

普通高等教育智能建筑规划教材
普通高等教育“十三五”规划教材

建筑电工学

(少学时)

主编 苏刚



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育智能建筑规划教材
普通高等教育“十三五”规划教材

建筑电工学

(少学时)

主 编 苏 刚



机械工业出版社

本书是根据教育部颁发的《电工学课程教学基本要求》，结合建筑类各非电专业的特点编写的。在掌握电工电子基础知识的基础上，侧重基础知识在建筑上的应用，突出工程性和实用性。

本书主要包括电路理论的基本知识、变压器与电动机、电气设备与控制、建筑电气、模拟电子技术基础及数字电子技术基础等部分内容。

本书适合于建筑类专业本科及高职高专的电工学课程。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作教材的教师登录 www.cmpedu.com 注册下载，或发邮件到 jinacmp@163.com 索取。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑电工学：少学时 / 苏刚主编. 北京：机械工业出版社，2016.7
普通高等教育智能建筑规划教材
ISBN 978-7-111-54123-3

I. ①建… II. ①苏… III. ①建筑工程—电工—高等学校—教材 IV. ①TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 158126 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：吉玲 责任编辑：吉玲 张利萍 王小东

责任校对：张玉琴 封面设计：张静

责任印制：李洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2016 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·15.25 印张·371 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-54123-3

定价：34.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

前 言

本书是根据电工学课程教学的基本要求，结合建筑类院校的特点而编写的学科基础课教材。书中对电工技术必要的基本概念和基础理论做了比较全面的阐述，同时对变压器、常用低压电器、异步电动机及其典型控制等进行了介绍；另外，详细阐述了建筑电气的基本知识；最后介绍了模拟电子及数字电子基础等内容。

本书力求让读者了解电工技术在建筑中的具体应用，内容力求少而精，以实用为原则，为学习后续课程以及从事与本专业有关的工程技术等工作打下一定的基础。

根据作者的教学经验，本书内容安排如下：

1. 电工技术基础部分：主要介绍了电路的基本物理量及电路的分析方法。

2. 变压器及电动机部分：介绍了变压器的结构及单相、三相变压器的工作原理，同时重点介绍了三相异步电动机的工作原理、机械特性，并对其起动、调速和制动等内容做了介绍。

3. 电气控制部分：阐述了低压电器及继电器控制的基本知识及 PLC 的工作原理。结合建筑类专业的特点，介绍了典型的电动机及建筑设备继电器控制和 PLC 控制系统。

4. 建筑电气部分：介绍了建筑供配电、安全用电、建筑防雷、建筑识图的基本知识，使得建筑类非电专业的读者能够对建筑电气有所了解，对本专业的施工和设计起到很好的协调作用，增强了本书的实用性。

5. 模拟电子部分主要介绍了基本放大电路。

6. 数字电子部分主要介绍了门电路和组合逻辑电路。

书中编写了一定数量的例题和习题。这些题目主要是针对教学内容的重点和难点展开，具有一定的典型性、示范性和启发性，能更好地引导学生掌握本课程的主要理论和基本概念，培养学生解决工程中实际问题的能力。

本书由天津城建大学组织编写。苏刚任主编，负责全书的策划、组织和统稿工作，并编写第 4、5、6 章；第 1、2、3 章由王秀丽编写；第 7 章由彭桂力编写；第 8 章由天津华夏建筑设计有限公司宋明辉编写；第 9 章由季中编写；第 10 章由王英红编写；第 11 章由潘雷编写。

由于作者水平有限，书中出现缺陷在所难免，希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 直流电路 1

