

电 工 技 术

上海交通大学出版社

电 工 技 术

许鸿量 主编
孙文卿

上海交通大学出版社

(沪)新登字 205 号

内 容 提 要

本书是参照“电工技术”(电工学I)课程教学基本要求的精神编写的。内容包括电路理论、电工测量、电机与继电-接触器控制、安全用电四部分。电路理论部分增加了含受控源电路的分析、电路的频域分析和采用零状态响应及零输入响应的方法进行电路的时域的分析。在电工测量部分,较详细地分析了各种电测量指示仪表和测量方法,并介绍了有关电量和电参数的测量;还对误差进行了分析。在电机和继电-接触器控制部分,侧重分析电动机的机械特性及其应用,还介绍了常用的几种控制电机;对常用低压电器的结构和功能、异步电动机的继电-接触器控制电路也进行了较全面的介绍。在安全用电部分,对触电事故、防止触电的安全措施以及防雷、防火、防爆和静电防护等方面都作了较详情的介绍。

本书可作为高等院校的教材,也可作为有关人员的参考书。

电 工 技 术

出 版:上海交通大学出版社
(淮海中路1984弄19号)

发 行:新华书店上海发行所

印 刷:立信常熟印刷联营厂

开 本:787×1092(毫米) 1/16

印 张:19.25

字 数:471,000

版 次:1992年10月 第1版

印 次:1992年11月 第1次

印 数:1—6,700

科 目:276—320

ISBN 7—313—01064—8/TN

定价:6.55元

前 言

本书是参照国家教委高等工业学校电工学课程教学指导小组审定的《电工技术(电工学 I) 课程基本要求》编写的。教材内容在保证满足课程教学基本要求的前提下,适当加深和拓宽了一些内容,目的是使本教材能适应各高等工业学校 and 不同专业的实际教学需要。全书共分十四章,前六章为电路理论部分,强调了电路模型、等效电路及电路的分析方法等概念,增加了含受控源电路的分析,加深和拓宽了电路的频域分析内容。针对以往教学中忽视电工测量不足之处,因此在本书的第七章中,较详细地分析了各种电测量指示仪表和测量方法,并介绍了有关电量和电参数的测量;还对误差进行了分析。第八章至第十三章是电机及继电器-接触器控制部分,侧重分析各种常用电动机的机械特性及其应用;对常用低压电器的结构和功能、异步电动机的继电器-接触器控制电路也进行了较全面的介绍。在教学中可以根据不同专业的情况,对这部分所叙述的内容有所选择。本书加入了有关安全用电方面的内容作为第十四章,对触电事故、防止触电的安全措施以及防雷、防火、防爆等方面作了较详细的介绍。

在编写过程中,我们力图把内容的重点放在培养分析问题和解决问题的能力上。对基本概念、基本原理和基本分析方法的叙述中力求深入浅出,便于自学。

本书由上海交通大学电工学教研室许鸿量、孙文卿主编。第3、4、6章由许鸿量编写,第1、2、10、12章由孙文卿编写,第5、7、13、14章由朱承高编写,第8、9、11章由严伟孙编写。本书在编写过程中得到上海交通大学电工学教研室和实验室同志的帮助和支持,在此谨向他们致以衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中一定存在不少缺点和错误,殷切希望读者批评指出。

编 者

EA-95/04

目 录

第1章 电路的基础知识	1
1—1 电路	1
1—2 电路的基本物理量	3
1—3 欧姆定律和一段有源电路的特性方程	5
1—4 克希荷夫定律	7
1—5 电路无源元件及其特性方程	9
1—6 电压源、电流源和受控源	14
习题	20
第2章 电路分析方法	26
2—1 电路中的电位	26
2—2 电路的三种状态	28
2—3 电路的等效概念	30
2—4 电阻星形联接与三角形联接的等效变换 (Y- Δ 变换)	34
2—5 电路的分压和分流	35
2—6 支路电流法	37
2—7 叠加定理	38
2—8 节点电压法	40
2—9 戴维南定理和诺顿定理	41
2—10 简单非线性电阻电路的分析	45
习题	47
第3章 单相正弦交流电路的稳态分析	54
3—1 正弦交流电的基本概念	54
3—2 稳态正弦交流电路的分析基础	60
3—3 正弦交流电路的分析和计算	68
3—4 正弦交流电路的功率	74
习题	78
第4章 三相正弦交流电路	82
4—1 三相正弦交流电动势的产生	82
4—2 三相电源的联接	83
4—3 负载的星形联接	85
4—4 负载的三角形联接	88
4—5 三相电路的功率	90
习题	92
第5章 电路的频域分析	94

