

高等学校教学用书

电工 与
电子技术

荣西林 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书

电工与电子技术

荣西林 主编

北 京
冶金工业出版社
2001

内 容 简 介

本书是根据 1995 年国家教委审批的“电工技术(电工学Ⅰ)、电子技术(电工学Ⅱ)课程教学基本要求”进行编写的。主要包括直流电路、交流电路、三相交流电路、线性电路暂态分析、安全用电、电工测量、磁路和变压器、异步电动机、直流电动机、控制电器与控制系统;半导体器件、交流放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡器、数字电路、整流电路和直流稳压电路、可控硅及其应用等。每章均附有习题和答案。

本书可作为高等工科院校非电专业电工学课程的教材或教学参考书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/荣西林主编. —北京:冶金工业出版社, 2001.3

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-2716-3

I. 电… II. 荣… III. ①电工技术-高等学校-教学参考资料②电子技术-高等学校-教学参考资料
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 09025 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 俞跃春 美术编辑 王耀忠 责任校对 符燕蓉 责任印制 刘 静

北京昌平百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2001 年 3 月第 1 版, 2001 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 29.75 印张; 721 千字; 467 页; 1-7000 册

38.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是在教研室集体编写的电工学系列教材的基础上,根据 1995 年国家教育委员会颁发的“电工技术(电工学Ⅰ)、电子技术(电工学Ⅱ)课程教学基本要求”及面向 21 世纪教学内容而编写的。本书可作为高等工科院校非电专业“电工技术”和“电子技术”课程的教材。

电工学是高等工科院校非电专业一门重要的技术基础课。通过对电工与电子技术课程的学习,学生在掌握基本知识、基本理论的基础上,进而提高实验手段、实践技能及实践经验,了解电工技术发展的概况,并为学习专业课程及毕业后从事工程技术工作及科学研究工作打下一定的理论基础和实践基础。在编写过程中,我们力图把内容的重点放在培养学生分析问题和解决问题的能力上。因而,对基本概念、基本理论、工作原理、分析方法都作了必要的和适当的阐述、解释,并通过实例及例题从理论上和实际应用上加以说明,使学生对所学理论能更好地理解 and 掌握,并了解电工与电子技术的发展与生产实际发展间的紧密关系。

全书分:上篇电工技术 10 章;下篇电子技术 7 章。参加本书编写工作的有荣西林、王文学、刘晓志、吴春俐、孙萍、袁可为、肖军、张石、王良等。荣西林担任主编,宋君烈副教授担任主审。

本书承蒙北京工商大学孙骆生教授仔细审阅,并提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于水平所限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

上篇 电工技术

1 直流电路	1
1.1 电路和电路主要物理量	1
1.2 电路的基本定律	5
1.3 电路的几种状态和电气设备额定值	9
1.4 电压源、电流源及其等效变换	10
1.5 电路中电位的分析	15
1.6 线性网络的分析方法	17
1.7 非线性电阻电路	28
小结	29
习题	30
2 交流电路	38
2.1 正弦交流电的基本性质	39
2.2 正弦交流量的矢量表示法和复数表示法	43
2.3 单一参数的交流电路	49
2.4 RLC 串联交流电路	56
2.5 阻抗的串联、并联与混联	63
2.6 功率因数的提高	70
2.7 复杂交流电路的分析与计算	72
2.8 交流电路中的谐振	75
2.9 非正弦周期电压和电流	81
小结	85
习题	86
3 三相交流电路	93
3.1 三相交流电源	93
3.2 三相电路中负载的连接	96
3.3 三相电路的功率	105
小结	107
习题	108
4 线性电路的暂态分析	112
4.1 电路中的稳态与暂态	112
4.2 换路定律与初始值和稳态值的计算	113
4.3 RC 一阶电路的暂态分析	115
4.4 RL 一阶电路的暂态分析	126

