



高等学校教材

电工技术基础

北京化工学院
华东化工学院
吕砚山

合编

主编

化学工业出版社

高等学校教材

电工技术基础

北京化工学院 合编
华东化工学院

吕砚山 主编

化学工业出版社

内 容 提 要

本书是统编高等学校试用教材《电工技术基础》的修订本。该书是在化工部教育司的领导下,根据1979年2月在北京召开的十二院校《电工技术基础》教材编写会议所通过的编写大纲编写的,并经1980年1月在北京召开的十四院校审稿会议通过,作为高等工业学校生产过程自动化及精密仪器仪表类专业的试用教材,并可供从事实际工作的工程技术人员参考。

本书共分两大部分。第一篇为电路基础,包括直流电路、正弦交流电路、三相电路、非正弦周期电流电路、电路中的过渡过程、双口网络、网络拓扑与网络方程、计算机辅助直流电阻网络分析、非线性电阻电路、电工测量。第二篇为电机与控制,包括磁路和铁芯线圈电路、变压器、电动机概述、微电机、常用电器和电动机的自动控制、自动信号连锁保护电路,共计十六章。每章均附有小结、习题和答案,并列有参考文献。

高 等 学 校 教 材 电 工 技 术 基 础

北京化工学院 合编
华东化工学院

吕砚山 主编

责任编辑:施承薇

封面设计:任 辉

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $33^{3/4}$ 字数808千字印数1—8,170

1987年11月北京第1版1987年11月北京第1次印刷

统一书号15063·4031(KS-316)定价5.50元

修订版前言

本书第一版出版后受到各方关注,不少高等院校选用作为有关工业过程自动化及精密仪器仪表类专业的教材。经过六年来的教学实践,在总结已往教学经验的基础上,根据化工部教育司的安排,在化工出版社的大力支持下,进行了这次修订。

这次修订的依据之一是1984年在昆明讨论通过的由北京化工学院和华东化工学院负责制定的“生产过程自动化专业教育计划”。该计划肯定了作为主要课程教材之一的《电工技术基础》(第一版)的基本内容,并确定总学时为160左右。此外,在修订中还参考了1983年暑期在青岛举行的有16所高等院校参加的“化工部直属高等院校电工课程经验交流会”所提出的对修订本教材的意见。

本书这次修订的宗旨是基本体系不作大的变动,即仍采取以传统的基本内容为主,适当地反映现代理论和先进科学技术内容这种作法。为了加强基础理论并与本专业的特点相联系,根据六年来变化了的现实,适当地提高了起点水平,删去了在前期课程(例如数学、物理学等)中已学过的内容,对作为本课程基础理论的内容则相应加强:有些(例如受控源等)则采取前后呼应,密切联系;有些(例如状态变量分析方法、网络的计算机辅助分析、电工测量等)则进行增补。“网络的计算机辅助分析”一章是作为“网络拓扑与网络方程”一章的继续和应用,以便于理论与实际相联系。“电工测量”这一章是根据客观发展要求并参考国外情况而增加的。为便于按不同情况灵活掌握,书中仍列出了冠以*号的加深加宽内容,可供选授。章末的小结和列出的参考文献,可供教学参考。部分习题仍给出了答案,以期有助于自学。

参加这次修订工作的编者有北京化工学院吕砚山(第2、3、10、15、16章及附录2、3)、潘宝铭(第4、8、9章)、洪纯一(第13、14章),华东化工学院高敦嶽(第1、5、6章)、梁天白(第7章及附录1)、余宗廉(第11、12章及附录4、5)。全书由主编吕砚山整理。并由北京工业学院沈世锐教授担任主审。主审对本书的内容进行了仔细的审阅,并提出了许多宝贵的意见,编者在此致以衷心的感谢。

最后还应说明,本书的第一版是由科学技术文献出版社出版的。现在为了更好地适应今后的教学要求,在科学技术文献出版社的大力协助下,根据化工部教育司的安排,修订版教材改由化工出版社出版。编者在此向两出版社致以深厚的谢意。