5—1 周期性非正弦信号的分解	94
5—2 非周期性信号的频谱	100
5—3 网络函数与频率特性	106
5—4 RC 电路的频率特性	107
5—5 RLC 电路的频率特性	112
5—6 电路的频域分析	116
习题	118
第 6 章 电路的时域响应	122
6—1 时域响应的基本概念及换路定则	122
6—2 一阶电路的零输入响应	125
6—3 一阶电路的零状态响应	127
6—4 一阶电路的全响应	130
6—5 三要素法	131
6—6 RLC 电路的零输入响应	133
习题	136
第 7 章 电工测量	139
7—1 电测量指示仪表	139
7—2 电流、电压、功率和电能的测量	147
7—3 电阻的测量	155
7—4 万用电表	158
7—5 直流比较测量法	162
7—6 交流电阻、电感和电容的测量	168
习题	172
第 8 章 磁路和变压器	175
8—1 概述	175
8—2 磁路及其计算方法	176
8—3 直流磁路及交流磁路工作的特点	178
8—4 电磁铁	179
8—5 变压器	181
习题	190
第 9 章 异步电动机	193
9—1 三相异步电动机的基本结构	193
9—2 三相异步电动机的旋转磁场	195
9—3 异步电动机的转动原理	197
9—4 异步电动机的铭牌和额定值	198
9—5 异步电动机中的基本电磁作用	199
9—6 三相异步电动机的机械特性和运行特性	203
9—7 三相异步电动机的起动	205
9—8 三相异步电动机的调速和制动	207

9—9 单相异步电动机	209
习题	210
第 10 章 直流电机	213
10—1 直流电机的工作原理	213
10—2 直流电机的基本结构和铭牌数据	214
10—3 直流电机的电枢电动势、电磁转矩和电磁功率	216
10—4 直流发电机	218
10—5 直流电动机运行情况	222
10—6 并励直流电动机的运行特性	225
10—7 并励直流电动机的调速	226
10—8 串励电动机和复励电动机	229
习题	230
第 11 章 电动机的继电器——接触器控制	233
11—1 常用控制电器	233
11—2 控制系统原理线路图中的图形符号和文字符号	239
11—3 鼠笼式电动机的直接起动控制	239
11—4 顺序联锁起动的控制	241
11—5 行程控制	242
11—6 时限控制	243
11—7 反馈控制	245
习题	247
第 12 章 同步电机	248
12—1 同步电机的结构	248
12—2 同步发电机的运行情况	250
12—3 同步发电机的功角特性	254
12—4 同步发电机的无功功率调节	256
12—5 同步电动机的作用原理和电路模型	257
12—6 同步电动机的电磁转矩	258
12—7 励磁电流对同步电动机运行的影响	259
12—8 同步电动机的起动	260
习题	260
第 13 章 控制电机	262
13—1 伺服电动机	262
13—2 步进电动机	267
13—3 直线电动机	269
13—4 测速发电机	271
13—5 自整角机	273
13—6 旋转变压器	275
习题	278

第14章 安全用电.....	280
14—1 触电事故及救护.....	280
14—2 防止触电的安全措施.....	284
14—3 防雷及防火.....	287
习题	290
习题解答	292

第 1 章 电路的基础知识

1—1 电 路

电工技术在各个领域中的应用,是通过各种各样的电路来进行的。电路是由若干个电气器件或设备,按照一定的要求和方式组合成的总体。它构成了电流的通路;随着电流的流通,实现了电能的传输、分配和转换;或者各种电信号的传递和处理。

一、电路元件和电路模型

组成电路的电气器件或设备,如二极管、三极管、电阻器、电感线圈、电容器以及变压器和发电机、电动机等等,统称为电路元件。电路元件虽然种类繁多,但在电磁现象上却可以归纳为几个共同的方面。有些电气器件主要是消耗电能的,如电阻器、电炉等,这些器件称为电阻元件。有些电气器件主要是储存磁场能量的,如各种电感线圈,这些电气器件称为电感元件。还有一些电气器件主要是储存电场能量的,如各种电容器,这些器件则称为电容元件。这些耗能或储能的电路元件,统称为无源元件。另外如发电机和电池等电路元件,它们主要是供给电能的,则称为电源元件。