4.5	分析暂态过程的三要素法	132
4.6	微分电路与积分电路	134
	小结	136
	习题	136
5	安全用电	143
5.1	电气安全知识	143
5.2	接地与接零	145
6	电工测量	151
6.1	磁电系仪表	151
6.2	电磁系仪表	153
6.3	电动系仪表	155
6.4	感应系仪表——交流电度表简介	156
7	磁路和变压器	158
7.1	磁路的基本概念和基本定律	158
7.2	交流铁心线圈电路	163
7.3	变压器	166
	小结	175
	习题	176
8	异步电动机	177
8.1	概述	177
8.2	异步电动机的构造	177
8.3	异步电动机的转动原理	179
8.4	异步电动机的极对数和转速	182
8.5	异步电动机的定子电路和转子电路	183
8.6	异步电动机的电磁转矩和机械特性	187
8.7	异步电动机的铭牌数据	192
8.8	异步电动机的启动	195
8.9	异步电动机的调速	199
8.10	异步电动机的制动	200
	小结	202
	习题	203
9	直流电动机	205
9.1	直流电动机的构造	205
9.2	直流电动机的工作原理	206
9.3	直流电动机的机械特性	209
9.4	他励直流电动机的启动、反转和调速方法	211
	习题	215
10	控制电器与控制系统	216
10.1	概述	216

10.2 常用低压控制电器·····	216
10.3 电动机的点动和直接启动控制线路·····	224
10.4 正反转控制线路·····	226
10.5 行程开关和行程控制·····	228
10.6 时间控制·····	229
10.7 顺序控制与多地控制·····	231
小结·····	232
习题·····	232
习题答案·····	234
附录·····	238

下篇 电子技术

1 半导体器件 ·····	243
1.1 半导体的导电特性及 PN 结的形成 ·····	243
1.2 半导体二极管 ·····	247
1.3 稳压二极管 ·····	250
1.4 半导体三极管 ·····	252
小结·····	260
习题·····	261
2 基本放大电路 ·····	263
2.1 交流放大电路的基本工作原理 ·····	263
2.2 交流放大电路的分析方法 ·····	265
2.3 静态工作点的稳定 ·····	272
2.4 阻容耦合多级放大电路 ·····	276
2.5 直接耦合多级放大电路 ·····	279
2.6 差动放大电路 ·····	281
2.7 放大电路中的负反馈 ·····	289
2.8 功率放大电路 ·····	296
2.9 场效应管及其基本放大电路(简介) ·····	302
小结·····	307
习题·····	308
3 集成运算放大器 ·····	315
3.1 集成运算放大器 ·····	315
3.2 运算放大器应用电路的分析方法 ·····	319
3.3 基本运算电路 ·····	323
3.4 运算放大器在其他方面的应用 ·····	331
小结·····	334
习题·····	336
4 正弦波振荡器 ·····	341

4.1	自激振荡条件	341
4.2	RC 正弦波振荡器	342
4.3	LC 正弦波振荡器	344
4.4	石英晶体振荡器	346
	习题	348
5	数字电路	350
5.1	引言	350
5.2	分立元件门电路	351
5.3	晶体管——晶体管集成逻辑(TTL)电路	356
5.4	MOS 逻辑门电路	363
5.5	组合逻辑电路	367
5.6	双稳态触发器	379
5.7	时序逻辑电路	384
5.8	脉冲波形的产生和整形	392
5.9	模拟量和数字量间的转换	400
5.10	可编程逻辑器件(PLD)简介	405
	小结	417
	习题	418
6	整流电路和直流稳压电源	423
6.1	单相桥式整流电路	423
6.2	滤波电路	427
6.3	简单稳压电路	430
6.4	串联式稳压电路	433
6.5	集成稳压电源	434
	习题	435
7	可控硅及其应用	439
7.1	可控硅元件	439
7.2	可控整流电路	443
7.3	触发电路	448
7.4	可控硅的保护	450
7.5	可控硅控制系统	451
	习题	454
	习题答案	455
	附录	460
	参考文献	467

上篇 电 工 技 术

1 直 流 电 路

任何电设备或系统,简单的如局部照明,复杂的如自动生产线,尽管所采用的元器件多种多样,其结构和功能各不相同,但都必须构成这样或那样的电路,让电流按人们的要求在电路中流动,以实现能量或信息的传递、转换或处理。为能了解各种电设备或系统的工作原理、特性和状态,从而正确、合理和更有成效地利用它们,就必须具备有关电路的基本知识。