1.1 电路的作用与组成部分 1

1.2 电路的基本物理量 2

1.2.1 电流 2

1.2.2 电压 2

1.2.3 电动势 2

1.3 电压和电流的参考方向 3

1.3.1 电流的参考方向 3

1.3.2 电压与电动势的参考方向 3

1.3.3 关联参考方向 4

1.4 欧姆定律 4

1.5 电源的状态 4

1.5.1 电源有载工作 5

1.5.2 电源开路 6

1.5.3 电源短路 7

1.6 基尔霍夫定律 7

1.6.1 基尔霍夫电流定律 7

1.6.2 基尔霍夫电压定律 8

1.7 电路中电位的概念及计算 10

1.8 电阻串并联等效变换 11

1.8.1 电阻的串联 11

1.8.2 电阻的并联 12

1.9 电源的两种模型 12

1.9.1 电压源模型 12

1.9.2 电流源模型 13

1.10 支路电流法 14

1.11 叠加定理 15

1.12 戴维南定理 17

习题 18

第 2 章 正弦交流电路 21

2.1 正弦电压与电流 21

2.1.1 频率和周期 22

2.1.2 幅值和有效值 22

2.1.3 初相位 24

2.2 正弦量的相量表示法 25

2.3 电阻元件、电感元件与电容元件 27

2.3.1 电阻元件 27

2.3.2 电感元件 28

2.3.3 电容元件 29

2.4 单一参数的交流电路 30

2.4.1 电阻元件的交流电路 30

2.4.2 电感元件的交流电路 31

2.4.3 电容元件的交流电路 34

2.5 电阻、电感与电容元件串联的交流
电路 37

2.6 阻抗的串联与并联 41

2.6.1 阻抗的串联 41

2.6.2 阻抗的并联 42

2.7 复杂正弦交流电路的分析与计算 44

2.8 功率因数的提高 45

习题 47

第 3 章 三相交流电路 51

3.1 三相电压 51

3.2 负载星形联结的三相电路 53

3.3 负载三角形联结的三相电路 57

3.4 三相功率 58

习题 60

第 4 章 磁路和变压器 63

4.1 磁路 63

4.1.1 磁场的基本物理量 63

4.1.2 物质的磁性 64

4.1.3 磁路欧姆定律 66

4.2 交流铁心线圈 67

4.2.1 交流铁心线圈的工作原理 67

4.2.2 交流铁心线圈的功率损耗 68

4.3 单相变压器 69

4.3.1 单相变压器的工作原理 69

4.3.2 变压器的外特性	73	6.1.1 组合开关	108
4.3.3 变压器的功率损耗及效率	73	6.1.2 按钮	109
4.3.4 变压器的基本结构	74	6.1.3 交流接触器	109
4.3.5 变压器的极性	75	6.1.4 中间继电器	110
4.4 三相变压器	76	6.1.5 热继电器	110
4.4.1 三相变压器的工作原理	76	6.1.6 熔断器	111
4.4.2 三相绕组的连接方式	77	6.1.7 断路器	112
4.4.3 三相变压器的联结组	78	6.2 笼型电动机直接起动的控制电路	112
4.4.4 标准联结组	80	6.3 笼型电动机正反转控制	113
4.4.5 电力变压器的容量	81	6.4 行程控制	114
4.5 特殊变压器	81	6.5 时间控制	116
4.5.1 自耦变压器	81	6.6 典型控制电路举例	118
4.5.2 仪用互感器	82	6.6.1 加热炉自动上料控制电路	118
习题	83	6.6.2 带式输送机顺序控制系统	119
第5章 三相异步电动机	84	习题	121
5.1 三相异步电动机的构造	84	第7章 可编程序控制器及其应用	123
5.2 三相异步电动机的工作原理	85	7.1 可编程序控制器的基本概念	123
5.2.1 旋转磁场	86	7.1.1 可编程序控制器的结构	123
5.2.2 工作原理	88	7.1.2 可编程序控制器的工作原理	125
5.2.3 转矩平衡	90	7.1.3 可编程序控制器的工作方式	126
5.3.4 功率与效率	90	7.1.4 可编程序控制器的特点	127
5.3 三相异步电动机的转矩与机械特性	91	7.2 可编程序控制器的基本指令	127
5.3.1 固有机械特性	91	7.2.1 梯形图的特点	127
5.3.2 人工机械特性	93	7.2.2 基本指令	128
5.4 三相异步电动机的起动	94	7.3 可编程序控制器应用举例	133
5.4.1 起动性能	94	7.3.1 工作台往复运动	133
5.4.2 起动方法	94	7.3.2 带式输送机顺序控制	134
5.5 三相异步电动机的调速	97	习题	136
5.5.1 变频调速	98	第8章 建筑配电与用电安全	137
5.5.2 变极调速	98	8.1 电力系统概述	137
5.5.3 变转差率调速	99	8.1.1 基本概念	137
5.6 三相异步电动机的制动	99	8.1.2 电力系统的组成	138
5.6.1 能耗制动	99	8.1.3 三相交流电网和电力设备的额定电压	139
5.6.2 反接制动	100	8.1.4 供电质量要求	140
5.6.3 发电反馈制动	100	8.1.5 电力负荷的分级	141
5.7 三相异步电动机的铭牌数据	100	8.2 高、低压配电系统	141
5.8 三相异步电动机的选择	103	8.2.1 变电所系统常用电气设备	141
5.8.1 功率的选择	103	8.2.2 变配电所的主电路(主接线)图举例	145
5.8.2 电压和转速的选择	104	8.2.3 低压配电方式	147
5.8.3 种类和型式的选择	104	8.2.4 低压配电系统的结构和敷设	148
习题	106	8.3 安全用电	148
第6章 继电器-接触器控制系统	108		
6.1 常用控制电器	108		