由于编者水平有限,错误之处难免,敬希读者批评指正。

编者

1986年5月于北京

第一版前言

本书是在化工部教育司的领导下,根据十二所高等院校于1979年2月在北京举行的“电工技术基础”教材编写会议的决定,按照一致通过的编写大纲编写的。可作为高等学校工业过程自动化及精密仪器仪表类专业试用教材,还可供有关工程技术人员参考。

“电工技术基础”是工业过程自动化及精密仪器仪表类专业的主要课程之一,总学时约为170(其中讲课时数为128)。根据这类专业教学计划的安排,“电子技术基础”单独设课。因此,本书内容由电路基础和电机与控制两大部分组成。考虑到专业的实际和今后发展要求,本书以传统的基本内容为主,加强基础理论,适当反映近代理论和先进技术内容,并结合专业的特点,为学习后续课程和从事实际工作打好基础。鉴于这类专业的情况不尽相同,书中有些内容(冠以*号者)是供选授的,在教学上可以灵活掌握。

本书由北京化工学院和华东化工学院编写。其中北京化工学院吕砚山同志编写了第2章(1至14节)、第3章、第13章、第14章及附录1、3、4。潘宝铭同志编写了第2章的15、16两节、第4章、第8章及附录2。洪纯一同志编写了第11章、第12章。华东化工学院高敦狱同志编写了第1章、第5章及第6章。梁天白同志编写了第7章。余宗廉同志编写了第9章、第10章及附录5、6。全书由主编吕砚山同志整理。并由北京工业学院沈世锐同志担任主审。王泽恕同志参加了书稿的部分初审工作。参加本书审稿会议的其他单位是(以校名笔划为序):山东化工学院、天津大学、北京化纤工学院、华东石油学院、吉林化工学院、沈阳化工学院、武汉化工学院、河北化工学院、郑州工学院、南京化工学院、浙江大学。主审和参加审稿工作的同志,认真负责地审阅书稿并提出了许多宝贵的意见。编者谨向他们表示衷心的感谢。

在编写过程中,得到了清华大学唐统一同志和华东化工学院王春田同志的帮助和指导。特约编辑李诵雪同志为本书进行了编辑加工。北京化工学院张晏春、赵子江等同志为本书绘图。编者亦向他们表示衷心的感谢。

由于时间十分仓促,水平有限,不妥或错误之处难免,敬希读者批评指正。

编者

1980年2月于北京

目 录

第一篇 电路基础

第一章 直流电路	1
第一节 电路模型 线性电阻与非线性电阻.....	1
第二节 电压和电流的参考方向.....	2
第三节 电路的基本定律.....	3
第四节 电路的工作状态 额定值.....	8
第五节 负载获得最大功率的条件	10
第六节 电阻的串联、并联和混联.....	11
第七节 电压源、电流源以及电源的等效互换.....	15
第八节 电桥电路.....	20
第九节 网络分析概述	21
第十节 支路电流法.....	22
第十一节 网孔电流法.....	25
第十二节 节点电位法.....	29
第十三节 叠加原理.....	33
第十四节 置换定理.....	37
第十五节 戴维南定理与诺顿定理.....	39
第十六节 $Y-\Delta$ 网络的等效变换	43
第十七节 受控源及含有受控源电路的分析.....	46
本章小结.....	50
习题.....	52
习题答案.....	61
本章参考文献.....	63
第二章 正弦交流电路	64
第一节 正弦交流电的基本概念.....	64
第二节 正弦交流电的表示方法.....	69
第三节 正弦交流电路引言.....	75
第四节 纯电阻电路.....	76
第五节 纯电容电路.....	78
第六节 纯电感电路.....	82
第七节 欧姆定律和克希荷夫定律的复数形式.....	84
第八节 电阻、电感、电容串联电路.....	87
第九节 电阻、电感、电容并联电路.....	89