电路有各种各样,简单的如电阻串、并联电路,而较复杂的电路常称为网路或网络。由供电电源可把电路分为直流(direct current-dc)和交流(alternating current -ac)两大类;按照元件的性质电路可分为线性电路(linear circuit)和非线性电路(non-linear circuit);根据所处理的信号是随时间连续变化的还是脉冲数字型的,电路又可分为模拟电路(analog circuit)和数字电路(digital circuit)。

直流电一般指大小和方向都不随时间变化的电压或电流,有时又泛指单方向脉动或缓慢变化的电量;交流电通常指按正弦规律变化的电量,但有时也泛指正负对称的非正弦波形的电压或电流。

电路又有各种工作状态,如稳定状态(稳态),过渡状态(暂态)等。当电路接通、断开或其中元件参数值改变时,电路状态总要发生变化,经过一段时间后稳定下来,达到稳定状态。从一种稳定状态到另一种稳定状态的变化过程,称为过渡过程。而各中间状态称为暂态。一般情况下,我们考虑的是稳定状态。而在脉冲数字电路和自动调节系统中,暂态分析是非常重要的。

上述各种类型的电路和工作状态将在以后逐一讨论。在本章中首先复习几个表征电路工作状态的主要物理量,并对复杂多样的实际设备和系统进行抽象、简化,把具体的元、器件按其主要物理性质,归纳为几种理想元件,用由它们构成的电路模型代替实际电路;然后讨论电路的基本定律和分析计算方法。

1.1 电路和电路主要物理量

1.1.1 电路和电路模型

电路是电流流经的路径。实际电路是由电器设备和元件组成的。图 1-1(a)是一个简单实际电路。电路的作用是实现电能的传输、分配及信号的传递和处理。随着电流的通过,进行着将其他形式的能量转换成电能,以及把电能转换成其他形式能量的过程。用抽象的理想元件代替实际元件,从而构成了与实际电路相对应的电路模型,如图 1-1(b)所示。

电路一般由下列三个部分组成:电源、负载和中间环节。

电源是将其他形式的能量转换成电能的设备。例如发电机和蓄电池等。

负载是将电能转换成其他形式能量的设备。例如电动机和电灯等。

中间环节是由输电线路、变压器和开关等设备组成。中间环节将电源和负载连接起来,对电能进行输送和分配,对信号进行传递和处理,对电路进行保护等。

图 1-1 就是一个简单实际电路。其中蓄电池(电源)经导线(中间环节)向白炽灯(负载)供电。

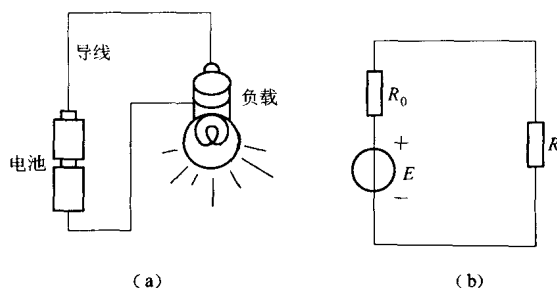


图 1-1 简单实际电路和模型

(a)—实际电路;(b)—电路模型

无论是简单的还是复杂的实际电路都可以抽象成理想电路元件组成的电路模型。理想电路元件包括:电阻、电感、电容和理想电源等元件。

1.1.2 电路的主要物理量

电路的主要物理量指电流、电压、电位、电动势等,其定义在物理学中描述的很清楚。在此仅扼要地说明它们的基本概念及参考方向(正方向)设定的意义。

1.1.2.1 电流

在电路中电荷的定向有规则运动形成电流。习惯上把正电荷运动的方向定为电流的实际方向。

在一段电路中,电流有两个可能的方向,为便于分析计算,把其中的一个方向假定为正,称为正方向或参考方向。当电流的正方向与实际方向一致时,电流的值为正;反之,电流的正方向与实际方向相反时,电流的值为负,如图 1-2 所示。这样,在电路中设定电流的正方向,结合代数式,就可能明确地表示出该段电路任何时刻的电流大小和实际方向。在电路图中用箭头或双下标表示电流正方向。

