

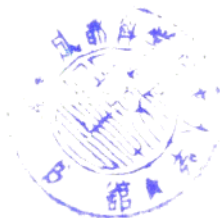
938113

T41
2882

高等学校教材

电工技术与电力工程

陕西机械学院 徐智德 合编
河海大学 尹延凯



高等学校教材

电工技术与电力工程

陕西机械学院 徐智德
河海大学 尹延凯 合编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书包括两大部分。第一部分共八章,包括直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、模拟电子电路、数字电子电路、变压器、异步电动机、同步电机等。这部分属于电工技术的基础知识,是作为现代工程技术人员必须了解的,同时也为学习第二部分内容奠定必要的理论基础。第二部分共五章,包括电力系统概论、发电厂和变电所的电气设备、电力网与远距离输电、电力系统潮流计算、电力系统的频率调整和电压调整等。

本书是高等学校水资源规划及利用专业的必修课教材,也可作为水电开发或能源规划及相近专业的工程技术人员的参考书。

高等学校教材

电工技术与电力工程

陕西机械学院 徐智德 合编
河 海 大 学 尹延凯

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 18.5印张 430千字

1992年5月第一版 1992年5月北京第一次印刷

印数 0001— 3300 册

ISBN 7-120-01441-2/TV·512

定价4.85元

前 言

本书是根据原水利电力部1990~1995年水利水电类高等学校教材出版规划编写的。

电力系统是一个整体。要将其它形式的能源转变成电能加以利用，其规划设计人员必须对电力系统有足够的认识。本书是按照水资源规划及利用专业的培养目标编写的，力求做到深入浅出、循序渐进、理论联系实际。

本书编写时适当注意了其它有关专业的教学要求。农田水利专业人员，也要从事小水电的开发与利用工作，他们与水资源规划及利用专业有相似的知识需求。因此，本书不仅可以满足水资源规划及利用专业的教学需要，也可供其它相近的专业选用。

本书由陕西机械学院徐智德同志与河海大学尹延凯同志共同主编。其中第一、九、十、十一章由徐智德同志编写，第二、三、十二、十三章由尹延凯同志编写，第四、五章由陕西机械学院赵志恩同志编写，第六、七、八章由武汉水利电力学院靳希同志编写。全书由徐智德同志统稿，由武汉水利电力学院黄守盟同志主审。

由于编者水平有限，书中难免有不妥与错误之处。恳请使用本书的同志批评指正或提出修改意见。来信请寄陕西机械学院水电学院徐智德同志，以便本书再版时匡正。

编 者

1990年元月

3A/100/11

目 录

前 言

第一章 直流电路	1
第一节 概述	1
第二节 直流电路的基本定律	5
第三节 电阻网络的等效变换	8
第四节 直流电路的基本分析方法	14
第五节 直流电路的基本原理	18
第六节 非线性电阻	22
思考题和习题	24
第二章 正弦交流电路	28
第一节 正弦交流电路的基本概念	28
第二节 正弦量的相量表示	31
第三节 电路元件特性及相量模型	35
第四节 含 R 、 L 、 C 的交流电路	40
第五节 电路的串并联	43
第六节 复杂交流电路的分析计算	45
第七节 正弦交流电路中的功率	50
* 第八节 电路中的谐振	54
思考题和习题	56
第三章 三相交流电路	59
第一节 三相电路的基本概念	59
第二节 对称三相电路的计算	61
* 第三节 不对称三相电路简介	66
第四节 三相电路的功率	67
思考题和习题	70
第四章 模拟电子电路	71
第一节 半导体器件	71
第二节 放大电路基础	77
第三节 集成放大电路	86
* 第四节 电源电路	93
第五节 可控硅电路	96
思考题和习题	100
第五章 数字电子电路	104