8.3.1 电流对人体的伤害	149	10.3.2 主要参数	190
8.3.2 触电的形式	149	10.4 整流电路	191
8.3.3 漏电保护	150	10.4.1 单相半波整流电路	191
8.3.4 低压配电系统的接地	151	10.4.2 单相桥式整流电路	192
8.4 建筑防雷	156	10.5 晶体管	194
8.4.1 雷电及危害	156	10.5.1 基本结构	194
8.4.2 防雷类别	157	10.5.2 电流分配和放大原理	195
8.4.3 防雷措施	158	10.5.3 特性曲线	197
8.4.4 防雷装置	159	10.5.4 主要参数	199
习题	161	10.6 共发射极放大电路的组成	201
第9章 建筑电气施工图	162	10.7 放大电路的静态分析	202
9.1 建筑电气施工图概述	162	10.7.1 用放大电路的直流通路确定 静态值	203
9.1.1 电气施工图的特点	162	10.7.2 用图解法确定静态值	203
9.1.2 电气施工图的主要组成部分	163	10.8 放大电路的动态分析	204
9.2 强电施工图	164	10.8.1 图解法	205
9.2.1 电气系统图	164	10.8.2 微变等效电路法	207
9.2.2 电气平面图	165	10.9 静态工作点的稳定	211
9.2.3 电气施工图规定符号	165	习题	214
9.2.4 电气施工图常用标注方法	165	第11章 门电路与组合逻辑电路	217
9.2.5 电气强电施工图识读的一般要求和 方法	170	11.1 数制	217
9.2.6 电气照明施工图识读示例	172	11.2 基本和常用逻辑运算	218
9.3 建筑弱电实例分析	180	11.2.1 三种基本逻辑运算	218
9.3.1 通信系统	180	11.2.2 常用逻辑运算	220
9.3.2 有线电视系统	181	11.2.3 三态输出“与非”门	222
9.3.3 安全防范系统	181	11.3 逻辑代数	223
第10章 模拟电子技术基础	186	11.3.1 逻辑代数运算法则	223
10.1 半导体的导电特性	186	11.3.2 逻辑函数的表示方法	224
10.1.1 本征半导体	186	11.3.3 逻辑函数的化简	226
10.1.2 N型半导体和P型半导体	187	11.4 组合逻辑电路的分析与设计	227
10.2 PN结及其单向导电性	188	11.4.1 组合逻辑电路的分析	227
10.2.1 PN结的形成	188	11.4.2 组合逻辑电路的设计	229
10.2.2 PN结的特性	189	习题	231
10.3 二极管	189	部分习题答案	234
10.3.1 伏安特性	190	参考文献	238

本章从工程技术的观点出发,着重讨论电路的基本知识、基本定律和定理,以及应用这些定律和定理分析和计算直流电路的方法。这些内容不仅是分析与计算直流电路的基础,也同样适用于交流电路,而且还是分析电子电路的重要基础。

1.1 电路的作用与组成部分

电路就是电流的通路,它是为了某种需要由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。

电路的一种作用是实现能量的输送和转换,电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,最典型的例子是电力系统,其电路示意图如图 1-1a 所示。它的作用是实现电能的传输和转换,其中包括电源、负载和中间环节三个组成部分。

发电机是**电源**,是供应电能的设备。在发电厂内可把热能、水能或核能等转换为电能。除发电机外,电池也是常用的电源。

电灯、电动机、电炉等都是**负载**,也是取用电能的设备,它们分别把电能转换为光能、机械能、热能等。

变压器和输电线是**中间环节**,是连接电源和负载的部分,它起传输和分配电能的作用。

电路的另一种作用是**传递和处理信号**,常见的例子如扩音机,其电路示意图如图 1-1b 所示。先由传声器把声音信号转换为相应的电信号,然后通过放大电路将微弱的电信号放大,最后被放大的电信号通过电路传递到扬声器,把电信号还原为声音信号。由于由传声器输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间要用放大器进行放大。信号的这种转换和放大,称为**信号处理**。

在图 1-1b 中,传声器是输出信号的设备,称为**信号源**,相当于电源,但与上述的发电机、电池等电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律取决于所加的信息。扬声器是接收和转换信号的设备,也就是**负载**。

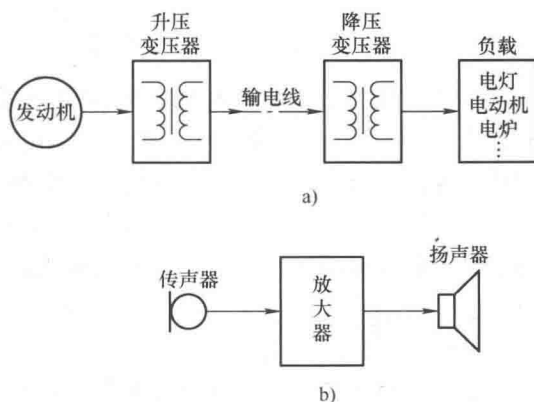


图 1-1 电路示意图

a) 电力系统 b) 扩音机

不论是电能的传输和转换，还是信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压或电流称为激励，它推动电路工作；由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析，就是在已知电路的结构和元器件参数的条件下，讨论电路的激励与响应之间的关系。