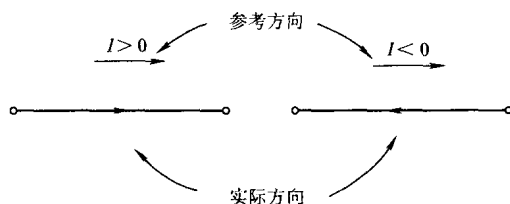


图 1-2 电流的方向

描述电流强弱的物理量称为电流强度,简称电流。电流强度以单位时间通过导体横截面的电量表示,即

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

如果电流强度不随时间变化,即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$,则这种电流称为恒定电流,简称直流。用大写 I 表示,其大小为

$$I = q/t \quad (1-2)$$

电流强度的单位用安培(A)、毫安(mA)、微安(μA)表示,大电流用千安(kA)表示,其关系为

$$\begin{aligned} 1\text{A} &= 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} \\ 1\text{kA} &= 10^3\text{A} \end{aligned}$$

1.1.2.2 电压和电位

电压是描述电场力移动电荷做功的本领的物理量。如图 1-3 所示, a 和 b 分别是电源的正极和负极, a 、 b 之间存在电场,其方向由 a 指向 b 。如果用导线和负载(外接电路)把两个电极连接起来,则正电荷在电场力的作用下就会沿外电路从 a 流向 b ,即电场力对电荷作了功,也就是说 a 、 b 间存在有电压。 a 、 b 间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 移到 b 所作的功,其表示式为

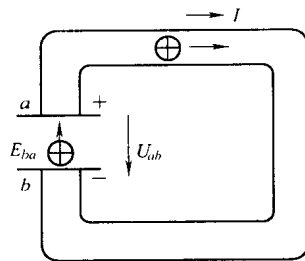


图 1-3 电荷运动的回路

$$U_{ab} = \frac{W_F}{q} \quad (1-3)$$

式中 W_F ——电场力所作的功;

q ——被电场力所移动的正电荷。

电压的单位为:焦耳/库仑=伏特(V)。根据各种电设备和电路的具体情况,也采用千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。其数值关系为:

$$\begin{aligned} 1\text{kV} &= 10^3\text{V} \\ 1\text{V} &= 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V} \end{aligned}$$

电压的实际方向规定为电场力移动正电荷做功的方向,即电位(或电压)降低的方向。在电路图上所标的电压方向是任意设定的。当电压 U 的方向(极性)与实际方向一致时, U 为正值。反之, U 为负值。

在电路中如有接地(或接机壳)点,而地(或机壳)的电位为零($U_G = 0$),则电路中任一点 A 对地(或机壳)的电压称为该点的电位(U_A)。在分析计算电路时常常假定电路中某一点的电位为零,该点称为参考点,则电路中任一点到参考点间的电压即为该点的电位。电位的单位也是伏特(V)。

在无源的元件中,正电荷总是从高电位处移向低电位处的。例如在图 1-3 中正电荷会从 a 点沿外电路移向 b 点,故 $U_a > U_b$,从而电压可以用电位差来表示:

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

电压也叫电位差或电压降。

1.1.2.3 电动势

电动势在数值上等于电源力将单位正电荷从低电位端(图 1-3 中的 b 点)经电源内部移到高电位端(图 1-3 中的 a 点)所作的功

$$E_{ba} = W_s/q \quad (1-5)$$

电动势的单位也是伏特(V)。

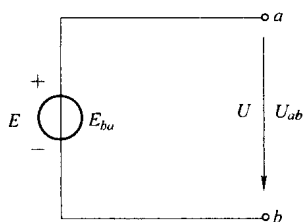


图 1-4 一种理想电源

电动势的实际方向规定为电源内部由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。同电流、电压一样,在电路图上所标的电动势的方向都是正方向(极性)。

