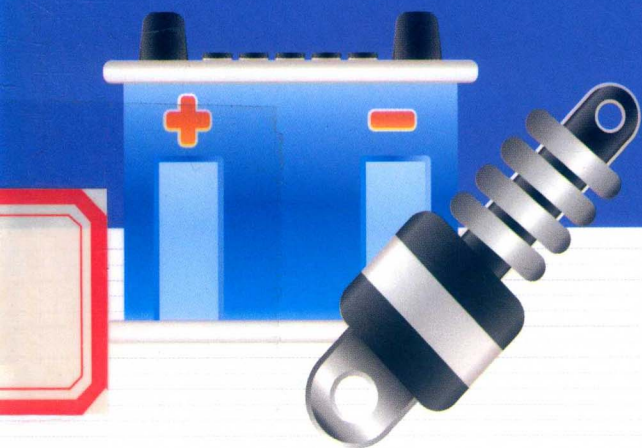


普通高等教育“十二五”规划教材

电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

主编 赵伟 申利民 何军



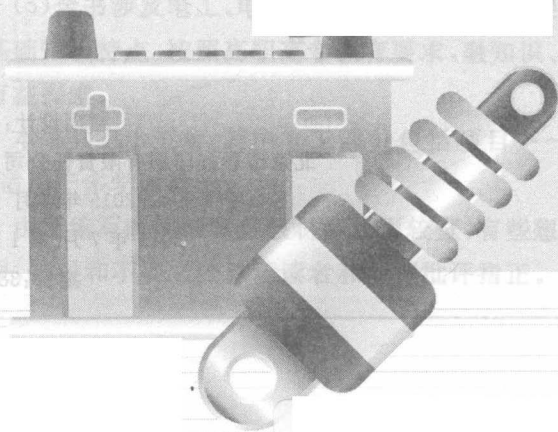
吉林大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

主 编 赵 伟 申利民 何 军
副主编 卞忠英 程 曦 戴永军 孙尚宏



吉林大学出版社

地址:长春市南湖大路201号
吉林出版集团有限责任公司
发行部 电话:0431-8290028
网址: www.jlqp.com.cn
E-mail: jlqp@mail.jlu.edu.cn

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/赵伟,申利民,何军主编. —长春:
吉林大学出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-5677-4102-7

I. ①电… II. ①赵… ②申… ③何… III. ①电工技
术—教材②电子技术—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 160779 号

电工电子技术

JIANG SHI

吉林出版集团有限责任公司
吉林出版集团有限责任公司

书 名:电工电子技术

作 者:赵伟 申利民 何军 主编

责任编辑:陈颂琴 责任校对:邢国春

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 16.75 字数:372千字

ISBN 978-7-5677-4102-7

封面设计:孙雪丽

北京市彩虹印刷有限责任公司 印刷

2015年7月第1版

2015年7月第1次印刷

定价:38.00元

版权所有 翻印必究

社址:长春市明德路501号 邮编:130021

发行部电话:0431-89580028/29

网址:<http://www.jlup.com.cn>

E-mail:jlup@mail.jlu.edu.cn

吉林出版集团有限责任公司



前 言

职业技术教育是国家工业化和现代化的重要支柱。职业技术教育相关教材的优劣直接影响职业技术教育的质量。根据教育部制定的《普通高等院校电工电子技术课程教学基本要求》及多年的实践教学经验,我们在上级部门的组织和指导下编写了这本适用于非电专业的《电工电子技术》教材。

本书在结构、内容安排等方面,吸收了编者近几年在教学改革、教材建设等方面取得的经验体会,力求全面体现普通高等教育的特点,满足当前教学的需求。我们在编写过程中注意了以下几个方面的问题:

(1)根据非电类电工电子技术教学的特点,在教材内容选取上,以“必需、够用”的基本概念、基本分析方法为主,舍去复杂的理论分析,辅之以适量的思考分析与提醒,内容层次清晰,循序渐进,让学生对基本理论有系统、深入的理解,为以后的持续学习奠定基础。