事实上,一个实际的电阻器,当有电流流过时,除了对电流呈现阻力、要消耗电能外,还会产生磁场和储存磁场能量,因而兼有电感元件的性质;电感线圈和电容器除了分别储存磁场能量和电场能量的基本性质外,也会兼有电阻元件的性质;一个实际的电源元件总有内阻,在使用时不可能保持一定的端电压。以上这些情况,就往往给分析电路带来了困难。因此,我们必须在一定条件下,对实际的电气器件加以理想化,就是略去其次要性质,而用一个足以表征其主要性能的模型来表示。也就是为了便于对电路进行分析,需要建立一个实际电路的模型。所以,电路模型就是由一些理想的电路元件所组成,这些理想元件主要是电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。

二、电路参数

电路元件的性能可以由其相应的电路参数来表征。电阻就是用以反映电阻元件能量损耗的电路参数,用符号 R 表示。电感和电容就是分别用以反映磁场储能和电场储能的电路

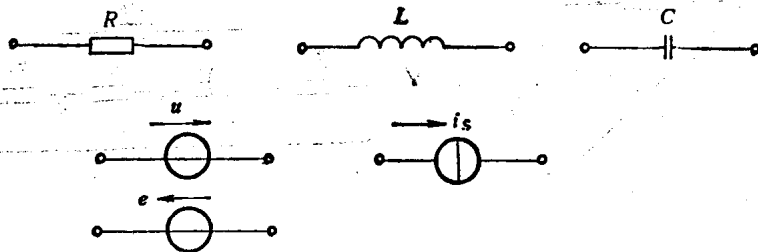


图 1-1 电路元件符号

参数, 分别用符号 L 和 C 表示。电源元件有电压源元件和电流源元件, 前者的参数是电压源元件所具有的电压 (或电动势), 用符号 u (或 e) 表示; 后者的参数是电流源元件所具有的电流, 用符号 i_s 表示。这些元件使用的符号如图 1-1 所示。

三、电路图

如上所述, 实际电路是由各种电气器件组成的整体, 有时也称为网络。其实网络和电路并无严格的区别, 一般说来, 网络是具有较多元件的复杂电路。在工程上常应用统一的规定符号来代表电路中的各个理想元件, 利用这些元件符号, 就可以把任何一个实际电路画成一个由元件符号所组成的示意图形, 称为电路图。这样便于对实际电路的分析和运算。图 1-2 是一个简单的实际照明电路, 图 1-3 是它的电路图。

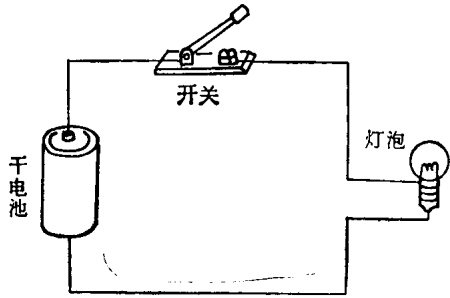


图 1-2 简单照明电路

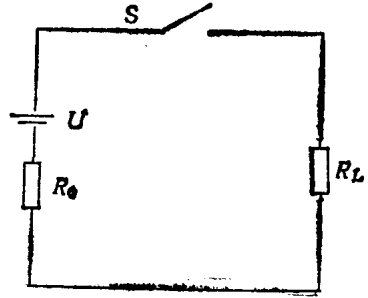


图 1-3 图 1-2 的电路图

在电路图中, 各元件的几何位置是无关紧要的, 联接导线的形状和长短, 一般来说也是不重要的, 而主要的是电路不论采取怎样画法, 都要不失其本质; 同时也必须能将电路画成最简单的形式。图 1-4(a) 是一种常见的电桥电路, 可以改画成图 1-4(b)、(c) 和 (d) 的形