当电路中的电流是不随时间变化的直流电流时，这种电路称为直流电路。当电路中的电流是随时间按正弦规律变化的交流电流时，这种电路称为正弦交流电路。不随时间变化的物理量用大写字母表示，随时间变化的物理量用小写字母表示。因此，电流、电压和电动势等物理量在直流电路中用 I 、 U 、 E 等表示，在交流电路中用 i 、 u 、 e 等表示。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

单位时间内通过电路某一横截面的电荷 [量] 称为电流。因此，在直流电路中电流用 I 表示，它与电荷量 Q 、时间 t 的关系为

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

式中， Q 的单位为库仑 (C)； t 的单位为秒 (s)； I 的单位为安培 (A)。随时间变化的电流用 i 表示，它等于电荷量 q 对时间 t 的变化率，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向（实际方向），如图 1-2 所示，从电源来看，电源本身的电流通路称为内电路（图 1-2 点画线框中的电路），电源以外的电流通路称为外电路（图 1-2 点画线框外的电路）。在内电路中由电源负极流向正极，在外电路中由电源的正极流向负极。

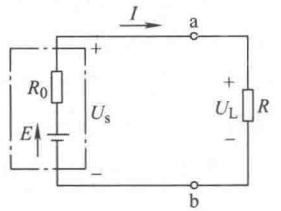


图 1-2 电路的基本物理量

1.2.2 电压

电场力将单位正电荷从电路的某一点移至另一点时所消耗的电能，即转换成非电形态能量的电能称为这两点间的电压。在直流电路中电压用字母 U 表示，单位也是伏特 (V)。在图 1-2 所示电路中， U_s 是电源两端的电压， U_L 是负载两端的电压。

电压的实际方向规定为由高电位指向低电位的方向，即电位降的方向，故电压有时又称电压降。在电路图中，用“+”和“-”表示电压的极性。“+”端为高电位端，“-”端为低电位端。

1.2.3 电动势

电源中的局外力（即非电场力）将单位正电荷从电源的负极移至电源的正极所转换而来的电能称为电源的电动势。在直流电路中用字母 E 表示。单位也是伏特 (V)。

电动势的实际方向规定由电源负极指向电源正极的方向，即电位升的方向。它与电源电压的实际方向是相反的，如图 1-2 中箭头所示。

在国际单位制中, 电流的单位为安培 (A)。当 1s (秒) 内通过导体某一横截面的电荷量为 1C (库仑) 时, 则电流为 1A。计量微小的电流时, 以毫安 (mA) 或微安 (μA) 为单位。 $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

在国际单位制中, 电压的单位是伏特 (V)。当电场力将 1C 正电荷从电路的某一点移至另一点时所做的功为 1J (焦耳) 时, 则该两点间的电压为 1V。计量微小的电压时, 则以毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 为单位。计量高电压时, 则以千伏 (kV) 为单位。电动势的单位与电压相同, 也是伏特 (V)。

1.3 电压和电流的参考方向

图 1-2 是最简单的直流电阻电路, 其中 E 、 U_s 和 R_0 分别为电源的电动势、端电压和内阻, R 为负载电阻。电流 I 、电压 U 和电动势 E 是电路的基本物理量, 在分析电路时必须要在电路图上用箭头或 “+” “-” 来标出它们的方向或极性 (如图中所示), 才能正确列出电路方程。

关于电压和电流的方向, 有实际方向和参考方向之分, 要加以区别。

1.3.1 电流的参考方向

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的方向 (实际方向)。电流的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时, 往往难于事先判断某支路中电流的实际方向; 对交流电路而言, 其实际方向是随时间不断变化的。为此, 在分析与计算电路时, 常可任意选定某一方向作为电流的参考方向。所选的电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其参考方向一致时, 则电流为正值 (图 1-3a); 反之, 当电流的实际方向与其参考方向相反时, 则电流为负值 (图 1-3b)。因此, 在参考方向选定之后, 电流值才有正负之分。

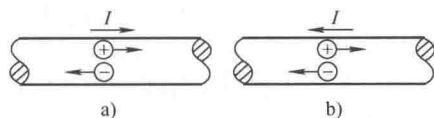


图 1-3 电流的参考方向
a) 正值 b) 负值

1.3.2 电压与电动势的参考方向

电压和电动势都是标量。但在分析电路时, 和电流一样, 也说它们具有方向。电压的方向规定为由高电位 (“+” 极性) 端指向低电位 (“-” 极性) 端, 即为电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位 (“-” 极性) 端指向高电位 (“+” 极性) 端, 即为电位升高的方向。

在电路图上所标的电流、电压和电动势的方向, 一般都是参考方向, 它们是正值还是负值, 视选定的参考方向而定。例如图 1-4 中电压 U 的参考方向与实际方向一致, 故为正值; 而 U' 的参考方向与实际方向相反, 故为负值。两者可写为 $U = -U'$; 电流亦然, $I = -I'$ 。