注：加“*”号为选修内容。

第一节 逻辑代数基础	104
第二节 逻辑门电路	110
第三节 组合逻辑电路	117
第四节 集成触发器	121
* 第五节 时序电路	126
思考题和习题	131
第六章 变压器	134
第一节 磁路	134
第二节 变压器的基本结构及额定值	137
第三节 变压器的空载运行	139
第四节 变压器的负载运行	142
第五节 三相变压器	145
思考题和习题	148
第七章 异步电动机	150
第一节 三相异步电动机的基本结构及铭牌数据	150
第二节 三相异步电动机的工作原理	152
第三节 三相异步电动机的电磁转矩	156
第四节 异步电动机的转矩特征	158
* 第五节 异步电动机的启动	161
思考题和习题	163
第八章 同步电机	164
第一节 同步电机的基本结构及铭牌数据	164
第二节 同步发电机的空载运行	166
第三节 同步发电机的负载运行	168
第四节 同步发电机的并联运行	173
第五节 同步发电机的励磁方式	177
* 第六节 同步电动机	179
思考题和习题	182
第九章 电力系统概论	183
第一节 电源	183
第二节 电力系统的组成	187
第三节 电力系统的电压等级	190
第四节 电力系统的负荷曲线	192
思考题和习题	194
第十章 发电厂和变电所的电气设备	195
第一节 电气主接线	195
第二节 发电厂和变电所的电气一次设备	202
第三节 发电厂和变电所的电气二次接线	213
* 第四节 电力系统的防雷与接地	216
思考题和习题	219

第十一章 电力网与远距离输电	221
第一节 电力系统的结构	221
第二节 电力线路的结构	222
第三节 电力线路的电气参数及等值电路	228
第四节 远距离输电概论	233
* 第五节 电力系统的中性点接地方式	237
思考题和习题	241
第十二章 电力系统潮流计算	242
第一节 电力系统元件的电压计算和功率平衡	242
第二节 标么制及其应用	245
第三节 开式电力网络的潮流计算	251
第四节 复杂电力系统的潮流计算	253
思考题和习题	266
第十三章 电力系统的频率调整和电压调整	267
第一节 电力系统的有功功率分配和频率调整	267
第二节 电力系统的无功功率平衡	274
第三节 电力系统的电压调整	277
思考题和习题	283
附录 电力系统潮流计算程序清单(示例)	285
主要参考文献	290

第一章 直 流 电 路

本章介绍直流电路的基本概念、基本定律、基本原理和基本分析方法。

电路理论已发展成完整而严密的理论体系。它的理论支柱是集中化假设、电荷守恒和能量守恒。本章按照集中化假设建立了电路模型，从电荷守恒推出基尔霍夫电流定律，而基尔霍夫电压定律是能量守恒公理的逻辑推论。书中从基本公理、假设及其推论出发，引出直流电路的基本规律及其分析方法。

从第二章开始，还要将本章介绍的直流电路理论推广到交流电路中去。以后还可看到，电力工程中的大部分问题，也都要归结为运用电路理论及其分析方法去解决。所以，本章的内容实际上是全书的基础。

第一节 概 述

为了实现某种目的，将电气设备或器件按一定方式连接起来，形成电流的通路，这种通路称为电路。

电路的形式是多种多样的。简单的电路如图1-1(a)所示，图中电池将化学能转变成电能，这种将其它形式（化学、机械、光、热等）的能量转变成电能的器件叫电源；灯泡将电能转变成光能和热能，这种将电能转变成其它形式能量的器件叫负载；开关用以控制电路的通断；导线将电气器件按一定方式连成通路。任何复杂的电路都可看成由电源、负载、控制电器等设备和连接导线构成的。

不同电路输送、转换和控制能量的规模大小和使用目的不尽相同，按其作用大致可分两种类型：

(1) 电能的输送和转换。这类电路包括发电、输配电、用电、整流和逆变等。这类电路输送和转换能量的规模较大，在输送和转换过程中要尽可能注意降低损耗、提高效率。

(2) 信号的传递和处理。这类电路设置的目的是准确地传递和处理信号。在研究这类电路的基本原理时，要着重分析它们传递和处理信号的功能。

传递和处理信号的例子是很多的，如收音机和电视机。它们用天线将载有语言、音乐、图象信息的电磁波接收后，转换成相应的电信号，然后对信号进行处理，再通过扬声器和显象管转换成原始的信号。