第十节 复数阻抗和复数导纳的等效转换	90
第十一节 正弦交流电路的功率和功率因数	92
* 第十二节 线性网络基本定理的交流表达形式	97
第十三节 正弦交流电路的分析方法	100
第十四节 对偶电路	107
第十五节 谐振电路	109
第十六节 互感电路	117
本章小结	124
习题	126
习题答案	134
本章参考文献	136
第三章 三相交流电路	137
第一节 三相交流电路的基本概念	137
第二节 三相四线制电源及其特点	138
第三节 三相负载及其接入电源的原则	140
第四节 对称三相电路	141
第五节 不对称三相电路的概念	145
第六节 三相电路的功率	146
* 第七节 三相负载的Y— Δ 变换	147
本章小结	149
习题	150
习题答案	151
本章参考文献	152
第四章 非正弦周期电流电路	153
第一节 概述	153
第二节 周期函数分解为傅里叶级数	154
第三节 非正弦周期电流的平均值、有效值和平均功率	160
第四节 非正弦周期电流电路的计算	162
本章小结	168
习题	169
习题答案	170
本章参考文献	171
第五章 电路中的过渡过程	172
第一节 概述	172
第二节 R 与 C 串联电路的过渡过程	174
第三节 一阶电路过渡过程解的一般形式	184
第四节 RC 电路的应用举例	186
第五节 R 与 L 串联电路的过渡过程	190
第六节 R 、 L 、 C 串联电路的过渡过程	197

第七节	拉普拉斯变换及其基本性质	207
第八节	拉普拉斯反变换	210
第九节	运算法	213
* 第十节	阶跃函数和阶跃响应	218
* 第十一节	单位冲激函数和冲激响应	221
* 第十二节	对任意形式激励的响应	223
第十三节	状态变量分析方法	224
本章小结		228
习题		230
习题答案		237
本章参考文献		240
第六章 双口网络		241
第一节	概述	241
第二节	双口网络的基本方程和参数	242
第三节	双口网络的开路、短路入端阻抗	252
第四节	双口网络的特性阻抗	255
第五节	双口网络的等效电路	256
第六节	双口网络的联接	258
本章小结		262
习题		262
习题答案		265
本章参考文献		265
第七章 网络拓扑与网络方程		266
第一节	概述	266
第二节	网络的图	266
第三节	图的矩阵表示	268
第四节	克希荷夫定律的矩阵形式	272
第五节	通用支路方程	273
第六节	网络方程	276
* 第七节	特勒根定理	289
本章小结		292
习题		293
习题答案		295
本章参考文献		298
第八章 计算机辅助直流电阻网络分析		299
第一节	概述	299
第二节	计算机辅助直流线性电阻网络分析	299
第三节	计算机辅助直流非线性电阻网络分析	309
本章小结		313

习题	314
习题答案	315
本章参考文献	318
第九章 非线性电阻电路	319
第一节 概述	319
第二节 非线性电阻电路的图解法	321
第三节 非线性电阻电路的解析法	324
* 第四节 晶体三极管的微变等效电路	325
本章小结	327
习题	327
习题答案	329
本章参考文献	329
第十章 电工测量	330
第一节 概述	330
第二节 直读式指示仪表的工作原理	331
第三节 电流、电压和功率的测量	335
第四节 万用表	338
第五节 比较式测量仪表	341
第六节 数字式仪表	344
第七节 非电量电气测量	346
本章小结	348
习题与思考题	349
习题答案	350
本章参考文献	350

第二篇 电机与控制

第十一章 磁路和铁芯线圈电路	351
第一节 磁场的基本物理量	351
第二节 磁性材料及其磁化特性	353
第三节 磁路及其基本定律	356
第四节 恒定磁通无分支磁路的计算	359
* 第五节 恒定磁通有分支磁路的计算	363
第六节 交流铁芯线圈电路	364
第七节 具有直流励磁的交流铁芯线圈	370
本章小结	372
习题与思考题	373
习题答案	376
本章参考文献	376