如果忽略电源内电阻的作用,如图 1-4 所示,则电动势的数值等于从 b 到 a 电位升高的数值,即

$$E_{ba} = U_a - U_b$$

也可写为:

$$E_{ba} = U_{ab} \quad (1-6a)$$

这种电源是抽象出来的一种理想电源。

如果不使用下标,由图示正方向亦可表示成

$$E = U \quad (1-6b)$$

这就是说这种理想电源的端电压等于它的电动势。

1.1.2.4 电功率

根据焦耳定律可以推导出电功率等于电压和电流的乘积,即

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

由此式又可以推出

$$P = I^2 R = U^2 / R$$

功率的单位为瓦特(W),大的功率亦可以用千瓦(kW)和兆瓦(MW)。其关系为:

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

$$1\text{MW} = 10^6\text{W}$$

当电路某一元件中的电流从高电位端流向低电位端时,则表示电路元件在吸收功率,起负载作用。反之,如果电流从电路元件的低电位端流入,从高电位端流出时,则表示电路元件在发生功率,起电源作用。电源发生的功率为:

$$P = EI \quad (1-8)$$

在一个完整的电路内,功率服从能量守恒原理,即总的发生功率等于总的吸收功率。在图 1-5 所示电路中,电流 I 的实际方向与正方向一致。电流从 E_1 的高电位端(正极)流出,从低电位端(负极)流入, E_1 发生功率起电源作用。而电流从 E_2 的高电位端流入,从低电位端流出, E_2 吸收功率起负载作用,称 E_2 为反电势。而电阻 R_1 和 R_2 都吸收功率。所以功率平衡关系为:

$$E_1 I = E_2 I + I^2 R_1 + I^2 R_2$$

1.1.2.5 电能

电能等于功率乘以时间,即

$$W = Pt \quad (1-9)$$

电能的单位为瓦 $\times$ 秒=焦耳(J),测量电能的电度表的单位使用千瓦 $\times$ 小时(kW $\cdot$ h)。

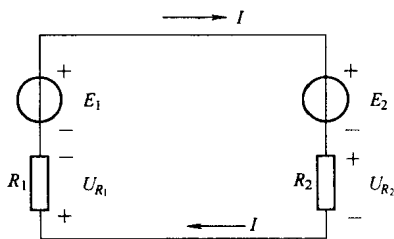


图 1-5 电路中电功率平衡关系

思考题

- 1-1 在图 1-6 中, 设 $U_1 = -10\text{V}$, 试问 a 、 b 两点哪点电位高?
 1-2 在上题中, 又设 $U_2 = 30\text{V}$, $U_3 = 15\text{V}$, 试问 $U_{ad} = ?$
 1-3 在图 1-6 中, 如果 I 为正值, 各元件起什么作用(发生还是吸收功率)?
 1-4 试写出图 1-6 电路中功率平衡关系式。

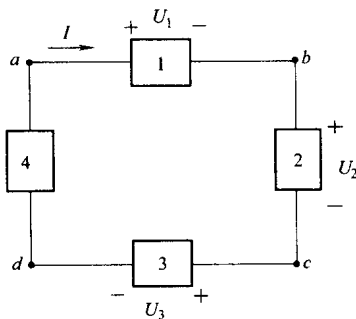


图 1-6 思考题 1-1 图

1.2 电路的基本定律

电路的基本定律有欧姆定律和基尔霍夫定律。欧姆定律说明一段电路上的电压和电流的关系, 而基尔霍夫定律概括了电路中各电压之间和电流之间分别遵循的基本规律。

1.2.1 欧姆定律

1.2.1.1 一段无源电路欧姆定律

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。对图 1-7 所示电路, 欧姆定律可用下式表示: 电压极性与电流方向一致时[图 1-7(a)]:

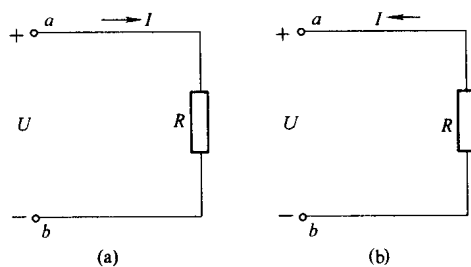


图 1-7 无源支路欧姆定律

(a)— U 与 I 正方向一致; (b)— U 与 I 正方向相反

$$U = IR$$

或

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-10)$$

电压极性与电流方向相反时[图 1-7(b)]:

注: 图 1-6 中方框符号“□”可以表示任何元件——电源或负载。

$$U = -IR \text{ 或 } R = -\frac{U}{I} \quad (1-11)$$

欧姆定律是通过实验得出的。

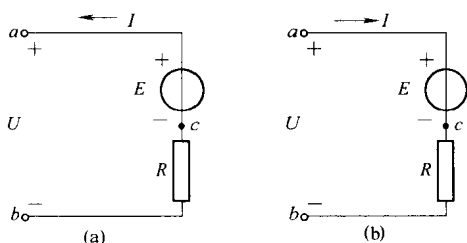


图 1-8 有源支路欧姆定律

1.2.1.2 有源支路欧姆定律

电路中每一分支称为支路。一条支路只流过一个电流。含有电源的支路称为有源支路。把欧姆定律应用在有源支路上是欧姆定律的推广。根据图 1-8 所示电路模型推导如下：

在图 1-8(a)中,电流方向与电动势极性一致,而与电压极性相反,此时

$$E = U_a - U_c$$

$$IR = U_b - U_c$$

两式相减得有源支路欧姆定律的表达式为

$$U_a - U_b = U = E - IR$$

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

在图 1-8(b)中,电流 I 的方向与电动势极性相反,与电压极性一致,此时

$$E = U_a - U_c$$

$$IR = U_c - U_b$$

两式相加得有源支路欧姆定律的表达式

$$U_a - U_b = U = E + IR$$

$$I = \frac{U - E}{R} \quad (1-13)$$

从公式(1-12)和(1-13)得知,电动势 E 和端电压 U 的符号与其极性的选定有关。

例 1-1 在图 1-9 电路中,已知 $E_1 = 2V, E_2 = 4V, R_1 = R_2 = 2\Omega$, 求电流 I 和电压 U 。

解: 电压和电流方向如图 1-9 所示,根据有源支路欧姆定律写出两个有源支路的电压与电流关系表达式

$$E_1 - IR_1 = U$$

$$E_2 + IR_2 = U$$

两式联立得 $E_1 - IR_1 = E_2 + IR_2$

所以

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

由此式可推广得出简单闭合电路欧姆定律的一般表达式:

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

式中的电动势,凡与电流 I 的正方向一致的取正号,反之取负号。

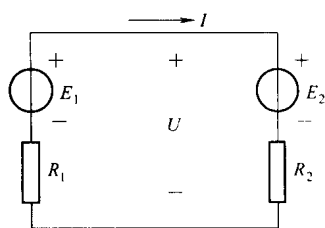


图 1-9 例 1-1 题图

将数据代入式(1-14)中,得

$$I = \frac{2-4}{2+2} = -0.5\text{A}$$

$$\text{电压 } U = E_1 - IR_1 = 2 - (-0.5) \times 2 = 3\text{V}$$

从例 1-1 的计算中得知,按电动势极性和电流的方向看, E_1 是电阻, E_2 是负载,但计算结果电流等于负值,表示电流的实际方向与正方向相反。实际上, E_1 是负载, E_2 是电源。

1.2.2 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是分析与计算电路的基本定律,基尔霍夫第一定律是电流定律,应用于节点。基尔霍夫第二定律是电压定律,应用于回路。现以图 1-10 所示的电路为例,说明节点、回路等名称的含义。

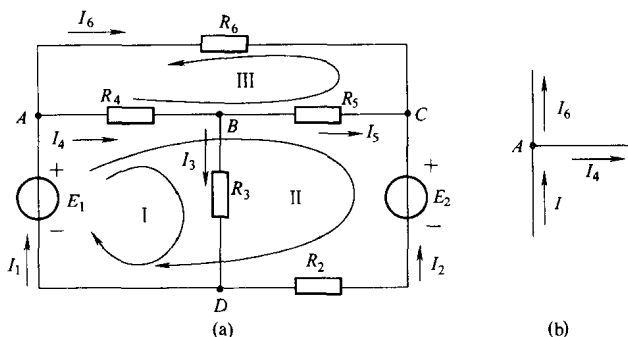


图 1-10 复杂电路举例

支路:电路中的每一分支称为支路,图 1-10 所示的电路中共有六条支路,每条支路中电流正方向如图所示。

节点:三条或三条以上支路的连接点称为节点,图 1-10 中的 A、B、C 和 D 都是节点。

回路:由若干个支路组成的闭合电路称为回路。图 1-10 中的 ABDA、ABCA 和 ABCA 都是回路,也可用回路 I、回路 II 和回路 III 表示,并以“ $\curvearrowright$ ”符号为标记。

