于简单的计算，只列出计算公式；对有多种计算方法的计算工作，列出了目前常用的几种计算方法和计算实例；对于可以精算亦可在不同场合下速算或估算的项目，列出了精算和估算的方法，便于现场查阅和计算时参考。

本书适合供电企业、小水电从事电气设备运行管理、规划设计、运行维护等的工程技术人员使用，也可用作大中专院校电力电气的专业课程教材，当然亦可作为工矿企业电工和小水电站运行管理人员及农村电工技术培训时的辅助教材。

由于编者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，诚恳地希望广大读者批评和指正。

编者

2017年4月

目 录

第一章 供用电中常用电工基础公式及定义	1
第一节 常用电工基础的计算 / 1	
第二节 交流电路中常用物理量的定义与计算 / 12	
第三节 三相功率、电流和电压的关系诺模图 / 19	
第二章 县级电网技术管理的常用计算	21
第一节 负荷计算 / 21	
第二节 供用电管理中常用经济指标的计算公式 / 31	
第三节 农村供用电各类负荷计算 / 33	
第四节 农村电网负荷规划设计中几个重要指标的计算 / 36	
第五节 供电企业绩效考核指标的计算公式 / 39	
第三章 架空电力线路的常用计算	45
第一节 架空电力线路电气参数的计算 / 45	
第二节 输电线路充电功率的计算 / 53	
第三节 架空电力线路物理参数的计算 / 54	
第四节 常用电工线材的简易计算 / 72	
第五节 架空电力线路导线截面面积的选择计算 / 74	
第六节 铜、铝导线的等效换算 / 80	
第七节 简单实用的电工电气估算 / 85	
第四章 变压器运行管理的计算	89
第一节 变压器铭牌上一些主要技术数据的关系计算 / 89	

第二节	变压器变压比和匝数的计算 / 93	
第三节	变压器并联运行的计算 / 94	
第四节	变压比不同时变压器并联运行的计算分析 / 96	
第五节	短路阻抗不等时变压器并联运行的分析计算 / 98	
第六节	变压器经济运行的计算 / 98	
第七节	配电变压器中性线电流的计算 / 101	
第八节	电力变压器档位电压的计算 / 104	
第九节	电力变压器档位电压的调整计算 / 106	
第五章	电动机运行管理的相关计算	110
第一节	电动机铭牌中主要技术数据的关系计算 / 110	
第二节	电动机型号和容量的选择计算 / 112	
第三节	电动机不同运行状态下的分析计算 / 116	
第四节	有关电动机运行的简易估算口诀 / 121	
第六章	电网无功补偿设备的选择及计算	125
第一节	无功功率与线路损耗 / 125	
第二节	电网线路、设备进行无功补偿的益处 / 126	
第三节	补偿装置投资回收年限的计算 / 129	
第四节	功率因数的测算 / 130	
第五节	并联电力电容器补偿容量的计算 / 134	
第六节	单台异步电动机随机补偿容量的计算 / 141	
第七节	电容器组放电电阻的计算 / 143	
第七章	电能计量计费抄核收的计算	148
第一节	电能计量与互感器 / 148	
第二节	退补电量的计算 / 156	
第三节	变更用电及违章用电的处理计算 / 162	
第四节	电费回收率与力率考核的计算 / 164	
第五节	利用电能表计算多种数据 / 165	
第八章	农村电网短路电流计算	168
第一节	短路电流计算的步骤和方法 / 168	
第二节	用有名值和标么值算法计算三相短路电流 / 172	