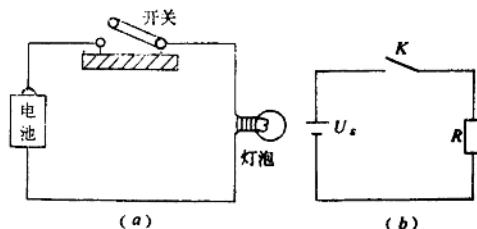


图 1-1 实际电路及其模型

构成电路的器件种类繁多、结构差别很大,表征其性能的方程可能很复杂。为了简化对器件的数学描述,可略去其次要的物理过程,使之理想化。理想化器件的数学模型叫电路的元件。用电路元件连接而成的理想化电路即是实际电路的模型,简称为电路。用统一规定的图形符号画成的电路模型称为电路图,如图1-1(b)所示。

在图1-1(b)所示的电路中,电流 I 和元件 R 两端电压 U_{ab} 的大小和方向都不随时间而变化,这样的电路称直流电路。在一般电力系统中,电压、电流的大小和方向都随时间而变化,这种电流大小和方向随时间变化的电路叫做交变电流的电路,简称交流电路。直流电路处于稳定状态时,与电路联系的磁场和电场都不随时间而变化,分析比较容易,研究它能够突出基本原理和分析方法,因而本书先讲直流电路。由于这些原理和方法对交流电路也是适用的,故本章又是后续章节的基础。

不论是定量描述电路元件的特性,还是分析和计算电路,都要用到电路中的许多物理量。本节先介绍电流和电压,在此基础上引出电功率和电能的概念。

1. 电流

电流是指电荷的定向运动,该定向运动的强弱用电流强度表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过某一导体截面的电量。设在极短时间 dt 内通过导体截面的微小电量为 dq ,则电流强度为

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

式中 $i(t)$ 表示电流强度是随时间而变化的。通常将随时间而变化的量用小写字母表示,将不随时间而变化的量用大写字母表示。故对直流电流强度用 I 表示,且

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

其中 q 是在时间 t 内通过导体截面 S 的电量。

在国际单位制中,电流强度的单位是安培,简称为安(A)。电量的单位为库仑(C),当每秒通过导体截面的电量为1C时,则电流为1A。

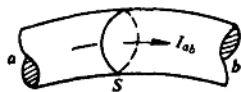


图 1-2 导体中的电流

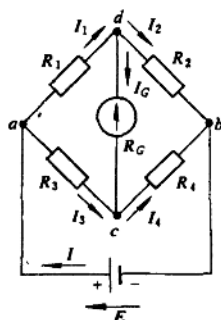


图 1-3 电桥电路

电流的方向是客观存在的。习惯上将正电荷运动的方向规定成电流的方向。在简单电路中,元件中电流的方向易于判断,但电路复杂时,常常很难直观地确定。如图1-3所示的电桥,检流计中的电流是从 c 流向 d ,还是从 d 流向 c ,要经过计算才能知道。为此,在分析和计算电路时,可先任选某一方向作为电流的正方向(又称参考方向)。正方向在图中用实线箭头表示。当实际方向与正方向一致时,电流值为正值,不一致时,电流值为负值。

电流的正方向还可由双下标表示。在图1-3中, I_{cd} 表示的正方向是从 c 指向 d , I_{dc} 表

示的正方向从 d 指向 c 。显然二者相差一个负号

$$I_{cd} = -I_{dc}$$

2. 电压

在图1-3中, 电场力将正电荷从 a 移到 b 是要做功的。电压 u_{ab} 是用来衡量电场力做功能力的物理量。设电场力将正电荷 dq 从 a 点移到 b 点所做的功为 dw , 则电压 u_{ab} 在数值上等于所做的功 dw 与电荷 dq 的比值

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

这就是说, 电场力将单位正电荷从 a 移到 b 时所做的功, 在数值上等于 a 、 b 两点间的电压。设电荷 dq 在 a 、 b 两点具有的电位能分别为 w_a 、 w_b , 则

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} = \frac{w_a - w_b}{dq} = \frac{w_a}{dq} - \frac{w_b}{dq} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-4)$$