第十二章 变压器	377
第一节 变压器的基本结构和工作原理.....	377
第二节 变压器的等效电路和相量图.....	383
第三节 变压器的特性.....	386
第四节 干扰与屏蔽.....	388
第五节 几种常用的变压器.....	389
* 第六节 小功率电源变压器的设计计算.....	394
本章小结.....	398
习题与思考题.....	399
习题答案.....	401
本章参考文献.....	401
第十三章 电动机概述	402
第一节 三相异步电动机.....	402
第二节 同步电动机简介.....	418
第三节 直流电动机简介.....	419
本章小结.....	424
习题与思考题.....	425
习题答案.....	426
本章参考文献.....	426
第十四章 微电机	427
第一节 概述.....	427
第二节 单相异步电动机.....	427
第三节 微型同步电动机.....	433
第四节 两相交流伺服电动机.....	442
第五节 直流伺服电动机和直流力矩电动机.....	451
第六节 步进电动机.....	453
第七节 测速发电机.....	458
* 第八节 自整角机.....	462
本章小结.....	465
习题与思考题.....	465
习题答案.....	466
本章参考文献.....	467
第十五章 常用电器和电动机的自动控制	468
第一节 概述.....	468
第二节 继电器.....	468
第三节 接触器.....	474
第四节 其它常用电器.....	476
第五节 电动机的自动控制.....	480
本章小结.....	485

习题与思考题.....	486
本章参考文献.....	488
第十六章 自动信号联锁保护电路	489
第一节 概述.....	489
第二节 信号转换装置和声光报警电器.....	489
第三节 信号联锁电路的基本环节.....	492
第四节 闪光信号报警电路.....	495
第五节 联锁保护电路.....	497
* 第六节 无触点自动信号联锁保护电路.....	503
本章小结.....	510
习题与思考题.....	511
本章参考文献.....	513
附录一 矩阵	514
附录二 若干常用电器的型号规格	519
附录三 常用电机、电器的图形符号	525
附录四 GEIB型硅钢片规格表	528
附录五 几种圆形漆包铜线规格表	

第一篇 电 路 基 础

第一章 直 流 电 路

第一节 电路模型 线性电阻与非线性电阻

电流流通的路径叫电路。实际应用的电路种类很多,形式和结构也各不相同,但其作用大致有以下两方面:一是应用电路进行信号变换、传输和处理,电路的这种作用在自动控制和计算技术等领域中得到广泛的应用。二是进行电能量的传输和分配并实现与其他形式能量的互相转换,电力系统就是一个典型例子。

电路理论的内容包括分析和研究电路中所发生的电磁现象与过程,探讨电路的基本规律和计算方法。

在分析和研究电路时,为了突出重点,抓住主要矛盾,我们把具体的实际电路抽象为由理想电路元件组成的电路模型。所谓理想电路元件也是一些简单的模型,是指在理论上具有某种确定物理性质的元件,它是由定义来精确地加以表征的。例如电阻是表征消耗电能理想电路元件,当电流通过它时,将发生电能转换成热能的不可逆过程。同样,电感是表征储存磁场能量的理想电路元件;电容是表征储存电场能量的理想电路元件。

实际电路元件通常不可能做到只具有一种物理性质。例如电阻器的主要特性应该是变电能成热能,但是这个特性只是近似的,因为任何电流都要建立磁场,这就使得电阻器要储存一些能量于磁场中。通常它所储存的磁场能量是很小的,在分析电路时可以略而不计,这样,我们就可以把电阻器用电阻这一模型来表示。

电路理论中,根据电阻的特性把电阻分成线性电阻和非线性电阻两类。对于一个线性电阻,它的电阻值 R 与通过它的电流和所施加的电压无关,即 $R = \frac{U}{I}$ 是一个常量。非线性

电阻则相反,它的电阻值与通过它的电流和所施加的电压大小有关,即 $R = \frac{U}{I}$ 不是常量。

电路元件的特性常用该元件上的电压 U 和电流 I 之间函数关系来说明,这种函数关系称为元件的伏安特性。如果在直角坐标系中,画出电压和电流的关系曲线,这种曲线称为元件的伏安特性曲线。线性电阻的两端电压与电流成正比关系,所以它的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线,如图 1-1 所示。它的电阻值可由直线的斜率来确定,是一个常数。非线性电阻上的电压与电流不成正比,所以它的伏安特性是一条曲线,图 1-2 所示为半导体二极管的伏安特性曲线。可以看出,在曲线不同点 A 、 B 上,电压与电流的比值是不同的,即电阻的大小随电压或电流大小而改变,因此,二极管可视为一种非线性电阻。