电压的参考方向除用极性 “+” “-” 表示外, 也可用双下标表示。例如图 1-2 中 a、b 两点间的电压 U_{ab} , 它

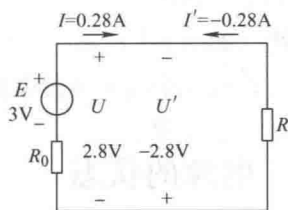


图 1-4 电压和电流的参考方向

的参考方向是由 a 指向 b，也就是说 a 点的参考极性为“+”，b 点的参考极性为“-”；如果参考方向选为由 b 指向 a，则为 U_{ba} ， $U_{ab} = -U_{ba}$ 。电流的参考方向也可用双下标表示。

1.3.3 关联参考方向

在选定的参考方向下，电压和电流都是代数量。今后在电路图中所画的电压和电流的方向都是参考方向。

原则上参考方向是可以任意选择的，但是在分析某一个电路元件的电压与电流的关系时，需要将它们联系起来选择，这样设定的参考方向称为**关联参考方向**。今后在单独分析电源或负载的电压与电流的关系时选用如图 1-5 所示的关联参考方向。其中电源电流的参考方向是由电压参考方向所假定的低电位经电源流向高电位；负载电流的参考方向是由电压参考方向所假定的高电位经负载流向低电位。符合这种规定的参考方向称为关联参考方向。

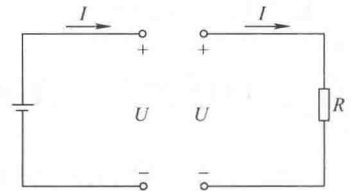


图 1-5 关联参考方向

1.4 欧姆定律

流过一段导体的电流与这段导体两端的电压成正比，与这段导体的电阻成反比，这就是**欧姆定律**。它是分析电路的基本定律之一。对图 1-6 的电路，欧姆定律可表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-3)$$

式中， R 即为该段电路的电阻。

由式 (1-3) 可见，当所加电压 U 一定时，电阻 R 越大，则电流 I 越小。显然，电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质。

在国际单位制中，电阻的单位是欧姆 (Ω)。当电路两端的电压为 1V，通过的电流为 1A 时，则该段电路的电阻为 1Ω 。计量高电阻时，则以千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 为单位。

式 (1-3) 所表示的电流和电压的正比关系，是通过实验得出的。通过测量电阻两端的电压值和流过电阻的电流值，绘出的是一条通过坐标原点的直线，称为线性电阻的**伏安特性曲线**，如图 1-7 所示。因此，遵循欧姆定律的电阻称为**线性电阻**，它是一个表示该段电路特性而与电压和电流无关的常数。

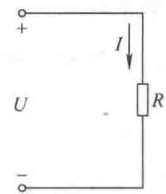


图 1-6 欧姆定律

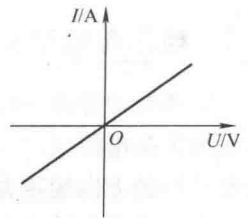


图 1-7 线性电阻的伏安特性曲线

1.5 电源的状态

电源在不同的工作条件下会处于不同的状态，并具有不同的特点。电源的状态主要有三

种，分别是：有载状态、开路状态和短路状态。现以直流电路（图1-8）为例，分别讨论电源的有载工作、开路与短路时的电流、电压和功率。此外，还将讨论电路中的几个概念问题。

1.5.1 电源有载工作

将图1-8中开关合上，接通电源与负载，这就是电源有载工作。下面分别讨论以下几个问题。

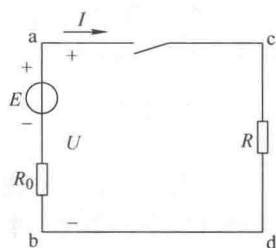


图1-8 电源有载工作

1. 电压和电流

应用欧姆定律可列出电路中的电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-4)$$

和负载电阻两端的电压

$$U = IR$$

并由此可以得出

$$U = E - R_0 I \quad (1-5)$$

由式(1-5)可见，电源端电压小于电动势，两者之差为电流通过电源内阻所产生的电压降 $R_0 I$ 。电流越大，则电源端电压下降得越多。表示电源端电压 U 与输出电流 I 之间关系的曲线，称电源的外特性曲线，如图1-9所示，其斜率与电源内阻有关。电源内阻一般很小。当 $R_0 \ll R$ 时，则

$$U \approx E$$

表明当电流（负载）变动时，电源的端电压变动不大，这说明它带负载能力强。

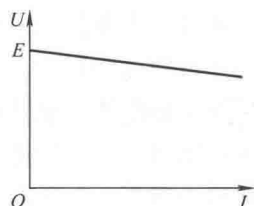


图1-9 电源的外特性曲线

2. 功率与功率平衡

(1) 功率 单位时间内所转换的电能称为电功率，简称功率。在直流电路中用字母 P 表示。在国际单位制中，功率的单位是瓦特 (W) 或千瓦 (kW)。1s 内转换的能量即为 1W。