式中 φ_a 、 φ_b 分别称为 a 点和 b 点的电位。故电场中两点间的电压也称为两点间的电位差。对直流电路, 则

$$U_{ab} = \frac{W}{q} = U_a - U_b \quad (1-5)$$

式中 U_a 、 U_b 分别为 a 点和 b 点的电位。

在电场力的作用下, 正电荷从高电位向低电位移动。 a 点因正电荷的减少而电位降低, 而 b 点将因正电荷的增多而导致电位升高。如果不采取措施, a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 将逐渐下降。

为了维持 a 、 b 间的电压, 必须有另外一种力克服电场力, 使 b 点的正电荷移向 a 点。电源提供了这种力。电源通过电磁力或非电磁(如化学)力将正电荷从 b 点移到 a 点也要做功。电源做功的能力用电动势衡量。设电源力将正电荷 dq 从 b 点移到 a 点所做的功为 dw , 则电动势为

$$e_{ba} = \frac{dw}{dq} \quad (1-6)$$

对直流电路, 则

$$E_{ba} = \frac{W}{q} \quad (1-7)$$

在国际单位制中, 电压和电动势的单位为伏特, 简称为伏(V)。

显然, 电压的实际方向总是从高电位指向低电位, 而电动势的实际方向总是从低电位指向高电位。在复杂的电路中, 电路元件的实际电压方向也要经过分析才能确定。在分析和计算电路时, 也要给电压和电动势规定正方向, 电压的正方向可以用箭头或用双下标表示, 也可用极性表示。用极性表示时, “+”表示高电位, “-”表示低电位。电压的计算值为正, 表示正方向和实际方向一致, 其值为负, 则实际方向与正方向相反。

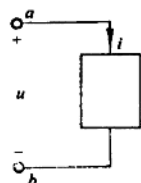
上述可见, 电压和电流的正方向是彼此独立的, 没有任何限制。但为了处理问题方便, 常将两端电路元件的电流正方向和电压正方向取为一致, 称为关联正方向。在电流和电压采用关联正方向时, 只要标出任一个变量的正方向, 另一个的正方向也就同时确定了。

3. 电功率和电能

在图1-4中：流过元件 R 的电流与其两端的电压按关联正方向标示。正电荷 dq 由 a 移到 b 时，元件 R 中吸收的能量可通过式(1-1)代入式(1-3)求得

$$dw = uidt \quad (1-8)$$

在单位时间内，元件所吸收的电能称为元件吸收的电功率，用 P 表示



对于直流电路

$$p = \frac{dw}{dt} = ui \quad (1-9)$$

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

图 1-4 电功率

在国际单位制中，电功率的单位是瓦特，简称为瓦（W）。

据式(1-9)，在时间间隔 $[t_0, t_1]$ 内，电路吸收的能量为

$$w = \int_{t_0}^{t_1} p dt \quad (1-11)$$

对于直流电路

$$W = P(t_1 - t_0) \quad (1-12)$$

在国际单位制中，电能的单位是焦耳（J）。1[焦耳]=1[瓦特]×1[秒]。电能的单位也常用千瓦时表示

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

【例 1-1】 在图1-5中，六个元件代表电源或负载，电流和电压的正方向如图中所示，按实验测量得知： $I_1 = -6.25\text{A}$ ， $I_2 = 2.5\text{A}$ ， $I_3 = 3.75\text{A}$ ， $I_4 = 2.5\text{A}$ ， $I_5 = 1.25\text{A}$ ， $I_6 = 3.75\text{A}$ ， $U_1 = 10\text{V}$ ， $U_2 = 2.5\text{V}$ ， $U_3 = 7.5\text{V}$ ， $U_4 = 2.5\text{V}$ ， $U_5 = -5\text{V}$ ， $U_6 = 7.5\text{V}$ 。

(1) 试标出各电流的实际方向和各电压的实际极性。(2) 判断哪些元件是电源？哪些是负载？(3) 计算各元件的功率，电源发出的功率（可取负值）和负载取用的功率（可取正值）是否平衡？