严格地说,线性电阻是不存在的。例如,电阻器通过不同的电流时,电阻器的温度不

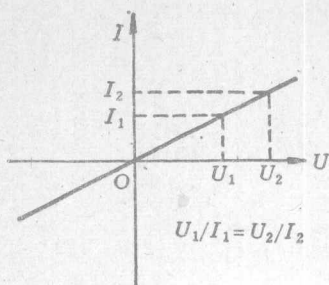


图 1-1 线性电阻的伏安特性

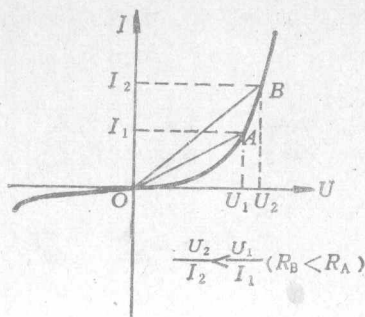


图 1-2 半导体二极管的伏安特性

同, 这样它的电阻也要跟着变化, 不能保持常数。所以, 实际电阻元件的电阻都具有一定的非线性, 但是在一定的运用范围内, 它们的电阻值随通过的电流变化很小, 因此, 可以用线性电阻作为它们的模型。

电路理论中研究由理想电路元件构成的电路时, 所采用的术语“电感、电容、电阻”以及表示它们的符号“ L 、 C 、 R ”, 一方面是表示电路元件本身, 另一方面也是表示元件的参数。 R 、 L 、 C 都是无源元件, 其中 L 和 C 是储能元件, R 是耗能元件。

第二节 电压和电流的参考方向

在分析电路时, 明确地了解关于电压和电流的参考方向的意义是十分重要的。我们知道, 电流的实际方向规定为正电荷移动的方向, 而电压的实际方向(或极性)规定与电场的方向相同, 即从高电位指向低电位。但是, 在分析和计算电路时, 电流、电压的实际方向有时难以事先确定或有时难以在电路图中确切标出, 例如, 交流电路中的电流、电压方向随时间变化, 很难在图上表示出它的真实方向。因此, 为了分析上的方便, 有必要假设一个电流和电压的参考方向。实际方向可能与参考方向相同, 也可能相反。当电流、电压的实际方向与参考方向一致时, 它们的数值为正值, 反之, 若电流、电压的实际方向与参考方向相反, 则定为负值。这样, 电流、电压可能为正也可能为负, 所以它们都是代数量。应该注意, 在未规定参考方向的情况下, 电流、电压的正负是没有意义的。参考方向又称为正值的方向, 简称为正方向。

参考方向可以任意选定, 在电路中, 电流、电压的参考方向可以用实线箭头($\rightarrow$)表示, 箭头的方向对于电流则表示它的流向, 对于电压则表示从高电位指向低电位。参考方向还可以用双下标法表示, 例如 U_{ab} 和 I_{ab} 分别指电压和电流的参考方向由 a 到 b 。为了不使实际方向与参考方向相混淆, 实际方向在电路图中不必标出, 如果需要, 可以用虚线箭头($\cdots\rightarrow$)表示。

电路元件上电压、电流参考方向选定的不同, 所得到某些物理量表示式的形式也就不一样。例如, 图 1-3 所示电阻元件上电压、电流的参考方向选定为一致, 它的欧姆定律的表示式为: $R = \frac{U}{I}$; 电阻元件所吸收功率的表示式为: $P = UI$ 。

如果按图 1-4 所示, 电压、电流的参考方向不一致, 则欧姆定律的表示式为: $R = -\frac{U}{I}$;