根据电压和电动势的定义，电源产生的电功率为

$$P_E = EI \quad (1-6)$$

电源输出的电功率为

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

负载消耗（取用）的电功率为

$$P_L = U_L I \quad (1-8)$$

负载的大小通常用负载取用功率的大小来说明。

此外，在图1-8所示电路中，电流通过电源内电阻 R_0 时还会产生功率损耗 $R_0 I^2$ 。

(2) 电能 在时间 t 内转换的电功率称为电能。在直流电路中电能用 W 表示，它与功率和时间的关系为

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

电能的单位是焦耳 (J)。

工程上电能的计量单位为千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$), 1 千瓦时即 1 度电, 它与焦的换算关系为 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

(3) 功率平衡 式 (1-5) 各项乘以电流 I , 则得功率平衡式

$$P = P_E - \Delta P \quad (1-10)$$

式中, $P_E = EI$, 是电源产生的功率; $\Delta P = R_0 I^2$, 是电源内阻上损耗的功率; $P = UI$, 是电源输出的功率。即在一个电路中, 电源产生的功率和负载取用的功率以及内阻上所损耗的功率是平衡的。

3. 电源与负载的判别

分析电路, 还要判别哪个电路元件是电源 (或起电源作用), 哪个元件是负载 (或起负载作用)。

根据电压和电流的实际方向可确定某一元件是电源还是负载, 即

电源: U 和 I 的实际方向相反, 电流从 “+” 端流出, 发出功率;

负载: U 和 I 的实际方向相同, 电流从 “+” 端流入, 取用功率。

4. 额定值与实际值

各种电气设备在工作时, 其电压、电流和功率都有一定的限额, 这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的, 称为电气设备的额定值。额定值通常在铭牌上标出, 使用时必须遵守这些规定。如果实际值超过额定值, 将会引起电气设备的损坏或降低使用寿命; 如果低于额定值, 某些电气设备也会损坏或降低使用寿命, 或者不能发挥正常的功能。通常当实际值都等于额定值时, 电气设备的工作状态称为额定状态。当实际功率或电流大于额定值时称为过载, 小于额定值时称为欠载。

【例 1-1】 有一额定值为 220V/60W 的白炽灯, 接在 220V 的电源上, 试求通过该灯的电流和该灯的电阻。如果每天用 3h (小时), 问一个月消耗多少电能?

【解】

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

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

也可用 $R = \frac{P}{I^2}$ 或 $R = \frac{U^2}{P}$ 计算。

一个月用电

$$W = Pt = 60\text{W} \times (3 \times 30)\text{h} = 0.06\text{kW} \times 90\text{h} = 5.4\text{kW} \cdot \text{h}$$

1.5.2 电源开路

例如在图 1-8 中, 当开关 S 断开时, 电源处于开路 (空载) 状态。开路时外电路的电阻对电源来说等于无穷大, 因此电路中电流为零。这时电源的端电压 (称为开路电压或空载电压 U_0) 等于电源电动势, 电源不输出电能。

如上所述, 电源开路时的特征可用下列各式表示, 即

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

1.5.3 电源短路

在图 1-8 所示电路中, 当电源的两端由于某种原因而连在一起时, 电源则被短路, 如图 1-10 所示。电源短路时, 外电路的电阻可视为零, 电流有捷径可通, 不再流过负载。因为在电流回路中仅有很小的电源内阻 R_0 , 所以这时的电流很大, 此电流称为**短路电流 I_s** 。短路电流可能使电源遭受机械的与热的损伤或毁坏。短路时电源所产生的电能全被内阻所损耗。

电源短路时由于外电路的电阻为零, 所以电源的端电压也为零。这时电源的电动势全部降在内阻上。

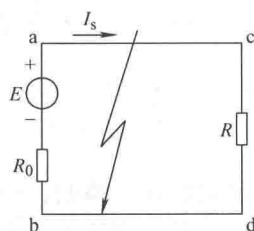


图 1-10 电源短路

如上所述, 电源短路时的特征可用下列各式表示, 即

$$\left. \begin{aligned} U &= 0 \\ I &= I_s = \frac{E}{R_0} \\ P_E &= \Delta P = R_0 I^2 \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

短路也可发生在负载端或线路的任何处。

短路通常是一种严重事故, 应该尽力预防。产生短路的原因往往是由于绝缘损坏或接线不慎, 因此经常检查电气设备和线路的绝缘情况是一项很重要的安全措施。此外, 为了防止短路事故所引起的后果, 通常在电路中接入熔断器或断路器, 以便发生短路时, 能迅速将故障电路自动切除。但是, 有时由于某种需要, 可以将电路中的某一段短路 (常称为短接) 或进行某种短路实验。