第三节	短路电流的实用简化算法 / 191	
第四节	低压配电网短路电流的计算 / 196	
第九章	农村电网继电保护整定计算	211
第一节	整定计算中必须考虑的几个要素 / 211	
第二节	变压器常用的几种保护范围和整定计算原则 / 213	
第三节	10~35kV 电力线路常用继电保护的整定计算 / 237	
第四节	10kV 并联补偿电容器继电保护整定计算 / 250	
第五节	电动机继电保护的整定计算 / 257	
第六节	发电机继电保护的整定计算 / 261	
第七节	小水电站发电机飞车自动保护（水阻）装置的制作和计算 / 265	
第八节	中性点不接地系统接地电流保护的计算 / 266	
第九节	消弧线圈补偿容量的计算 / 271	
第十章	配电网线路、设备损耗的理论计算	272
第一节	线损计算中常用名词及计算公式 / 272	
第二节	架空线路的功率损耗与电能损耗的计算 / 273	
第三节	变压器的功率损耗与电能损耗的计算 / 278	
第四节	线路和变压器中电能损耗的计算 / 283	
第五节	架空线路和变压器的电压损耗的计算 / 284	
第六节	电力网的功率分布计算 / 288	
第十一章	输配电网电气设备的选择与计算	293
第一节	选择电气设备的共同条件 / 293	
第二节	主要电气设备的选择与计算 / 297	
第十二章	电网中接地方式及防雷保护的计算	332
第一节	电气设备接地保护的计算 / 332	
第二节	接零保护的要求和计算 / 338	
第三节	电气设备的防雷保护计算 / 339	
附录表	341

第一章 供用电中常用电工基础 公式及定义

第一节 常用电工基础的计算

1. 电路中常用计量单位及符号

电路就是导电的回路，其作用是传输和分配电能；通过电路可实现其他形式的能量相互转换，进而实现控制、信号处理。电路一般可分为四个主要部分，即电源、负载、连接导线与控制装置。电路中所呈现的主要物理量有电压、电流、电阻、电感、电磁、频率、电功率等。电路中常用的物理量计量单位及符号见表 1-1。

表 1-1 常用物理量计量单位及符号

物 理 量		计 量 单 位			
名 称	符 号	基 本 单 位		辅 助 单 位	
		名 称	符 号	名 称	符 号
电量、电荷	Q, q	库 [仑]	C		
电流	I, i	安 [培]	A	千安 毫安 微安	kA ($1\text{kA}=10^3\text{A}$) mA ($1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$) μA ($1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$)
电流密度	J, j	安/毫米 ²	A/mm ²		
电压、电位差 电位 (电势) 电动势	V, U, u E, e	伏 [特]	V	千伏 毫伏 微伏	kV ($1\text{kV}=10^3\text{V}$) mV ($1\text{mV}=10^{-3}\text{V}$) μV ($1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$)
电阻	R, r	欧 [姆]	Ω	千欧 兆欧	k Ω ($1\text{k}\Omega=10^3\Omega$) M Ω ($1\text{M}\Omega=10^6\Omega$)
电阻率	ρ	欧·米	$\Omega\cdot\text{m}$		
电阻温度系数	α				
电感、自感 互感	L M	亨 [利]	H	毫亨 微亨	mH ($1\text{mH}=10^{-3}\text{H}$) μH ($1\mu\text{H}=10^{-6}\text{H}$)
电容	C	法 [拉]	F	微法 皮法	μF ($1\mu\text{F}=10^{-6}\text{F}$) pF ($1\text{pF}=10^{-12}\text{F}$)

续表

物 理 量		计 量 单 位			
名 称	符 号	基 本 单 位		辅 助 单 位	
		名 称	符 号	名 称	符 号
感抗	X_L	欧 [姆]	Ω		
容抗	X_C	欧 [姆]	Ω		
阻抗	Z, z	欧 [姆]	Ω		
频率	f	赫 [兹] 周/秒	Hz (C/s)	千赫 兆赫	kHz (1kHz = 10^3 Hz) MHz (1MHz = 10^6 Hz)
周期	T	秒	s		
波长	λ	米	m	厘米 埃	cm (1cm = 10^{-2} m) \AA ($1\text{\AA} = 10^{-3}$ cm)
有功功率 (平均功率)	P	瓦 [特]	W	毫瓦 千瓦	mW (1mW = 10^{-3} W) kW (1kW = 10^3 W)
无功功率	QP_0	乏	var	千乏	kvar (1kvar = 10^3 var)
视在功率 (表观功率)	SP_s	伏安	V · A	千伏安	kV · A (1kV · A = 10^3 V · A)
功率因数	$\cos\varphi$				
磁感应强度 (磁通密度)	B	特 [斯拉]	T	高斯	Gs (1Gs = 10^{-4} T)
磁通 [量]	Φ	韦 [伯]	Wb	麦克斯韦	Mx (1Mx = 10^{-8} Wb)