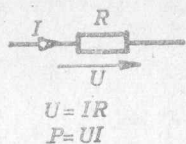


图 1-3 电压、电流参考方向一致

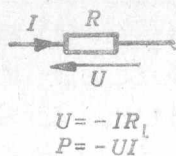


图 1-4 电压、电流参考方向相反

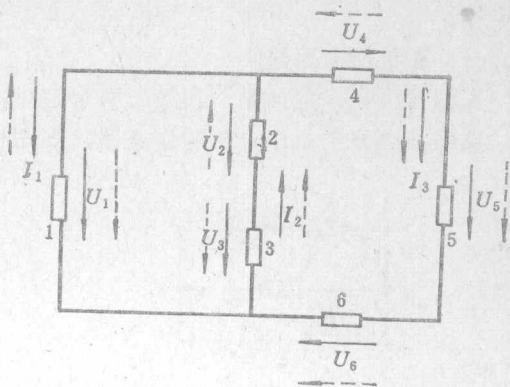


图 1-5 例1-1电路

电阻元件吸收的功率应为： $P = -UI$ ，它们都增加了一个负号。

在分析电路时，电路元件上电压、电流的参考方向通常选定为一致。

例题 1-1 图1-5所示电路中，方框代表电源或电阻，若各电压、电流的参考方向如上图所示，并已知 $I_1 = -1\text{A}$ ， $I_2 = 2\text{A}$ ， $I_3 = 3\text{A}$ ， $U_1 = 4\text{V}$ ， $U_2 = 2\text{V}$ ， $U_3 = -6\text{V}$ ， $U_4 = -5\text{V}$ ， $U_5 = 2\text{V}$ ， $U_6 = 7\text{V}$ 。

- (1) 试画出各电压和各电流的实际方向；
- (2) 试计算各个方框所代表电路元件所消耗或产生的功率；
- (3) 试判断哪几个方框可以代表电源，哪几个方框可能为电阻元件。

解 (1) 电压、电流的实际方向如图1-5中虚线所示。

- (2) $P_1 = U_1 I_1 = 4 \times (-1) = -4\text{W}$ ，产生功率
 $P_2 = -U_2 I_2 = -(-2) \times 2 = 4\text{W}$ ，消耗功率
 $P_3 = -U_3 I_2 = -6 \times 2 = -12\text{W}$ ，产生功率
 $P_4 = U_4 I_3 = (-5) \times 3 = -15\text{W}$ ，产生功率
 $P_5 = U_5 I_3 = 2 \times 3 = 6\text{W}$ ，消耗功率
 $P_6 = U_6 I_3 = 7 \times 3 = 21\text{W}$ ，消耗功率

这个电路消耗的总功率 $= P_2 + P_5 + P_6 = 31\text{W}$

产生的总功率 $= P_1 + P_3 + P_4 = 31\text{W}$

由此可见，消耗的总功率与产生的总功率相等，达到了功率平衡。

(3) 产生功率的电路元件为电源，所以，1、3、4三个方框可以代表电源。消耗功率的电路元件可以等效为电阻元件，所以，2、5、6三个方框可以用电阻元件来表征。

第三节 电路的基本定律

欧姆定律、克希荷夫定律和焦耳定律是电路的三个基本定律。这三个定律充分揭示了直流电路中各物理量之间的关系。在本章的网络分析中，所采用的各种分析方法以及简化复杂网络的一些重要原理和定理，都是以这些基本定律为依据的。这些定律除适用于直流电路的分析外，原则上也适用于其它电路。因此，我们掌握电路的基本定律及其应用是十

分重要的。由于物理中对欧姆定律已作了详细讨论，所以在这里仅介绍克希荷夫定律和焦耳定律。

一、克希荷夫定律①

克希荷夫定律包括第一和第二两个定律，下面先介绍几个名词。

支路 电路中每个分支叫作支路，如图1-6所示电路中 abc 、 ac 、 adc 都是支路。该电路有三条支路。

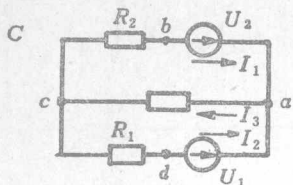


图 1-6 两个电源的电路

节点 三个或三个以上支路的连接点叫作节点，图1-6中的 a 和 c 都是节点。支路就是连接两个节点之间的一段电路。

回路 电路中任一闭合路径称为回路。图1-6中 $abca$ 、 $acda$ 、 $abcda$ 都是回路，该电路有三个回路。

1. 克希荷夫电流定律 (KCL)