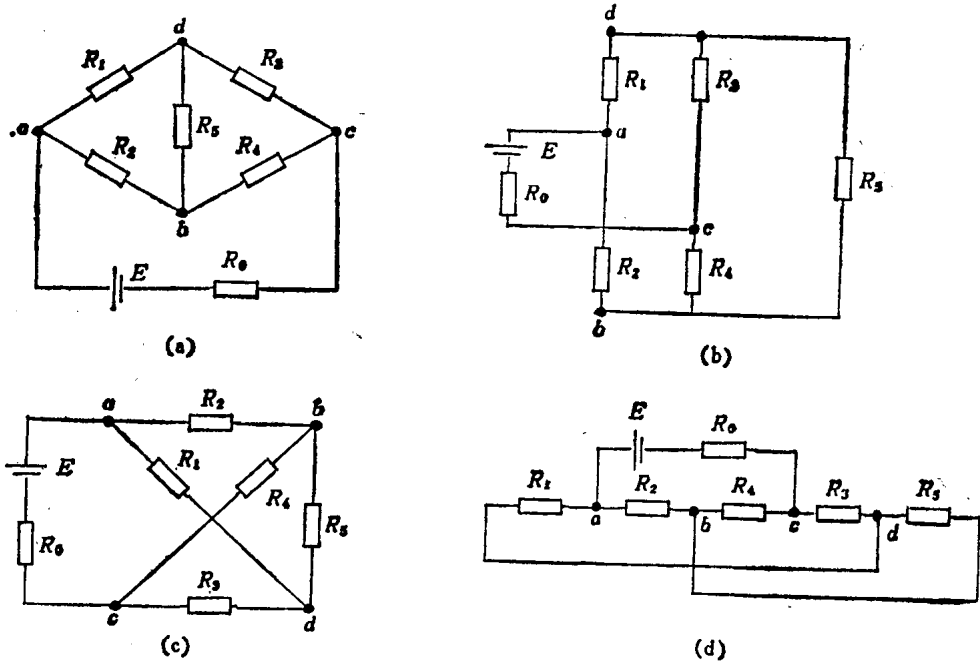


图 1-4 电桥电路的四种画法

式。这四个电路图是等效的,即它们的本质是相同的,读者可以自行分析。

1—2 电路的基本物理量

一、电流及其参考方向

在电路中,随着电流的流通,进行着电能和其它形式能量的相互转换。因此,分析电路时,要特别关注电荷在电场作用下作定向运动而形成的电流。电流的大小用电流强度来衡量。电流强度定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量,电流强度简称电流,用符号 i 表示。根据定义得

$$i = dq/dt. \quad (1-1)$$

式中,时间 t 的单位为秒(s);电荷 q 的单位为库仑(C);电流 i 的单位为安培(A)。

如果电流的大小和方向不随时间变化,称为恒定电流。简称直流(DC),其强度用符号 I 表示。如果电流的大小和方向随时间变化,称为交变电流,简称交流(AC)。

电流的方向习惯上规定为正电荷运动的方向。在实际电路中,电流的真实方向往往难以在电路图中确定,给分析电路带来了困难。譬如在一个元件较多的复杂电路中,就难以事先判断流过每个元件的电流的真实方向。又如在交流电路中,电流方向随时间变化,也很难用一个固定箭头表示其真实方向。为了解决这个困难,就引入了参考方向这个概念。所谓参考方向就是任意选定的电流方向,而不一定是电流的真实方向。当然,在实际运算中,选定电流方向时,尽可能使它与真实方向相一致,在不能确定真实方向时,电流方向才任意选定。



图 1-5 电流的参考方向

参考方向在电路图中用箭头表示,如图 1-5 所示。今后在电路图中所标的电流方向都是参考方向,不一定就是电流的真实方向。在图 1-5 中,若电流的真实方向从 a 到 b ,与参考方向一致,则电流为正值;若电流的真实方向是由 b 到 a ,与参考方向相反,则电流为负值。这样,就可以利用电流数值的正或负,结合参考方向来确定电流的真实方向。电流的参考方向又称为电流的正方向。

二、电压及其参考方向

在电场作用下,电荷在电路中作定向流动,就必然发生能量的交换。电荷在电路中的电源部分获得能量,在另外一些部分(指用电设备,称为负载部分)失去电能。单位正电荷由电路中的一点移动到另一点时,能量变化量的绝对值,称为该两点间的电压,电压有时也称为电位差,用符号 u 表示。根据定义得

$$u = dW/dq. \quad (1-2)$$

式中, dW 为电荷 dq 在移动过程中所获得或失去的能量,单位为焦耳(J);电压 u 的单位为伏特(V)。

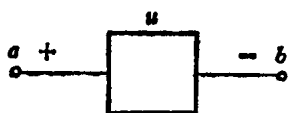


图 1-6 电压的极性表示法

在图 1-6 中,如果正电荷由 a 移动到 b ,失去能量,则 a 点为高电位,即为正极,用符号“+”表示; b 为低电位,即为负极,用符号“-”表示。如果正电荷由 a 点到 b 点获得能量,则 a 点为低电位,即为负极; b 点为高电位,即为正极。