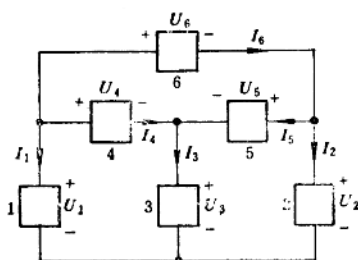


图 1-5 例1-1图

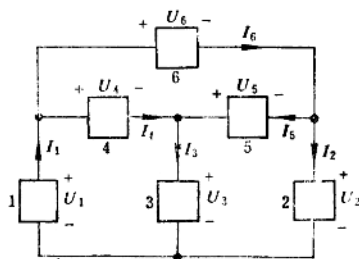


图 1-6 例1-1解答

【解】 (1) 各电流的实际方向和电压的实际极性见图1-6。

(2) 元件 1、5 电压和电流的实际方向相反, 即正电荷从低电位一端移向高电位一端, 为电源。其余元件电压和电流的实际方向相同, 即在电场力作用下, 正电荷从高电位移向低电位, 故为负载。

$$\begin{aligned} (3) \text{ 负载取用的功率 } P &= U_2 I_2 + U_3 I_3 + U_4 I_4 + U_5 I_5 \\ &= 2.5 \times 2.5 + 7.5 \times 3.75 + 2.5 \times 2.5 + 7.5 \times 3.75 \\ &= 68.75 \text{ W}; \end{aligned}$$

$$\text{电源发出的功率 } P = U_1 I_1 + U_5 I_5 = 10 \times (-6.25) + (-5) \times 1.25 = -68.75 \text{ W}.$$

以上计算是按关联参考方向计算电路元件吸收的功率。计算值为正, 表示其值确实是相应元件吸收的功率; 计算值为负, 表示其值是元件产生的功率。显然, 二者平衡。

第二节 直流电路的基本定律

电路中的每一个分支称为支路。一个支路流过一个电流。图 1-7 中三个支路中的电流分别为 I_1 、 I_2 、 I_3 。

电路中三个或三个以上的支路相连接的点称为节点。图 1-7 共有两个节点: b 和 d 。一个或多个支路组成的闭合电路称为回路。图 1-7 共有三个回路: $abcda$ 、 $abda$ 和 $bcd b$ 。

分析和计算电路要从写出支路、节点或回路各电量的关系着手。欧姆定律适用于支路, 基尔霍夫电流定律适用于节点, 基尔霍夫电压定律适用于回路。

一、欧姆定律

线性电阻两端的电压与通过它的电流成正比, 这就是欧姆定律。对图 1-7 的支路 bd 运用欧姆定律可写成

$$U_{bd} = I_3 R_3 \quad (1-13)$$

对图 1-7 的支路 bcd

$$U_{bd} = U_{bc} + U_{cd} \quad (1-14)$$

$$U_{bc} = -R_2 I_2 \quad (1-15)$$

将式 (1-15) 代入式 (1-14), 且注意 $U_{cd} = E_2$, 则

$$U_{bd} = E_2 - I_2 R_2 \quad (1-16)$$

式 (1-13) 是无源支路 (支路内不含电源的支路) 的欧姆定律, 式 (1-16) 称为一段含源支路的欧姆定律。

由式 (1-13) 可见, 元件 R_3 两端的电压一定时, 电阻 R_3 愈大, 流过 R_3 的电流 I_3 愈小。显然, 电阻对电流起阻碍作用。

在国际单位制中, 电阻的单位是欧姆, 简称为欧 (Ω)。当电阻两端的电压为 1V, 通过电阻的电流为 1A 时, 则电阻的阻值为 1Ω 。

因按照无源支路的欧姆定律画成的伏-安特性是一条过原点的直线 (图 1-8), 故该电

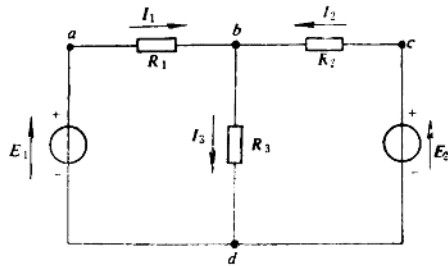


图 1-7 电路举例

阻称为线性电阻。电阻的阻值由其伏-安特性的斜率确定。不服从欧姆定律的电阻元件，电阻是电流（或电压）的函数。这类元件叫非线性电阻元件。

二、基尔霍夫电流定律 (KCL)