克希荷夫电流定律又称为第一定律，即：在任一时刻，流入任一节点的电流总和等于流出该节点的电流总和。对于图1-6中的 a 节点我们可写出

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

上式可写成

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1-2)$$

由式(1-2)可见，克希荷夫电流定律也可表述为：在任一时刻，对于任一节点，它的电流的代数和恒等于零。用数学式表示为

$$\sum I = 0 \quad (1-3)$$

这里若将流出节点的电流规定为正，那么流入节点的电流则为负。电流定律体现了在节点上电荷既不能产生也不能消灭的原理，即任一时刻，流入节点的电荷之和必然等于流出节点的电荷之和，从而表现出电流的连续性。

电流定律原是运用于节点的，我们也可以把它推广到电路中的任一假设的封闭面。例如在图1-7所示封闭面所包围的电路中，有三条支路与电路的其余部分（未画出）相连接，由于电流的连续性，该封闭面的电流代数和也应为零。即

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

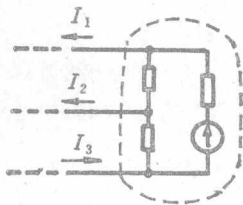


图 1-7 克希荷夫电流定律的推广

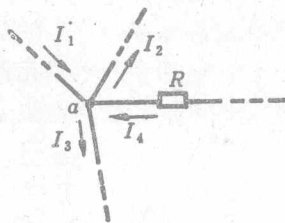


图 1-8 例题1-2电路

① Kirchhoff's Law, 有的书中译为基尔霍夫定律。

在运用克希荷夫电流定律时,必须标出所有电流的参考方向,对于未知电流,参考方向是任意假设的。在写节点电流方程时,是以电流参考方向为准的。

克希荷夫电流定律与各支路中所接的元件性质无关,同时,它对于线性电路或非线性电路都是适用的。

例题 1-2 图1-8表示一个复杂电路中的一个节点 a ,电流的参考方向如图中所设,已知 $I_1=5$ 安, $I_2=2$ 安, $I_3=-3$ 安,试求电流 I_4 。

解 根据克希荷夫电流定律可得

$$-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

即

$$-5 + 2 + (-3) - I_4 = 0$$

解之得

$$I_4 = -6\text{A}$$

I_4 得到负值,说明 I_4 的实际方向与参考方向相反。

通过上述例题可以看到,在运用电流定律时,会遇到两种正负符号,其一是电流方程中各项前的正负符号,它取决于电流的参考方向与节点的相对关系,若将流出电流取为正,则流入就为负。另一是电流数值本身正负号,它取决于电流的实际方向与参考方向间的关系,相同者为正,相反者为负。两种符号不应混淆。

2. 克希荷夫电压定律 (KVL)

克希荷夫电压定律又称为第二定律。即:在任一时刻,电路中任一回路各段电压的代数和等于零,即

$$\sum U = 0$$

在运用克希荷夫定律列写回路电压方程时,需要规定一个循行回路的方向,凡电压的参考方向与循行方向一致者,该项电压前面取正号,电压参考方向与循行方向相反者,前面取负号。例如图1-9中各段电压参考方向已在图中标出,电压定律可写为