如果电压的大小和极性(方向)都随时间而变化,称为交变电压;如果电压的大小和极性都不随时间变化,就称为恒定电压或直流电压,用符号 U 表示。

电压的方向也有真实方向和参考方向(参考极性)之分。电压的真实方向是由高电位点指向低电位点。电压的参考方向或称参考极性是可以任意选定的,它不一定是电压的真实方向。参考方向选定之后,如果电压的实际方向与参考方向一致,则电压为正值;如果电压的实际方向和参考方向相反,则为负值。

在电路图中,电压的参考方向有两种标法,一种和电流的参考方向一样用箭头表示,如图1-7(a)所示;另一种用“+”、“-”极性表示,如图1-7(b)所示。

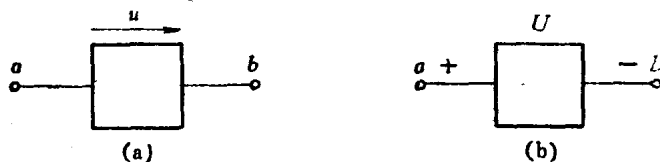


图 1-7 电压的参考方向

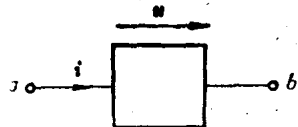


图 1-8 电压电流的参考方向一致

三、电路中的功率

在图1-8所示的电路中,电压和电流的参考方向选取一致的方向,如图中所标定。根据电流和电压的定义,得

$$dq = i dt, \quad (1-3)$$

$$\text{和} \quad dW = u dq, \quad (1-4)$$

于是得

$$dW = ui dt. \quad (1-5)$$

这就是此电路从电源中所吸取的电能。在单位时间内此电路所吸取的电能,即吸取的电功率

$$p = dW/dt = ui. \quad (1-6)$$

在直流情况下,功率、电压和电流均用大写字母表示,于是

$$\text{得} \quad P = UI \quad (1-7)$$

上式说明,当电压和电流的参考方向一致时,电路吸取的功率等于电压和电流的乘积。

必须指出,在计算功率时,若功率为正值,表明此电路系吸取功率;若计算所得功率为负值,则表明此电路系产生功率。

假如在图1-8所示的电路中,电压或电流的参考方向中有一个与图示方向相反,即电压和电流的参考方向相反,则此电路吸取的功率表示式为

$$p = -ui, \quad (1-8)$$

或

$$P = -UI. \quad (1-9)$$

显然,在这种情况下,此电路不是吸取功率,而是产生功率。

功率的单位为瓦特,简称瓦(W)。

例 1-1 计算图1-9所示各元件吸取或产生的功率。

解

$$(a) \quad P = UI = 6 \times 1 = 6 \text{ W (吸取)},$$

$$(b) \quad P = UI = 6 \times 1 = 6 \text{ W (吸取)},$$

$$(c) \quad P = -UI = -6 \times 1 = -6 \text{ W (产生)}.$$

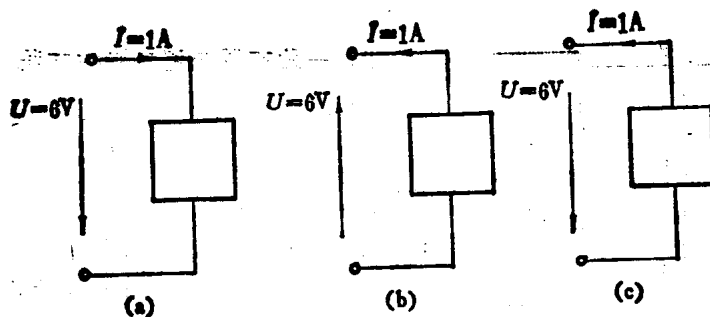


图 1-9 例 1-1 的电路

1—3 欧姆定律和一段有源电路的特性方程

一、欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一，它适用于线性电阻。所谓线性电阻就是电阻元件两端的电压和通过其中的电流具有线性关系，即电阻元件的 u 和 i 在 $u-i$ 平面上的曲线(称为元件的伏安特性曲线)是一条经过坐标原点的直线。线性电阻的符号如图 1-10 所示；其伏安特性曲线如图 1-11 所示。电阻元件的电阻值可由图 1-11 中的直线的斜率确定。