2. 直流电路中常用物理量的定义与计算

(1) 电流的计算 单位时间内通过导体任一横截面的电量称为电流强度，简称电流，用 I 表示，基本单位是 A (安培，简称安)。

$$I = \frac{q(\text{电荷})}{t(\text{时间})} \quad \text{式1-1}$$

(2) 电压的计算 电场力把 1 库仑正电荷从一点移到另一点所做的功为 1 焦耳 (J) 时，该两点之间的电压 U 为 1 伏特，单位为伏特 (V)，简称伏，用 V 表示。通俗地讲，1 伏特就是 1 安培电流通过 1 欧姆电阻时，电阻两端的电压。

$$U = \frac{W(\text{焦耳})}{q(\text{库仑})} \quad \text{式1-2}$$

(3) 电阻的计算 电流在导体中流动时都要受到一定的阻力，这种对于通电所表

现的阻力称为电阻，用 R 表示，单位为欧姆 (Ω)，简称欧。

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \text{式1-3}$$

式中： ρ —导体的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)；

l —导体的长度 (m)；

S —导体的横截面积 (mm^2)。

(4) 导电系数的计算 衡量导体传导电流性能好坏的物理量称为电导。它是电阻的倒数，用 G 表示， $G = \frac{1}{R}$ ，单位为 S。电阻率 ρ 的倒数称为电导率，是衡量物质导电性能的参数，用 γ 表示，单位为 S/m。

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad \text{式1-4}$$

电导率与电阻的关系是

$$\gamma = \frac{l}{RS} \quad \text{式1-5}$$

$$R = \frac{l}{\gamma S} \quad \text{式1-6}$$

(5) 导体与温度的关系 导体的电阻率随温度的变化而改变，所以导体的电阻也随温度的改变而改变（一般，金属的电阻都随温度的上升而增大，但碳的电阻则随温度的上升而下降）。在一般温度工作范围内，电阻与温度之间的关系用下式表示：

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad \text{式1-7}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} \quad \text{式1-8}$$

式中： t_1 、 t_2 —导体的温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

R_1 —温度为 t_1 时导体的电阻 (Ω)；

R_2 —温度为 t_2 时导体的电阻 (Ω)；

α —以温度 t_1 为基准时的导体电阻的温度系数。

(6) 一段电路的欧姆定律 欧姆定律是电工理论的最基本的定律。它表明了闭合电路中电流、电压、电阻三者之间的关系。线路图见图 1-1。实践证明，一段电路上电流的大小与电压的大小成正比，与电阻的大小成反比。也就是说，电路中的电压越高电流就越大，电路中的电阻越大电流就越小。用公式和符号表示如下：

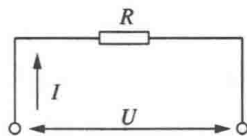


图 1-1 部分电路的欧姆定律线路图

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{式1-9}$$

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{式1-10}$$

$$U = IR \quad \text{式1-11}$$

式中： U —电路两端的电压 (V)；

I —电路中的电流 (A);

R —电路中的电阻 (Ω)。

(7) 全电路欧姆定律 线路图见图 1-2。在闭合电路中电流的大小与电动势成正比, 与全部电阻值成反比。

$$I = \frac{E}{r + R} \quad \text{式1-12}$$

式中: E —电源的电动势 (V);

I —电路中的电流 (A);

r —电源的内阻 (Ω);

R —电路中的电阻 (Ω)。

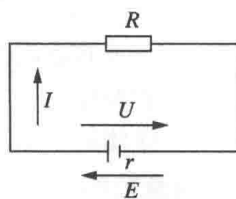


图 1-2 全电路的欧姆定律线路图

(8) 串联方式连接参数的计算 电路中, 若 R_1, R_2, \dots, R_n 等几个电阻首尾相连, 通过同一个电流, 这种连接方式叫串联, 见图 1-3。分析计算电路时, 常用一个等值电阻 (总电阻) R 来代替这几个电阻。替代的条件是: 替代前后电路中的电磁作用不变。这种替代变换叫等效变换。