(2)注重将理论讲授与实践训练相结合,理论讲授贯穿其应用性,实践中有理论、有方法,以基本技能和应用为主,易学易懂易上手,具有工程应用性。

(3)在内容安排上,注重吸收新技术、新内容、新思路。

(4)注重分析问题、解决问题能力的培养。如增加了选择、调试使用电子仪表仪器、设计电子线路的内容,增加了有关电气控制线路的常用基本知识、安全用电知识等。

(5)全书涉及电工、电子技术基础、常用低压控制电气与应用等知识,是根据电工电子技术基础知识特点,按照高职高专教育要求,融知识、能力、技能和实用等方面为一体而做的一次有益探索。

本书共有十三章,其中电工部分包括项目一~项目六,电子部分包括项目七~项目十三,适用于多学时教学。

由于编写时间较紧且教材涉及面较宽,有些想法难以一并体现在教材中,加之编者水平有限,错误和不妥之处恳请读者和同行批评指正。

编 者

目 录

项目一 直流电路	1
任务 1 认识电路和电路模型	2
任务 2 电路的基本物理量	3
任务 3 电路的基本定律	9
任务 4 电压源、电流源及其等效变换	13
任务 5 直流电路的基本分析方法	16
实验:直流电路电位的测量	22
项目提炼	23
练习题	24
项目二 单相正弦交流电路	27
任务 1 初步认识正弦交流电	28
任务 2 单一参数正弦交流电路分析	33
任务 3 RLC 串并联交流电路分析	39
任务 4 安全用电技术	45
实验:常用电子仪器的使用	50
项目提炼	53
练习题	53
项目三 三相正弦交流电路	56
任务 1 认识三相交流电	57
任务 2 分析三相电源的连接电路	59
任务 3 分析三相负载的连接电路	62
任务 4 三相交流电路的功率计算	68
项目提炼	69
练习题	70
项目四 磁路与变压器	72
任务 1 初步认识磁性物质的磁性能	73



任务 2 变压器的基本结构与工作原理	76
任务 3 认识三相变压器	81
实验:单相变压器空载和短路实验	85
项目提炼	88
练习题	89
项目五 电动机及其控制	90
任务 1 初步认识三相异步电动机的基本结构与工作原理	91
任务 2 三相异步电动机的控制	95
项目提炼	98
练习题	98
项目六 继电器—接触器控制系统	100
任务 1 认识常用低压电器	101
任务 2 常用的基本控制线路分析	109
项目提炼	118
练习题	118
项目七 半导体器件	120
任务 1 初步认识半导体与 PN 结	121
任务 2 半导体二极管的结构与特性	124
实验:二极管的检测	129
任务 3 半导体三极管的结构与特性	130
实验:三极管的检测	135
项目提炼	136
练习题	136
项目八 基本放大电路	140
任务 1 共射放大电路分析	141
任务 2 分压式偏置共射放大电路分析	150
任务 3 共集与共基放大电路分析	153
任务 4 多级放大电路的耦合方式 与动态分析	157
任务 5 差动放大电路分析	160



实验:共射极单管放大电路	165
项目提炼	168
练习题	169
项目九 集成运算放大器	173
任务1 初步认识集成运放	174
任务2 放大电路中的负反馈	178
任务3 集成运放构成的基本运算电路分析	184
任务4 集成运放的非线性应用	187
实验:集成运放的应用——模拟运算电路	189
项目提炼	192
练习题	192
项目十 直流稳压电源	196
任务1 整流电路分析	197
任务2 滤波电路分析	201
任务3 稳压管稳压电路分析	203
项目提炼	205
练习题	206
项目十一 晶闸管电路	208
任务1 初步认识晶闸管	209
任务2 晶闸管可控整流电路分析	212
实验:晶闸管可控整流电路	217
项目提炼	221
练习题	222
项目十二 基本门电路与组合逻辑电路	223
任务1 初步认识数字电路与逻辑代数	224
任务2 认识基本逻辑门电路	229
任务3 组合逻辑电路的分析与设计	231
实验1:组合逻辑电路的分析与设计	234
实验2:门电路逻辑功能及测试	236



20	项目提炼	236
20	练习题	237
23	项目十三 触发器与时序逻辑电路	238
25	任务 1 初步认识触发器	239
25	任务 2 寄存器工作原理分析	244
25	任务 3 555 定时器的基本知识与应用	248
25	实验 1: 触发器逻辑功能测试	249
25	实验 2: 脉冲信号的产生和变换	251
25	任务 4 数/模和模/数转换器的结构与工作原理	252
25	项目提炼	255
25	练习题	255
25	参考文献	258