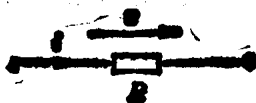


图 1-10 线性电阻(u, i 参考方向一致)

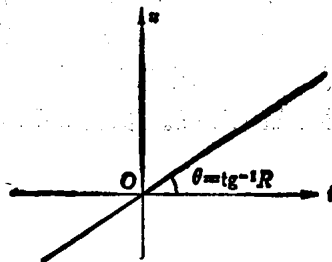


图 1-11 线性电阻的伏安特性

欧姆定律表明流过线性电阻的电流 i 和电阻两端电压 u 成正比。在电压和电流的参考方向一致情况下，如图 1-10 所示，欧姆定律数学表达式为

$$u = iR. \quad (1-10)$$

在直流情况下，可写为

$$U = IR. \quad (1-11)$$

如果电压和电流的参考方向相反，如图 1-12 所示，则欧姆定律的表示式应为

$$u = -iR. \quad (1-12)$$

线性电阻元件也可以用另一个参数——电导来表征；电导的符号用 G 表示，其值为电阻的倒数，即

$$G = 1/R. \quad (1-13)$$

电导的单位为西门子，简称西(S)。

引用电导参数后，欧姆定律可以写成

$$i = uG \text{ 或 } I = UG.$$

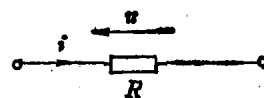


图 1-12 线性电阻
(u 与 i 参考方向相反)

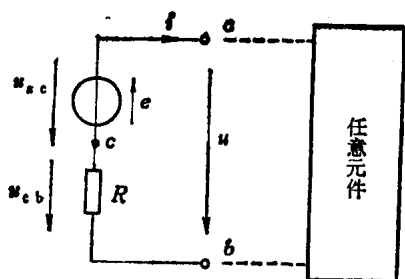


图1-13 一段有源电路
(u 的参考方向与 e 和 i 的参考方向相反)

二、一段有源电路的特性方程

图1-13为一段有源电路,它由一个具有电动势 e 的理想电压源和一个电阻 R 串联而成。方框中为任意元件组成的电路。

根据图中所示参考方向,两点之间的电压

$$u = u_{ab} = u_{ac} + u_{cb} \quad (1-14)$$

因为 $u_{ac} = e$, $u_{cb} = -iR$,

所以

$$u = u_{ab} = e - iR, \quad (1-15)$$

或

$$i = (e - u)/R, \quad (1-16)$$

在直流情况下

$$U = E - IR, \quad (1-17)$$

或

$$I = (E - U)/R, \quad (1-18)$$

这就是图1-13所示一段有源电路的特性方程。

必须指出,一段有源电路的特性方程中的正、负符号,随电压、电流和电动势的参考方向的改变而不同;式中三个物理量(e , u , i)中任意一个的参考方向改变时,则在特性方程中相应项的符号也随之改变。如图1-14所示的参考方向,其中电流的参考方向改变了。于是

$$u = e + iR, \quad (1-19)$$

或

$$i = (u - e)/R, \quad (1-20)$$

在直流情况下,得

$$U = E + IR, \quad (1-21)$$

$$I = (U - E)/R, \quad (1-22)$$

例1-2 在图1-15所示的电路中,已知 $E = 1.6\text{ V}$, $R = 2.5\ \Omega$, $U = 1.4\text{ V}$,根据图中电动势、电流和电压的参考方向,试求电路中电流 I 。

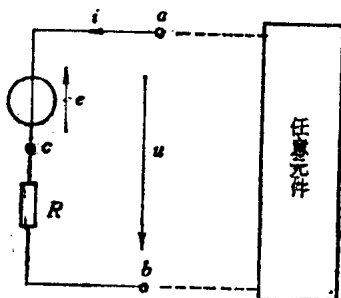


图1-14 一段有源电路(e 的参考方向与 u 和 i 的参考方向相反)