1.6 基尔霍夫定律

分析与计算电路的基本定律, 除了欧姆定律外, 还有基尔霍夫电流定律和电压定律。基尔霍夫电流定律应用于**节点**, 电压定律应用于**回路**。

电路中的每一分支称为**支路**, 一条支路流过同一个电流, 称为支路电流。在图 1-11 中共有三条支路。

电路中三条或三条以上的支路相连接的点称为**节点**。在图 1-11 所示的电路中共有两个节点: a 和 b。

回路是由一条或多条支路所组成的闭合电路。图 1-11 中共有三个回路: adbca、abca 和 abda。

网孔是指未被其他支路分割的单孔回路, 如图 1-11 中的 abca 和 abda。

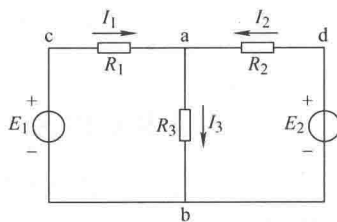


图 1-11 电路举例

1.6.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律是用来确定连接在同一节点上的各支路电流间关系的。由于电流的连续性, 电路中任何一点 (包括节点在内) 均不能堆积电荷。因此, 在任一瞬间, 流向某一

节点的电流之和应该等于由该节点流出的电流之和。

在图 1-11 所示的电路中, 对节点 a (图 1-12) 可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-13)$$

或将式 (1-13) 改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1-14)$$

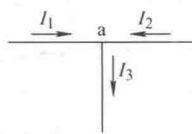


图 1-12 节点

就是在任一瞬间, 一个节点上的电流的代数和恒等于零。如果规定参考方向流入节点的电流取正号, 则流出节点的就取负号。

根据计算的结果, 有些支路的电流可能是负值, 这是由于所选定的电流的参考方向与实际方向相反所致。

基尔霍夫电流定律通常应用于节点, 也可以把它推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。

例如, 图 1-13 所示的闭合面包围的是一个三角形电路, 它有三个节点。应用电流定律可列出

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

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

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

上列三式相加, 使得

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

或

$$\sum I = 0$$

可见, 在任一瞬时, 通过任一闭合面的电流的代数和也恒等于零。

【例 1-2】 在图 1-14 中 $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = -3\text{A}$, $I_3 = -2\text{A}$, 试求 I_4 。

【解】 由基尔霍夫电流定律可列出

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

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

得

$$I_4 = 3\text{A}$$

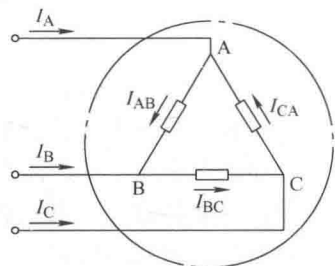


图 1-13 基尔霍夫电流定律的推广应用

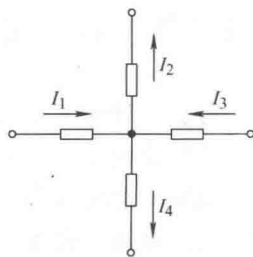


图 1-14 例 1-2 的电路

1.6.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律是用来确定回路中各段电压间关系的。如果从回路中任意一点出发, 以顺时针方向或逆时针方向沿回路循行一周, 则在这个方向上的电位降之和应该等于电位升之和。回到原来的出发点时, 该点的电位是不会发生变化的。

今以图 1-15 所示的回路 (即为图 1-11 所示电路的一个回路) 为例, 图中电源电动势、电流和各段电压的参考方向均已标出。按照虚线所示方向循行一周, 根据电压的参考方向可列出

$$U_1 + U_4 = U_2 + U_3$$

或将上式改写为

$$U_1 - U_2 - U_3 + U_4 = 0$$

$$\sum U = 0 \quad (1-15)$$

就是在任一瞬时，沿任一回路循行方向（顺时针方向或逆时针方向），回路中各段电压的代数和恒等于零。如果规定电位降取正号，则电位升就取负号。

上式也可改写为

$$E_1 - E_2 - I_1 R_1 + R_2 I_2 = 0$$

基尔霍夫电压定律不仅应用于闭合回路，也可以推广应用于回路的部分电路。现以图 1-16 所示的两个电路为例，根据基尔霍夫电压定律列出式子。

对图 1-16a 所示电路（各支路的元件是任意的）可列出

$$\sum U = U_{AB} - U_A + U_B = 0$$

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

对图 1-16b 的电路可列出

$$E - U - RI = 0$$

或

$$U = E - RI$$

这也就是一段有源（有电源）电路的欧姆定律的表示式。

应该指出，图 1-11 所举的是直流电阻电路，但是基尔霍夫两个定律具有普遍性，它们适用于由各种不同元件所构成的电路，也适用于任一瞬时对任何变化的电流和电压。

列方程时，不论是应用基尔霍夫定律或欧姆定律，首先都要在电路图上标出电流、电压或电动势的参考方向，因为所列方程中各项前的正负号是由它们的参考方向决定的，如果参考方向选得相反，则会相差一个负号。