$$U_I - U_{II} - U_{III} + U_{IV} - U_V = 0 \quad (1-4)$$

克希荷夫电压定律也可以用来列写电路中任意两点间的电压。例如在图1-9中,我们沿右边路径计算 ad 间的电压为

$$U_{ad} = U_I - U_{II} - U_{III} \quad (1-5)$$

如果沿左边路径计算 ad 之间的电压,则得

$$U_{ad} = U_V - U_{IV} \quad (1-6)$$

(1-5)式和(1-6)式应该相等

即

$$U_I - U_{II} - U_{III} = U_V - U_{IV}$$

或

$$U_I - U_{II} - U_{III} + U_{IV} - U_V = 0$$

显然得到与式(1-4)有相同的结果。

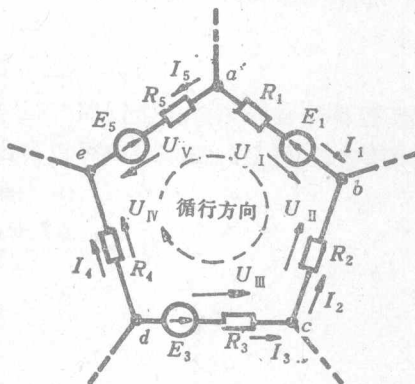


图 1-9 克希荷夫电压定律

利用欧姆定律并按图 1-9 所示电流参考方向, 可将各段电压写为

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{I}} &= I_1 R_1 + E_1 \\ U_{\text{II}} &= I_2 R_2 \\ U_{\text{III}} &= -E_3 + I_3 R_3 \\ U_{\text{IV}} &= I_4 R_4 \\ U_{\text{V}} &= I_5 R_5 + E_5 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

将式 (1-7) 代入式 (1-4), 并整理得

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 + I_4 R_4 - I_5 R_5 = -E_1 - E_3 + E_5$$

由上式可见, 克希荷夫电压定律又可以表述为: 任一时刻, 在电路的任一回路中, 电阻上电压的代数和等于电动势的代数和。由此可以写成

$$\Sigma(IR) = \Sigma E \quad (1-8)$$

其中, 凡电动势方向和循行方向一致者取正号, 方向相反者取负号。同样, 凡电流的参考方向与循行方向一致者, 该项 (IR) 取正号, 相反者则取负号。

克希荷夫电压定律也和回路中所接元件的性质无关, 无论是线性电路还是非线性电路它们都是普遍适用的。

例题 1-3 图 1-10 所示是某复杂电路中的三个支路。若 $E_1=2$ 伏, $E_2=6$ 伏, $E_3=4$ 伏, $R_1=1.5$ 欧, $R_2=1.6$ 欧, $R_3=1.2$ 欧。按图示电流的参考方向, 已知 $I_1=1$ 安, $I_2=-3$ 安。

试求 (1) 电流 I_3 ; (2) 电压 U_{AC} 和 U_{CD} 。

解 根据克希荷夫电流定律

$$-I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

所以

$$I_3 = -I_1 - I_2 = -1 - (-3) = 2\text{A}$$

图示电路中虽未形成闭合回路, 但 A 、 C 、 D 三点中任二点间的电压可以利用克希荷夫电压定律加以确定, 由该定律可以写出

$$U_{AC} + I_3 R_3 - I_1 R_1 = E_3 - E_1$$

$$U_{CD} + I_2 R_2 - I_3 R_3 = -E_2 - E_3$$

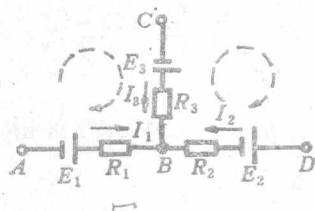


图 1-10 例题 1-3 电路

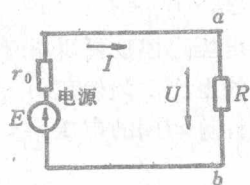


图 1-11 负载电阻与电源相连

因此得

$$U_{AC} = E_3 - E_1 + I_1 R_1 - I_3 R_3 = 4 - 2 + 1 \times 1.5 - 2 \times 1.2 = 1.1\text{V}$$

$$U_{CD} = -E_2 - E_3 - I_2 R_2 + I_3 R_3 = -6 - 4 - (-3) \times 1.6 + 2 \times 1.2 = -2.8\text{V}$$

由上述例题可以看到, 在应用电压定律时, 也要遇到两种正负符号。一是方程中各项前的符号, 其正负视各元件电压的参考方向与循行方向是否一致而定, 一致者取正号, 相反者取负号。另一是每项电压数值本身所具有的符号, 视电压的实际方向与参考方向是否