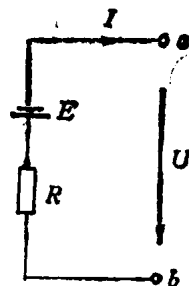


图1-15 例1-2的电路

解 根据图中所示参考方向可知,电动势和电压的参考方向与电流的参考方向相反,所以

$$I = \frac{-E-U}{R} = -\frac{1.6+1.4}{2.5} = -1.2 \text{ A.}$$

1—4 克希荷夫定律

电路的分析和运算,除了应用欧姆定律外,克希荷夫定律也是分析电路的基本定律。克希荷夫电流定律适用于电路中的任意一个节点;克希荷夫电压定律适用于电路中的任何一个回路。下面先介绍分析电路时常用的几个术语。

一、几个常用术语

1. 支路

电路中的每一个分支,称为支路。每条支路流过相同的电流,这电流称为分支电流。在图 1-16 中有三个分支,即有三条支路 acb 、 ab 和 adb 。支路 acb 中含有电源,称为有源支路;支路 ab 、 adb 中没有电源,称为无源支路。

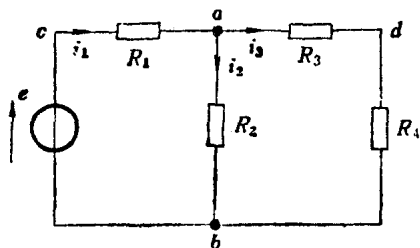


图 1-16 电路的节点,支路和回路

2. 节点

三个或三个以上支路的联结点,称为节点。在图 1-16 的电路中,有 a 、 b 两个节点。支路是跨接在两个节点之间,是联接两个节点的一段电路。显然,两个节点之间可以联接多个电路,即有多条支路。每条支路都有各自的支路电流。但在两节点之间只有一个电压,即两节点之间的电位差。所以两节点之间各条支路两端的电压是相同的。

3. 回路

由若干支路所组成的任一闭合路径,称为回路。图 1-16 所示的电路中,有 $cabca$ 、 $adbba$ 和 $cadbc$ 三个回路。

4. 网孔

若回路内部不能再分出其它回路,即回路内部不包含不属于此回路的其它支路,则此回路称为网孔。图 1-16 的电路中有 $cabca$ 和 $adbba$ 两个网孔。

二、克希荷夫电流定律

克希荷夫电流定律是确定与某一节点联接的各个支路中电流之间关系的定律。该定律指出:在任一瞬间,流向任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。克希荷夫电流定律是电流连续性原理在电路中的表现形式,即节点上的电荷不可能积累,流入节点的电荷必然等于流出节点的电荷。

在图 1-16 所示的电路中,根据克希荷夫电流定律,对于节点 a 可以写出

$$i_2 + i_3 = i_1 \text{ 或 } i_2 + i_3 - i_1 = 0, \quad (1-23)$$

即

$$\sum i = 0. \quad (1-24)$$

在直流情况下

$$\sum I = 0. \quad (1-25)$$

上式可以表述为在任一瞬时,流出(或流入)某一节点的电流代数数和为零。

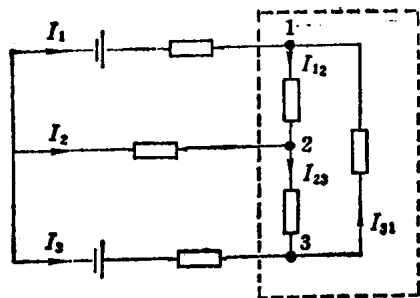


图 1-17 例 1-3 的电路图

节点 1: $I_1 = I_{12} - I_{31}$,

节点 2: $I_2 = I_{23} - I_{12}$,

节点 3: $I_3 = I_{31} - I_{23}$.

若将上面三式相加,得

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0.$$

由此可见,通过任一闭合面的电流的代数和也总是等于零。显然, I_1 、 I_2 和 I_3 这三个电流不可能都是正的(或都是负的),即至少有一个电流是流出(或流入)闭合面的。

三、克希荷夫电压定律

克希荷夫电压定律是确定电路的某一回路中各个电压间的关系定律。它指出:电路中的任一回路,在任一瞬时,回路的各个支路的电压降的代数和等于零。其数学表示式为

$$\sum u = 0, \quad (1-26)$$

或

$$\sum U = 0. \quad (1-27)$$

列写上式时,要规定一个回路的循行方向。若支路中的电压降的参考方向与回路循行方向一致,则此电压降取正号;否则取负号。

例 1-4 图 1-18 表示一个复杂直流电路中的一个回路,已知各元件的电压为 $U_{ad} = 10$ V, $U_{ab} = 3$ V, $U_{bc} = -2$ V, 试求 U_{cd} 。