1.2.2.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律用以描述电路中任一节点上各支路电流间的关系。即:在某一瞬间,流入节点电流之和等于流出该节点电流之和。对图 1-10 节点 A 可以写成

$$I_1 = I_4 + I_6 \quad (1-15)$$

或改写成

$$I_1 - I_4 - I_6 = 0 \quad (1-16)$$

即

$$\sum I = 0$$

这样 KCL 又可描述成:在任一瞬间,流入节点电流的代数和等于零。这里正方向流入节点的电流取正值,正方向流出节点的电流取负值。反之亦可。

若是用假想的封闭面包围电路中的一部分,如图 1-11 所示,则流入(或流出)封闭面的电流的代数和恒等于零,即

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

封闭面被看成广义节点。

1.2.2.2 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律用以描述回路内各部分电压间的关系。即在某一瞬时,沿任一回路绕行一周,回路中各段电压降的代数和恒等于零,即

$$\sum U = 0 \quad (1-17)$$

在写上式时,首先需要选定某回路的绕行方向(顺时针或逆时针)。凡电压降方向与回路绕行方向一致者,在式中该电压前取“+”号;电压降方向与回路绕行方向相反者,则电压前取“-”号。以图 1-12 为例各段电压降方向如图所示。取回路 I 和 II 的绕行方向为顺时针方向,则式(1-17)可写成

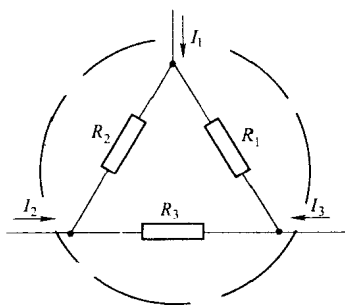


图 1-11 电流定律用于广义节点

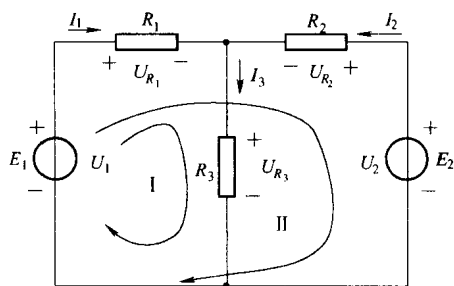


图 1-12 电压定律应用电路

对回路 I

$$U_{R_1} + U_{R_3} - U_1 = 0$$

对回路 II

$$U_{R_1} - U_{R_2} + U_2 - U_1 = 0$$

在电路分析过程中,有时电阻上的电压降不设极性(或方向),这时可根据电流方向而定:凡电流方向与回路绕行方向相同者,则电阻上的电压降取正号,反之取负号。

例 1-2 有一闭合回路如图 1-13 所示,已知

$U_{AB} = 10V$, $U_{CD} = -7V$, $U_{DA} = -15V$ 。试求:①

U_{BC} ;② U_{DB} 。

解: 根据 KVL 定律可以列出电压方程如下:

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$$

所以 $10 + U_{BC} + (-7) + (-15) = 0$

得 $U_{BC} = 12V$

ABDA 虽然不是闭合回路,也可以应用 KVL 定律,即

$$U_{DB} = U_{DA} + U_{AB} = -15 + 10 = -5V$$

$$\begin{aligned} \text{或 } U_{DB} &= +U_{DC} + U_{CB} = -U_{CD} - U_{BC} \\ &= -(-7) - 12 = -5V \end{aligned}$$