项目一

直流电路

● 学习目标

- 了解电路的基本组成元件；
- 熟悉如何将实际电路用电路模型表示；
- 了解电路的基本物理量的意义、单位和符号；
- 掌握电流与电压正方向的确定方法和电路中电位的计算方法；
- 掌握电功与电功率的计算方法；
- 掌握电路的三种工作状态及其状态特征；
- 理解并掌握欧姆定律的基本内容和应用方法；
- 理解并熟练掌握基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律；
- 了解电压源与电流源模型及其外特性；
- 掌握电压源与电流源之间的等效转换；
- 掌握支路电流法分析直流电路；
- 理解叠加原理的电路分析方法；
- 学会应用戴维南定理进行电路分析。



任务1 认识电路和电路模型

一、电路

电路是各种电气元器件按一定的方式连接起来的总体。在人们的日常生活和生产实践中,电路无处不在。从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线,都体现了电路的存在。

如图 1-1 所示,用导线将干电池、开关、灯泡连接起来,只要合上开关,有电流流过,灯泡就会亮起来。像这种电流流通的路径称为电路。电路一般由 4 部分组成:一是提供电能的装置,称为电源;二是消耗或转换电能的装置,称为负载;三是在电路中起连接作用的部分,称为导线;四是控制电路的导通和断开的装置,称为开关。

电路的主要功能有 2 类:一类是进行能量的转换、传输和分配。例如,供电电路可将发电机发出的电能经传输电线传输到各个用电设备,再由用电设备转换成热能、光能、机械能等。另一类是实现信息的传递和处理。例如,计算机电路、电话电路、扩音机电路等。

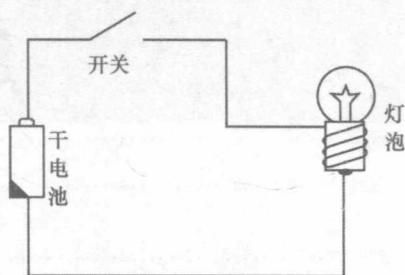


图 1-1 手电筒电路示意图

二、电路模型

一个实际的元件,在电路中工作时,所表现的物理特性不是单一的。例如,一个实际的绕线电阻,当有电流通过时,除了对电流呈现阻碍作用之外,还在导线的周围产生磁场,因而兼有电感器的性质。同时还会在各匝线圈间存在电场,因而又兼有电容器的性质。所以,直接对由实际元件和设备构成的电路进行分析和研究,往往很困难,有时甚至不可能。

为了便于对电路进行分析和计算,我们常把实际元件加以近似化、理想化,在一定条件下忽略其次要性质,用足以表征其主要特征的“模型”来表示,即用理想元件来表示。例如,“电阻元件”就是电阻器、电烙铁、电炉等实际电路元器件的理想元件,称为模型。因为在低频电路中,这些实际元器件所表现的主要特征是把电能转化为热能,所以用“电阻元件”这样一个理想元件来反映其消耗电能的特征。同样,在一定条件下,“电感元件”是线圈的理想元件,“电容元件”是电容器的理想元件。

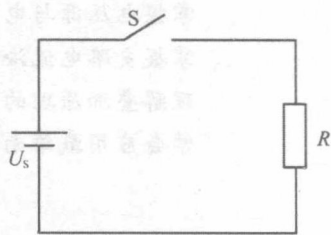


图 1-2 手电筒电路模型

由理想元件构成的电路,称为实际电路的“电路模型”。图 1-2 是图 1-1 所示实际电路的电路模型。



任务2 电路的基本物理量

一、电流

电流是电路中既有大小又有方向的基本物理量,其定义为在单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流的大小即电流强度,简称电流,其单位为安培(A)。

电流主要分为2类:一类为大小和方向均不随时间变化的电流,称为恒定电流,简称直流(简写DC),用大写字母 I 表示;另一类为大小和方向均随时间变化的电流,称为变化电流,用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示。其中一个周期内电流的平均值为零的变化电流称为交变电流,简称交流(简写AC),也用 i 表示。