由于电流的连续性，电路中任何一点都不能堆积电荷。因此，在任一瞬时，流入任一节点的电流之和等于该节点流出的电流之和，这就是基尔霍夫电流定律 (KCL)。它反映了电路中任一节点的支路电流间的相互制约关系。

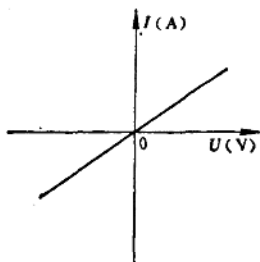


图 1-8 线性电阻的伏-安特性

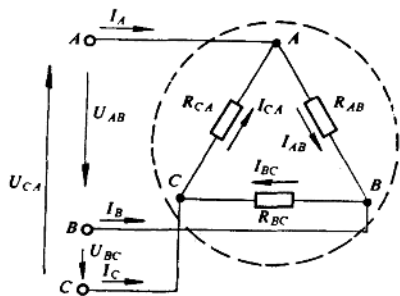


图 1-9 KCL的推广应用

对图1-7的节点b运用KCL

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-17)$$

移项

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1-18)$$

可见，在任一瞬时，流入（或流出）一个节点的电流的代数和恒等于零。如果对正方向为流入的电流取正号，则对正方向为流出的电流应取负号。经过实际计算，有些支路的电流值如为负值，说明原来所选取的电流正方向与电流的实际方向相反。

如果对图1-7的节点d也运用KCL，则得 $I_3 - I_1 - I_2 = 0$ ，显然，这个方程可从式 (1-17) 推导出来，是不独立的。一般地说，对于具有 n 个节点的电路，运用 KCL 只能列出 $(n-1)$ 个独立方程。

对图1-9中A、B、C三个节点，按图示的正方向运用KCL，得

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

上列三式相加，得

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

即

$$\sum I = 0$$

由此可见，KCL也可推广应用于包括A、B、C三个节点的一个封闭面（虚线包围的封闭面）。事实上，在任一瞬时，通过电路中任一封闭面的电流的代数和恒等于零。

三、基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律 (KVL) 反映回路中各部分电压间相互制约的关系。它可陈述如下：在任一瞬时，在电路的任一回路中，沿任一参考方向（顺时针或逆时针方向均可），

回路中各段电压的代数和等于零。

对图1-10的回路 $bcdb$ ，可列出

$$U_5 + U_4 - U_1 = 0 \quad (1-19)$$

对于回路 $abda$ ，可列出

$$U_1 - U_3 - U_5 = 0 \quad (1-20)$$

对于回路 $abcda$ ，可列出

$$U_1 - U_3 + U_4 - U_2 = 0 \quad (1-21)$$

显然，将式(1-19)与式(1-20)两边相加，同样可得式(1-21)。可见，运用KVL只能列写两个独立的方程。一般地说，电路具有 b 条支路、几个节点，运用KVL只能列写 $(b-n+1)$ 个独立方程。

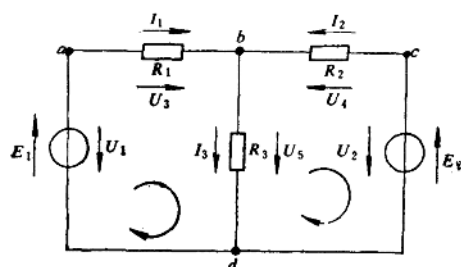


图 1-10 KVL说明图

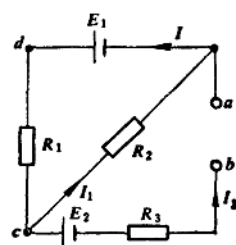


图 1-11 例1-2图

【例 1-2】在图1-11中， $E_1=6V$ ， $E_2=4V$ ， $R_1=4\Omega$ ， $R_2=2\Omega$ ， $R_3=2\Omega$ ，求电路的 U_{ab} 。