U_{DB} 等于负值,说明 U_{DB} 的实际极性和假设极性相反。

例 1-3 在图 1-14 电路中,各参数为: $I_2 = 2A$, $I_3 = 2A$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $U_{ab} = 24V$,

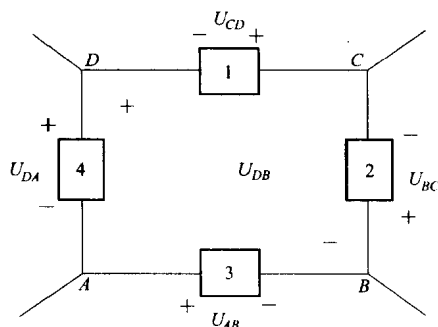


图 1-13 例 1-2 题图

$E_2 = 48\text{V}$, 求 I_1 、 E_1 及 R_3 。

解: 图 1-14 电路中 I_3 不为零, 说明 a 、 b 两端间实际上并没有开路。

对于节点 A , 由 KCL 定律可写出各支路电流关系式即节点电流方程为

$$I_1 = I_2 + I_3$$

所以

$$I_1 = 2 + 2 = 4\text{A}$$

对于回路 I, 根据 KVL 定律可写出电压方程式即回路电压方程为

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

得

$$\begin{aligned} E_1 &= I_1 R_1 + I_2 R_2 + E_2 = 4 \times 10 + 2 \times 6 + 48 \\ &= 100\text{V} \end{aligned}$$

对于回路 II, 可写出回路电压方程为

$$E_2 = U_{ab} + I_3 R_3 - I_2 R_2$$

求出

$$\begin{aligned} R_3 &= \frac{E_2 + I_2 R_2 - U_{ab}}{I_3} \\ &= \frac{48 + 2 \times 6 - 24}{2} = 18\Omega \end{aligned}$$

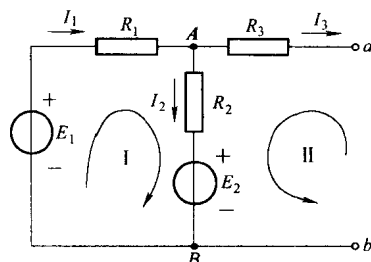


图 1-14 例 1-3 题图

1.3 电路的几种状态和电气设备额定值

图 1-15 是一个简单直流电路, 其中包括一个具有电动势 E 和内阻 R_0 的电源, 通过电阻为 R_1 的导线, 向负载电阻 R_L 供电, 开关 S 控制电源的接通和断开。下面讨论电路可能具有的各种工作状态。

1.3.1 负载状态

将图 1-15 中的开关 S 闭合, 把电源与负载接通, 电路的电流为:

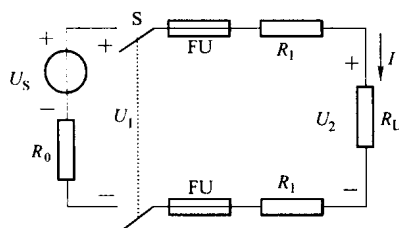


图 1-15 简单电路

$$I = \frac{U_s}{R_0 + 2R_1 + R_L}$$

负载从电源取用的功率为 $P_L = I^2 R_L$, 这就是电路的负载状态。

电源的端电压 $U_1 = U_s - IR_0$, 负载的端电压 $U_2 = IR_L$ 。线路上的电压损耗 $\Delta U_1 = 2IR_1$, 线路的功率损耗 $\Delta P_1 = 2I^2 R_1$, 电源内部的功率损耗 $\Delta P_S = I^2 R_0$ 。由此可见, 在负载状态下, 电源内部和线路上都有功率损耗。

当导线电阻 R_1 很小时, 线路的功率损耗和电压损耗可以忽略不计。如果电源内阻 R_0 也很小时, 电源的端电压 U_1 基本上不变, 所以负载的端电压也基本不变。因此, 当负载增加 (R_L 减小) 时, 电流 I 和负载消耗的功率都增加, 电源输出的功率和电流也增加, 就是说, 电源输出功率和电流的大小决定于负载的大小。

对于电源输出的功率和电流, 负载消耗的功率和电流, 都有一个限额。对导线和电气设