解 规定回路循行方向如图中虚线所示。根据各电路元件电压的参考方向,得

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} - U_{ad} = 0.$$

式中凡参考方向与循行方向一致的电压降取正号,否则取负号。将已知数据代入得

$$(3) + (-2) + U_{cd} - (10) = 0$$

于是得

$$U_{cd} = 9 \text{ V}.$$

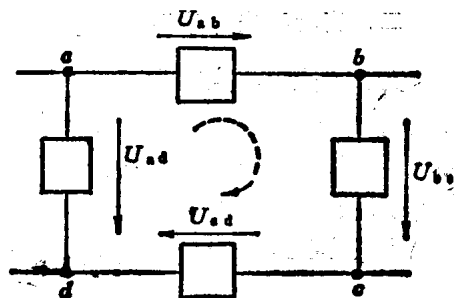


图 1-18 例 1-4 的电路图

必须指出,上面所介绍的克希荷夫电流定律和电压定律两种表示式,对由各种不同元件所组成的电路,以及对于恒定的电压和电流或任何变动的电压和电流都同样是适用的。如果在图 1-18 的电路中,有的支路的元件是由电阻和电压源所组成,如图 1-19 所示。那末应用欧姆定律,再可以把克希荷夫电压定律的表示式加以改写。根据电路中电流的参考方

向,得

$$U_{ab} = I_1 R_1, U_{bc} = I_2 R_2, U_{cd} = E_2 - I_3 R_3,$$

$$U_{ad} = E_1 + I_4 R_4.$$

应用电压定律,得

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + E_2 - I_3 R_3 - E_1 - I_4 R_4 = 0,$$

整理后得

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = E_1 - E_2,$$

或

$$\sum I R = \sum E. \quad (1-28)$$

这是克希荷夫电压定律的扩展形式。就是说,在任一回路内,电阻上的电压降的代数和等于电动势的代数和。应该注意,若电阻上的电流的参考方向与回路循行方向一致,则电压降取正号;电动势的参考方向与回路循行方向一致,也取正号。否则取负号。

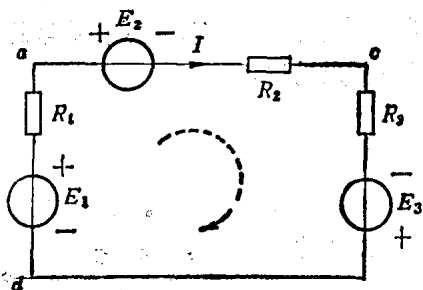


图 1-20 例 1-5 的电路图

例 1-5 图 1-20 为一单回路直流电路,已知 $E_1 = 9 \text{ V}$, $E_2 = 6 \text{ V}$, $E_3 = 3 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$,试求(1)电路中的电流 I ; (2) a 、 d 两点间的电压 U_{ad} 。

解 (1) 设定回路循行方向和电流参考方向如图所示。根据 $\sum I R = \sum E$ 得

$$I R_1 + I R_2 + I R_3 = E_1 - E_2 + E_3.$$

所以

$$I = (E_1 - E_2 + E_3) / (R_1 + R_2 + R_3) = (9 - 6 + 3) / 6 \times 10^3 = 10^{-3} \text{ A} = 1 \text{ mA},$$

$$(2) U_{ad} = E_1 - I R_1 = 9 - 10^{-3} \times 10^3 = 8 \text{ V}.$$

1—5 电路无源元件及其特性方程

电路是由电路元件联接组成的,各个元件都有其固有的性能。分析和计算电路,了解电路的运用情况和工作规律,必须先研究电路元件,了解元件的性能。本节将分析一些基本电路元件的性能及其特性方程。

一、电阻元件

电阻元件是从对电流呈现阻力而且损耗电能的实际电气器件中抽象出来的理想化模型,表征其性能的参数为电阻 R ,因此,电阻元件亦称电阻。

根据欧姆定律 $u = i R$, R 为常数, u 与 i 成正比。因此,由欧姆定律定义的电阻元件称为线性电阻元件。欧姆定律的表示式,亦即线性电阻的特性方程式。 u 和 i 可以是时间 t 的函数,也可以是常量(直流)。

长直金属导体的电阻值,可由下式计算

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$