几种常见的电流波形如图1-3所示。其中,图1-3(a)为直流,图1-3(b)和(c)为交流。一般规定,电流的方向为正电荷运动的方向。

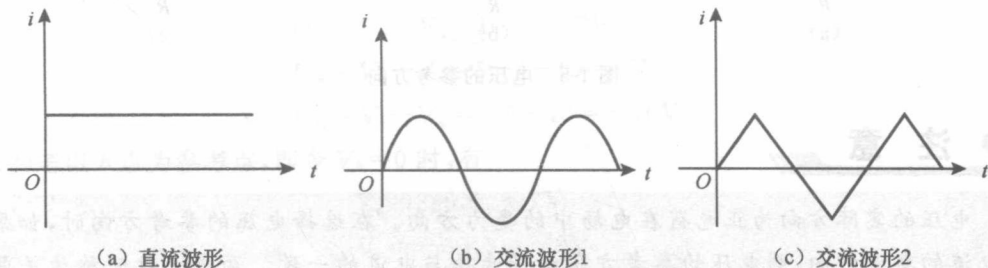


图1-3 常见的电流波形

在分析较复杂电路时,由于无法确定电流的实际方向,或电流的实际方向在不断地变化,所以我们引入了“参考方向”的概念。

参考方向是一个假想的电流方向。在分析电路前,须先任意规定未知电流的参考方向,然后根据电流的参考方向列方程求解。若计算结果 $i > 0$,则表明电流的实际方向与电流的参考方向一致,如图1-4(a)所示;若 $i < 0$,则表明电流的实际方向和电流的参考方向相反,如图1-4(b)所示。这样,我们就可以在选定的参考方向下,根据电流的正负来确定出某一时刻电流的实际方向。

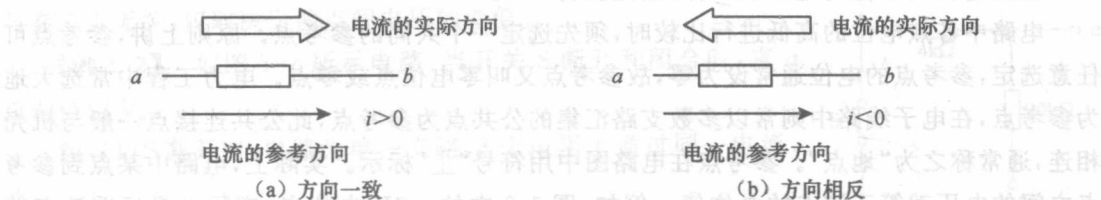


图1-4 电流的参考方向与实际方向



二、电压与电位

1. 电压

电压是电路中既有大小又有方向的基本物理量。就像水压能使静止的水按一定方向流动一样,电压能使导体中电子按一定方向运动。电路中 A, B 两点间电压的大小等于电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。若电场力做正功,则电压的实际方向从 A 到 B ,两点之间的电压用 U_{AB} 表示。电压的单位为伏特(V)。

其中,直流电压用大写字母 U 表示,交流电压用小写字母 u 表示。在计算较复杂电路时,常常对电压的实际方向难以判断,因此也要先设定电压的参考方向。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压为正值;反之,为负值。

电压的参考方向有 3 种表示方法,如图 1-5 所示。

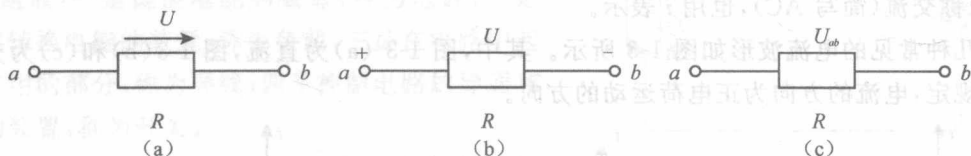


图 1-5 电压的参考方向

注意

电压的实际方向为正电荷在电场中的受力方向。在选择电压的参考方向时,如果已知电流的参考方向,则电压的参考方向最好选择与电流的一致。两者一致时称为关联参考方向,不一致时称为非关联参考方向。

2. 电位

电位是电路分析中的重要概念,用大写字母 V 表示。电路中每一点都有一定的电位。电路中某点电位的高低都是相对于电路的参考点而言的。电路中某点的电位也可看作是该点与参考点之间的电压,换言之,电路中某两点间的电压等于这两点之间的电位差,即