【例 1-3】 有一闭合回路如图 1-17 所示，各支路的元件是任意的，但已知： $U_{AB} = 5V$ ， $U_{BC} = -4V$ ， $U_{DA} = -3V$ 。试求：

(1) U_{CD} ；(2) U_{CA} 。

【解】 (1) 由基尔霍夫电压定律可列出

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

$$5 + (-4) + U_{CD} + (-3) = 0$$

$$U_{CD} = 2V$$

得

(2) ABCA 不是闭合回路，也可应用基尔霍夫电压定律

列出

即

得

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = 0$$

$$5 + (-4) + U_{CA} = 0$$

$$U_{CA} = -1V$$

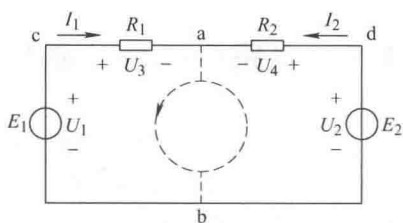


图 1-15 回路

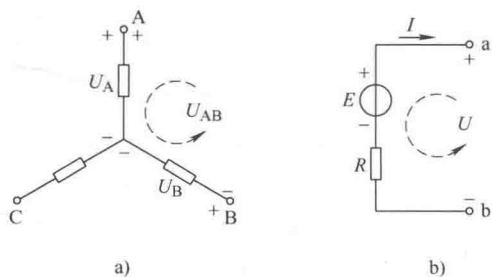


图 1-16 基尔霍夫电压定律的推广应用

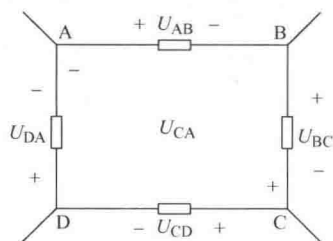


图 1-17 例 1-3 的电路

1.7 电路中电位的概念及计算

在分析电子电路时,通常要应用电位这个概念。电路中两点间的电压就是两点的电位差。前面只引出电压这个概念,电路中两点间的电压就是两点的电位差。它只能说明一点的电位高,另一点的电位低,以及两点的电位相差多少的问题。至于电路中某点的电位究竟是多少伏,将在本节讨论。

今以图 1-18 所示的电路为例,来讨论该电路中各点的电位。根据图 1-19 可得出

$$U_{ab} = V_a - V_b = 6 \times 10V = 60V$$

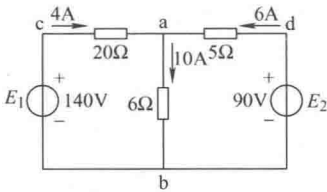


图 1-18 电路举例

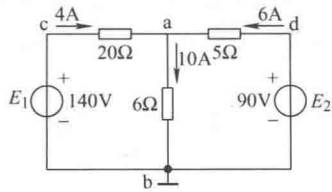


图 1-19 $V_b = 0$

这是 a、b 两点间的电压值或两点的电位差,即 a 点电位 V_a 比 b 点电位 V_b 高 60V,但不能算出 V_a 和 V_b 各为多少伏。因此,计算电位时,必须选定电路中某一点作为参考点,它的电位称为参考电位,通常设参考电位为零。而其他各点的电位同它比较,比它高的为正,比它低的为负。正数值越大则电位越高,负数值越大则电位越低。

参考点在电路图中标上“接地”符号。所谓“接地”,并非真与大地相接。

如将图 1-18 中 b 点“接地”,作为参考点(图 1-19),则

$$V_b = 0V, V_a = 60V$$

反之,若以 a 点为参考点,则

$$V_a = 0V, V_b = -60V$$

可见,某电路中任意两点间的电压值是一定的,是绝对的;而各点的电位值因所设参考点的不同而有异,是相对的。

图 1-19 也可以简化为图 1-20a 或图 1-20b 所示电路,不画电源,各端标以电位值。

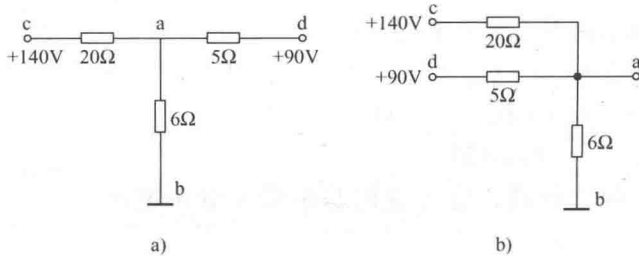


图 1-20 图 1-19 的简化电路

【例 1-4】 计算图 1-21a 所示的电路中 B 点的电位。

【解】 图 1-21a 的电路也可化成图 1-21b 的电路。以 D 为参考点