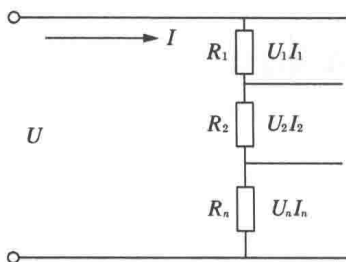


图 1-3 串联电路连接图

等效电阻也叫总电阻。用公式表示时, 等效电阻为:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad \text{式1-13}$$

即电路中串联电阻的等效电阻等于各电阻之和。

电路中的电压: 总电压等于各段电压之和。

$$U_{\Sigma} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad \text{式1-14}$$

电路中的电流: 各支路电流均等于总电流。

$$I_{\Sigma} = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad \text{式1-15}$$

(9) 并联方式连接参数的计算 在电路中, 若 R_1, R_2, \dots, R_n 等几个电阻的首端连接在一起, 尾端也连接在一起, 承受同一个电压, 这种连接方式叫并联, 见图 1-4。电路中的等值电阻: 总电阻的倒数等于各电阻倒数之和。

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \text{式1-16}$$

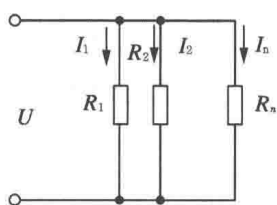


图 1-4 并联电路连接图

【例1-1】把一只电炉接到 220V 电源上, 电流为 5.5A, 求电炉的电阻值。

解: 由部分电路欧姆定律得出:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{5.5} \Omega = 40 \Omega$$

【例1-2】在 220V 电源上串联两个额定电压为 110V 的灯泡, 一个灯泡的额定功率是 100W, 另一个灯泡的额定功率是 40W, 当开关合闸时会发生什么现象?

解: 根据欧姆定律可知,

$$40\text{W 灯泡的电阻: } R_{40} = \frac{U^2}{P_{40}} = \frac{110^2}{40} \Omega = 302.5 \Omega$$

$$100\text{W 灯泡的电阻: } R_{100} = \frac{U^2}{P_{100}} = \frac{110^2}{100} \Omega = 121 \Omega$$

$$40\text{W 灯泡承受的电压: } U_{40} = \frac{220}{302.5 + 121} \times 302.5 \text{V} = 157\text{V} > 110\text{V}$$

$$100\text{W 灯泡承受的电压: } U_{100} = \frac{220}{302.5 + 121} \times 121 \text{V} = 62.9\text{V} < 110\text{V}$$

由计算结果可知, 当合闸送电后, 100W 的灯泡由于电压低于额定电压而亮度不足, 一定时间后 40W 的灯泡由于过电压而烧毁。

(10) 并联回路总电阻的另一种算法 基本规律是: 并联电路总电阻与所有并联电阻的值的积成正比, 与这个积分别和各电阻值的商的和成反比。若用 R_{Σ} 表示总电阻, R_1, R_2, \dots, R_n 分别表示并联电路的各分电阻, 则运算公式可用下式表示:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_1 R_2 \cdots R_n}{\frac{R_1 R_2 \cdots R_n}{R_1} + \frac{R_1 R_2 \cdots R_n}{R_2} + \cdots + \frac{R_1 R_2 \cdots R_n}{R_n}} \quad \text{式1-17}$$

【例1-3】一闭合电路中, 有 $R_1=5\Omega, R_2=17\Omega, R_3=121\Omega$ 的三个电阻并联, 求总电阻值。

解:

a. 写出具体表达式, 将各电阻值代入:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= \frac{R_1 R_2 R_3}{\frac{R_1 R_2 R_3}{R_1} + \frac{R_1 R_2 R_3}{R_2} + \frac{R_1 R_2 R_3}{R_3}} \\ &= \frac{5 \times 17 \times 121}{\frac{5 \times 17 \times 121}{5} + \frac{5 \times 17 \times 121}{17} + \frac{5 \times 17 \times 121}{121}} \Omega \end{aligned}$$

b. 算出除式和被除分子, 约去除式各分母:

$$R_{\Sigma} = \frac{10285}{\frac{10285}{5} + \frac{10285}{17} + \frac{10285}{121}} \Omega = \frac{10285}{2057+605+85} \Omega$$

c. 加除运算, 求总电阻:

$$R_{\Sigma} = \frac{10285}{2747} \Omega \approx 3.7 \Omega$$

从上分步解题可知, 应用计算时的具体步骤为: “写出公式, 代入数据, 算出分子, 约去分母, 加除运算, 求得总阻”。

(11) 混联方式连接参数的计算 电路中既有元件的串联又有元件的并联, 则称为混联电路, 也叫复联电路。

对于混联电路的计算, 要根据电路的具体情况应用有关串联和并联的特点来进行。一般步骤为:

- 求出各元件串联和并联的等效电阻值，再计算电路的总电阻值；
- 由电路总电阻值和电路的端电压，根据欧姆定律计算出电路的总电流；
- 根据元件串联分压关系和元件并联的分流关系，逐步推算出各部分的电压和电流。

【例1-4】有三只电阻串联在电路中，如图1-5所示，已知 $U = 300\text{V}$ ， $R_1 = 150\text{k}\Omega$ ， $R_2 = 100\text{k}\Omega$ ， $R_3 = 50\text{k}\Omega$ ，求 U_1 、 U_2 、 U_3 。

解：电阻串联时，电路中的电压计算为：

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

先求 U_1

$$U_1 = U - U_2 - U_3 = U - IR_2 - IR_3$$

而
$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$$

代入 U_1 得
$$U_1 = U - U \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$= U \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = 300 \times \frac{150}{150 + 100 + 50} \text{V} = 150\text{V}$$

同理
$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 300 \times \frac{100}{150 + 100 + 50} \text{V} = 100\text{V}$$

$$U_3 = U \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 300 \times \frac{50}{150 + 100 + 50} \text{V} = 50\text{V}$$

【例1-5】已知 $R_1 = R_4 = 4\Omega$ ， $R_2 = 6\Omega$ ， $R_3 = 3.6\Omega$ ， $R_5 = 0.6\Omega$ ， $R_6 = 1\Omega$ ， $E = 4\text{V}$ ，如图1-6所示，求各支路电流及各段电压。

解：已知各电阻及电源电动势值，求各支路电流，一般可分为以下三个步骤：

a. 求 R_{Σ}

R_1 、 R_2 相并联的等效电阻为

$$R_{1,2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \times 6}{4 + 6} \Omega = 2.4\Omega$$

R_1 、 R_2 并联后与 R_3 相串联，其等效电阻为

$$R_{1,2,3} = 3.6\Omega + 2.4\Omega = 6\Omega$$

又 $R_{1,2,3}$ 与 R_4 相并联，其等效电阻为

$$R_{cb} = \frac{R_{1,2,3} R_4}{R_{1,2,3} + R_4} = \frac{6 \times 4}{6 + 4} \Omega = 2.4\Omega$$

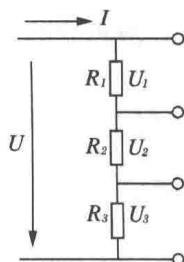


图 1-5 例题 1-4 的电路

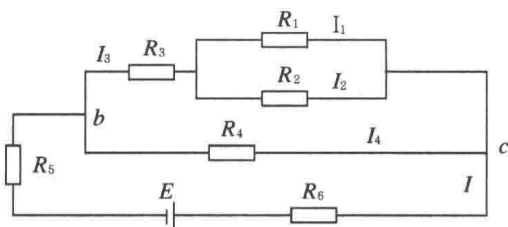


图 1-6 例题 1-5 的电路

故 $R_{\Sigma} = R_5 + R_6 + R_{cb} = 0.6\Omega + 1\Omega + 2.4\Omega = 4\Omega$

b. 求总电流 I_{Σ}

总电流 I_{Σ} 也就是通过 R_5 及 R_6 的电流, 即

$$I_{\Sigma} = \frac{E}{R_{\Sigma}} = \frac{4}{4} \text{A} = 1 \text{A}$$

c. 求各支路的电流及电压

先求出 c 、 b 两点电压 U_{cb} :