【解】将网络 $adca$ 看成一个广义节点，运用KCL，则 $I_a=0$ 。

对节点 c 运用KCL，得

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

故

$$I = I_1$$

对回路 $adca$ 运用KVL，得

$$E_1 - R_1 I - R_2 I = 0$$

将已知数代入，得

$$6 - 4I - 2I = 0$$

$$I = 1A$$

据欧姆定律

$$U_{ac} = -R_1 I_1 = -2 \times 1 = -2V$$

$$U_{ab} = U_{ac} + U_{cb} = -2 + 4 = 2V$$

【例 1-3】一只220V、60W的灯泡，在正常点燃时通过灯丝的电流和灯丝的电阻是多少？

【解】据式(1-10)，通过灯丝的电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} = 0.273 \text{ A}$$

据欧姆定律，灯丝的电阻为

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.273} = 806 \Omega$$

将欧姆定律代入式(1-10)，得

$$P = UI = U \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

由此可见，电压一定时，电阻吸收的电功率与电阻成反比。灯泡额定电压一定，其功率越大，灯丝的阻值越小。

第三节 电阻网络的等效变换

在电路理论中，网络和电路是同义词。网络和其它电路通过两个端相联接，且进出这两端的电流等值和反向，此网络称为二端网络。网络与其它电路以三个端相联接，如T形、Π形、Γ形等网络，此类网络称为三端网络。

网络端上电压和电流的关系称为网络的外特性。若两个网络的外特性完全相同，则称这两个网络等效。下面以电阻电路为例，从最简单的网络等效变换谈起。

一、电阻的串联

若电阻一个接一个地顺序相联，当接通电源后，任何瞬时通过各电阻的电流均相等，这种接法称为电阻的串联。

图1-2(a)的虚框内两个电阻串联，该虚框与外电路以两个端相联，故称框内的电路为二端网络。图(b)的虚框内也可看成一个二端网络，只是这是一个最简单的二端网络，仅由一个二端元件构成而已。

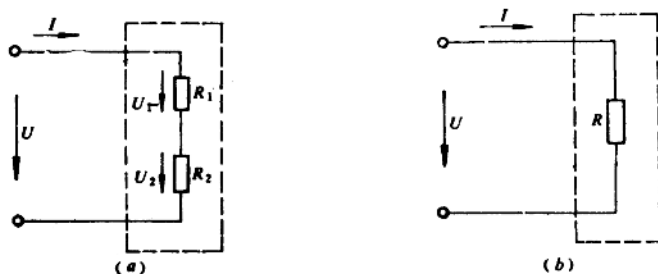


图 1-12 串联电阻及等效电阻
(a)两个电阻串联；(b)等效电阻

对于图1-12(a)，

$$U = U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) \quad (1-22)$$

对于图1-12(b)，

$$U = IR \quad (1-23)$$

欲使(a)与(b)中两个二端网络外特性一致, 则应使

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-24)$$

可见, 两个串联电阻的等效电阻等于各个电阻之和。对于 n 个电阻串联, 这个结论仍是适用的。设 n 个串联电阻的等效电阻为 R , 则

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad (1-25)$$

图1-12两个串联电阻上的电压分别为

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 &= IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{aligned} \right\} \quad (1-26)$$

式(1-26)表明, 串联电阻上电压的分配与电阻成正比。这个结论也适用于两个以上电阻串联的情况。

二、电阻的并联

若若干个电阻联接在两个公共节点之间, 当接通电源后, 任何瞬时各电阻两端间的电压均相等, 这样的接法叫做电阻并联。

对于图1-13, 运用求串联电阻的等效电阻的方法不难推出, 两个并联电阻也可用一个等效电阻 R 来代替, 等效电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和。即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-27)$$