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1-1)$$

显然电位的单位与电压的一样,也是伏特(V)。

电路中各点电位的高低进行比较时,须先选定一个共同的参考点。原则上讲,参考点可任意选定,参考点的电位通常设为零,故参考点又叫零电位点或零点。电力工程中常选大地为参考点,在电子线路中则常以多数支路汇集的公共点为参考点,此公共连接点一般与机壳相连,通常称之为“地点”。参考点在电路图中用符号“ \perp ”标示。实际上,电路中某点到参考点之间的电压就等于该点的电位值。例如,图 1-6 中的 $-6V$ 电位点,实际上是标明该点较参考点的电位低 $6V$; $+10V$ 电位点则说明该点的电位较参考点的高 $10V$,即电位有高低正负之分,且均相对参考点电位而言。



3. 电位计算

对电工与电子技术中的电路进行分析,常常要利用电位的概念使其分析过程简化,因此理解和掌握电位的概念及电位的计算方法很有必要。

计算电路中各点的电位时,应首先选定电路中某点作为参考点,并用符号“ \perp ”标示。下面举例说明电位的计算方法。

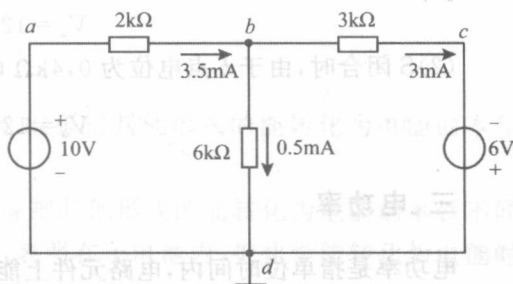


图 1-6 例 1.1 图

【例 1.1】 电路如图 1-6 所示,当分别以 d, b 作为参考点时,求 U_{ab}, U_{bc} 和 U_{ca} 。

解:(1) 当以 d 点为参考点,即令 $V_d=0$ 时,有

$$V_a = 10\text{V}$$

$$V_b = 6 \times 0.5 = 3\text{V}$$

$$V_c = -6\text{V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 10 - 3 = 7\text{V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 3 - (-6) = 9\text{V}$$

$$U_{ca} = V_c - V_a = -6 - 10 = -16\text{V}$$

(2) 若以 b 点为参考点,即令 $V_b=0$ 时,有

$$V_a = 3.5 \times 2 = 7\text{V}$$

$$V_c = -3 \times 3 = -9\text{V}$$

$$V_d = -0.5 \times 6 = -3\text{V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 7 - 0 = 7\text{V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 0 - (-9) = 9\text{V}$$

$$U_{ca} = V_c - V_a = -9 - 7 = -16\text{V}$$

由本例可以看出:选择参考点不同时,电路中各点的电位随之改变,但是,任意两点间的电压值是不变的。所以各点电位的高低是相对于不同的参考点而言的;两点间的电压值是绝对的,其大小与参考点无关,仅取决于两点间电压的差值。