$$U_{cb} = I_{\Sigma} R_{cb} = 1 \times 2.4 \text{V} = 2.4 \text{V}$$

$$I_4 = \frac{U_{cb}}{R_4} = \frac{2.4}{4} \text{A} = 0.6 \text{A}$$

$$I_3 = \frac{U_{cb}}{R_{1,2,3}} = \frac{2.4}{6} \text{A} = 0.4 \text{A}$$

又

$$U_{R_1} = U_{R_2} = 0.4 \times 2.4 \text{V} = 0.96 \text{V}$$

故

$$I_1 = \frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{0.96}{4} \text{A} = 0.24 \text{A}$$

$$I_2 = \frac{U_{R_2}}{R_2} = \frac{0.96}{6} \text{A} = 0.16 \text{A}$$

【例1-6】 试计算图 1-7 中的总电势 E_{Σ} 、总电流 I_{Σ} 和各部分的电流及电压。已知每个电池的电动势 $E = 2.4 \text{V}$, 内阻 $r = 0.4\Omega$ 。

解: 总电动势 E_{Σ} 为

$$E_{\Sigma} = 5E = 5 \times 2.4 \text{V} = 12 \text{V}$$

总内阻 r_{Σ} 为

$$r_{\Sigma} = \frac{5r}{5} = \frac{5 \times 0.4}{2} \Omega = 0.1 \Omega$$

总电阻 R_{Σ} 为

$$R_{\Sigma} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{6 \times 3}{6 + 3} \Omega + \frac{4 \times 12}{4 + 12} \Omega = 2 \Omega + 3 \Omega = 5 \Omega$$

$$\text{所以 } I_{\Sigma} = \frac{E_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + r_{\Sigma}} = \frac{12}{5 + 1} \text{A} = 2 \text{A}$$

各部的电压为

$$U_{BC} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I = \frac{6 \times 3}{6 + 3} \times 2 \text{V} = 4 \text{V}$$

$$U_{CD} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} I = \frac{4 \times 12}{4 + 12} \times 2 \text{V} = 6 \text{V}$$

$$U_{AB} = U_{BC} + U_{CD} = 4 \text{V} + 6 \text{V} = 10 \text{V}$$

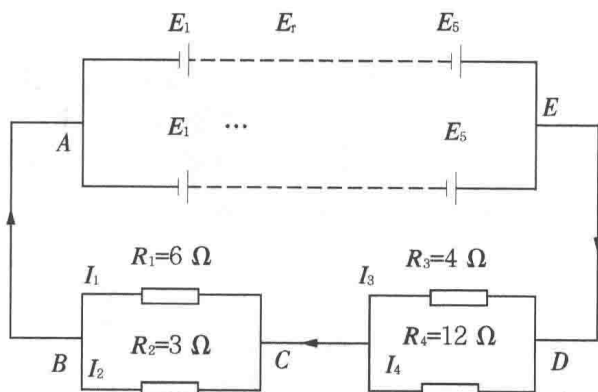


图 1-7 例题 1-6 的电路

电源内部电压 $U' = E_2 - U_{AB} = 12V - 10V = 2V$

各部分电流为

$$I_1 = \frac{U_{BC}}{R_1} = \frac{4}{6} \text{ A} = 0.67 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U_{BC}}{R_2} = \frac{4}{3} \text{ A} = 1.33 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_{CD}}{R_3} = \frac{6}{4} \text{ A} = 1.5 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{U_{CD}}{R_4} = \frac{6}{12} \text{ A} = 0.5 \text{ A}$$

(12) 基尔霍夫定律及其计算

1) 基尔霍夫第一定律 (节点电流定律)。在复杂电路中, 对于任何一个节点而言, 所有流进节点的电流之和等于流出该节点的电流之和, 如图 1-8 所示。即

$$\sum \dot{I}_r = \sum I_{ch} \quad \text{式1-18}$$

定律的另一种形式: 对于任何节点, 流出 (或流入) 该节点的电流代数之和等于零。即

$$\sum I = 0 \quad \text{式1-19}$$

对节点 a 有如下关系:

$$\sum I = -I_1 + I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0 \quad \text{式1-20}$$