这一结论对几个电阻并联也适用。设 n 个电阻并联后等效电阻为 R , 则

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (1-28)$$

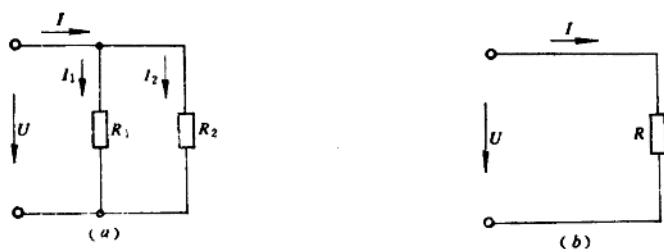


图 1-13 并联电阻及等效电路
(a)两个电阻并联; (b)等效电阻

在直流电路中, 电阻的倒数称为电导, 通常用 G 表示。在国际单位制中, 电导的单位是西门子, 简称西 (S)。多支路并联的电路用电导表示, 通常可使分析计算简化。如式(1-28)可写成

$$G = \sum_{i=1}^n G_i \quad (1-29)$$

两个并联电阻上的电流分别为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (1-30)$$

式(1-30)表明, 并联电阻上电流的分配与电阻成反比。

一般负载都有一定的额定电压, 各个负载并联于该负载的额定电压级。若电源容量足够大, 供电线路的电压足够稳定, 各负载之间基本上互不影响。但并联的负载愈多, 所有负载向电源取用的总电流和总功率也愈大。

运用上述将若干串并联电阻化简的方法, 可以将有些电路化简成单回路电路, 从而可方便地求解出电路中各元件的待求量。

【例 1-4】 在图1-14所示的电路中, $R_1 = 50\Omega$, $R_2 = 100\Omega$, $R_3 = 80\Omega$, $R_4 = 30\Omega$, $R_5 = 60\Omega$, 试求: (1) ab 两端的等效电阻 R_{ab} ; (2) cd 两端的等效电阻 R_{cd} 。

【解】 为了书写简单, 将两电阻 R_4 与 R_5 并联记为 $R_{4,5}$ 。

$$R_{4,5} = R_4 \parallel R_5 = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} = \frac{30 \times 60}{30 + 60} = 20\Omega$$

$$R_{cb} = R_2 \parallel (R_3 + R_{4,5}) = \frac{100 \times (80 + 20)}{100 + (80 + 20)} = 50\Omega$$

$$R_{ab} = R_1 + R_{cb} = 50 + 50 = 100\Omega$$

$$R_{cd} = R_3 \parallel (R_2 + R_{4,5}) = \frac{80 \times (100 + 20)}{80 + (100 + 20)} = 48\Omega$$

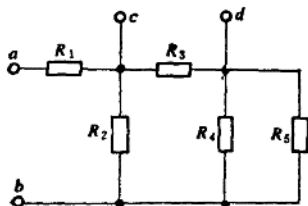


图 1-14 例1-4图

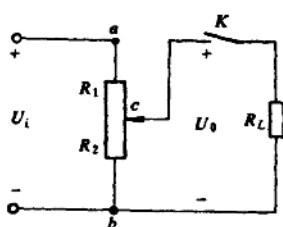


图 1-15 例1-5图

【例 1-5】 图1-15是用滑线变阻器接成的分压器。滑动触头 c 上下移动, 则分压器的输出电压随之变化。设输入电源电压 $U_1 = 40V$, 分压器电阻 $R_1 = R_2 = 500\Omega$, 试求: (1) 当负载 R_L 不接入 (即 R_L 为 ∞)、 $R_L = 20\Omega$ 、 $R_L = 50k\Omega$ 时, 分压器的输出电压 U_0 各为多少? (2) 当 $R_L = 20\Omega$ 时, 各部分的电流、分压器的输入功率、输出功率及其消耗的功率各为多少?

【解】 (1) 因为 $U_0 = \frac{R_2 \parallel R_L}{R_1 + R_2 \parallel R_L} U_1$

当 R_L 不接入时, $U_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_1 = \frac{500}{500 + 500} \times 40 = 20V$

当 $R_L = 20\Omega$ 时, $U_0 = \frac{500 \parallel 20}{500 + 500 \parallel 20} \times 40 = 1.48V$