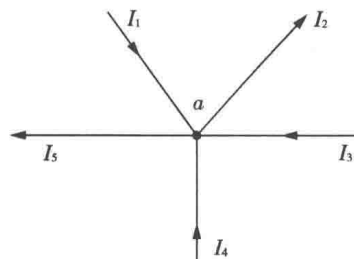


图 1-8 节点电流示意

2) 基尔霍夫第二定律 (回路电压定律)。在复杂电路任何一个闭合回路中, 电动势的代数和等于各电阻上电压降的代数和。也可表达为从一点出发绕回路一周到该点时, 各段电压的代数和恒等于零, 即

$$\begin{aligned} \sum E &= \sum IR \\ \sum U &= 0 \end{aligned} \quad \text{式1-21}$$

如图 1-9, 回路 abcde 的电路:

$$\sum U = U_{ac} + U_{ce} + U_{ea} = -I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 + E_1 - E_2 = 0 \quad \text{式1-22}$$

(13) 电功和电功率的计算

1) 电功。电功即电流所做的功, 也称电能或电能量, 用 W 表示。电动机转动、电炉发热、电灯发光都是电流做功的表现。电功可用下式计算:

$$W = qU = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad \text{式1-23}$$

式中: W —电功 (J);

q —通过导线横截面的电量 (C);

U —电阻两端的电压 (V);

I —通过电阻的电流 (A);

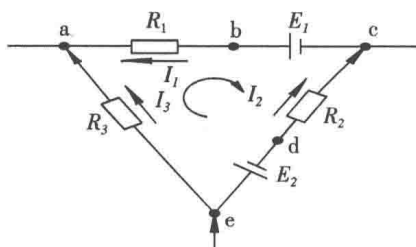


图 1-9 回路 abcde 的电路

t —时间 (s)。

2) 电功率。单位时间内电流所做的功叫电功率 (简称功率)。电功率用字母 P 表示, 单位为瓦特, 用符号 W 表示。能量和功率的单位见表 1-2。电功率的算式如下:

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R} \quad \text{式1-24}$$

式中: U —电阻两端的电压 (V);

R —电阻值 (Ω);

P —功率 (W)。

表1-2 能量和功率的单位

单位	缩写	定义或等价量
瓦特	W	J/s (0.74ft · lbf/s)
千瓦	kW	1000W (1.34hp)
兆瓦	MW	1000kW 或 10^6 W
毫瓦	mW	0.001W
千瓦时	kW · h	1kW 功率在 1h 内产生的能量 (3500Btu)
英制热单位	Btu	将 1lb 水的温度由 60°F 升至 61°F 所需的能量 (1055J)
焦耳	J	0.74ft · lbf; 1N · m
英尺磅力	ft · lbf	用 1lb 的力移动 1ft 所需的能量
马力	hp	550ft · lbf/s (745.7W)

在工程技术中电功率还常用 kW (千瓦)、mW (毫瓦)、 μ W (微瓦)、hp (马力) 等单位。

在实际生产中, 电功率常用的单位是 kW · h (千瓦时)。1kW · h 表示 1kW 的电气设备使用 1h 所消耗的电能。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 1\text{kW} \times 1\text{h}$$

【例1-7】某车间使用 25W 电烙铁 50 支, 40W 电烙铁 25 支, 每天用电 6h, 每月按 25 天计, 问用电多少千瓦时?

$$\text{解: } W_1 = P_1 t \quad W_2 = P_2 t$$

$$W = W_1 + W_2 = (P_1 + P_2) t = (25\text{W} \times 50 + 40\text{W} \times 25) \times 25 \times 6\text{h} / 1000 = 337.5\text{kW} \cdot \text{h}$$

(14) 焦耳定律(电流的热效应) 及其计算

电流通过导体时产生热量的现象, 称为电流的热效应。电流通过导体时产生的热量与电流的平方成正比, 与导体的电阻和通电时间成正比。利用电流的热效应, 可制作各种电热设备, 同时电流的热效应也决定了电气设备的额定值。数学表达式为

$$Q = I^2 R t = I U t = \frac{U^2}{R} t \quad \text{式1-25}$$

根据欧姆定律得

$$Q = I U t = P t \quad \text{式1-26}$$

式中: Q —热量 (J);

I —电流 (A);