【例 1.2】 如图 1-7 所示电路,当开关 S 断开和闭合时,求 a 点的电位 V_a 。

解:(1) S 断开时,电路为单一支路,3 个电阻上通过同一电流,所以

$$I = \frac{12 - (-12)}{6 + 4 + 20} = 0.8\text{mA}$$

电流方向由下向上,有 $12 - V_a = I \times 20$, 所以

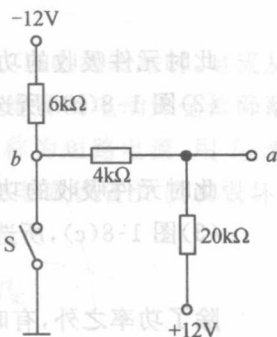


图 1-7 例 1.2 电路图



$$V_a = 12 - 0.8 \times 20 = -4\text{V}$$

(2) S 闭合时, 由于 b 点电位为 0, $4\text{k}\Omega$ 电阻和 $20\text{k}\Omega$ 电阻流过的电流相同, 所以

$$V_a = 12 - \frac{12}{4+20} \times 20 = 2\text{V}$$

三、电功率

电功率是指单位时间内, 电路元件上能量的变化量, 用大写字母 P 表示。它是具有大小和正负值的物理量。电功率简称功率, 其单位是瓦特(W)。

在电路分析中, 通常用电流 i 与电压 u 的乘积来描述功率。

在 u, i 关联参考方向下, 元件上吸收的功率定义为

$$P = ui \tag{1-2}$$

在 u, i 非关联参考方向下, 元件上吸收的功率为

$$P = -ui \tag{1-3}$$

不论 u, i 是否是关联参考方向, 若 $P > 0$, 则该元件吸收(或消耗)功率; 若 $P < 0$, 则该元件发出(或供给)功率。

【例 1.3】 试求图 1-8 电路中元件吸收的功率。

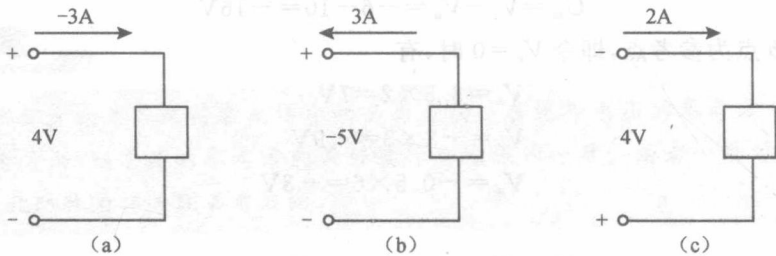


图 1-8 例 1.3 电路图

解: (1) 图 1-8 (a), 所选 u, i 为关联参考方向, 元件吸收的功率

$$P = ui = 4 \times (-3)\text{W} = -12\text{W}$$

此时元件吸收的功率为 -12W , 即发出的功率为 12W 。

(2) 图 1-8 (b), 所选 u, i 为非关联参考方向, 元件吸收的功率

$$P = -ui = -(-5) \times 3\text{W} = 15\text{W}$$

此时元件吸收的功率为 15W 。

(3) 图 1-8 (c), 所选 u, i 为非关联参考方向, 元件吸收的功率

$$P = -ui = -4 \times 2\text{W} = -8\text{W}$$

除了功率之外, 有时还要计算一段时间内电路所消耗(或产生)的电能, 用 W 表示, 即

$$W = P \cdot t$$

工程上, 电能的单位经常用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)来表示。千瓦时又称为“度”。平时所讲的 1 度电, 就是额定功率为 1kW 的用电设备在额定状态下工作 1h 所消耗的电能。



四、电动势

电动势是表示电源性质的物理量,它表征了电源把其他形式的能转化为电能的本领。电动势常用 E 来表示,其单位也是伏特(V)。

不同的电源,非静电力做功的本领不同,电源把其他形式的能转化为电能的本领不同,电动势就不同。例如,干电池的电动势是 1.5V,表明在干电池内,把化学能转化为电能时,可以使 1C 电荷具有 1.5J 电能;铅蓄电池的电动势是 2V,表明在铅蓄电池内,把化学能转化为电能时,可以使 1C 电荷具有 2J 电能;铅蓄电池的电动势比干电池的大,表明它把化学能转化为电能的本领比干电池的大。电动势的大小等于单位正电荷从负极经电源内部移到正极时非静电力所做的功,其数值也等于电源没有接入电路时两极间的电压。

注意

电动势描述电源把其他形式的能转化为电能的本领大小,不同的电源其电动势一般不同,把其他形式的能转化为电能的本领就不相同。

五、工作状态

电路有开路(断路)、电源短路、电源有载工作 3 种状态。现以图 1-9 为例说明这 3 种工作情况的电压与电流关系和功率关系。

1. 开路

图 1-9 所示的电路中,开关 S 断开,电路中无电流,我们称它处于开路状态。在这种工作状态下,电源对外不输出能量,内阻也不消耗能量。这时电源的端电压 U_1 等于电源电动势 E 。电路中的电流 I 等于 0,负载消耗的功率 P 等于 0,即

$$U_1 = E, I = 0, U = 0, P_E = P_0 = 0$$

2. 电源短路

由于某种原因,电源的两端直接连在一起的现象称为电源短路。当电源短路时,电流从电源正极出发不经过负载而直接流回到电源负极,如图 1-10 所示。电源的电动势全部降落在内阻上,电源产生的能量全部被电源内阻吸收。我们把这个电流称为短路电流,用 I_{sc} 表示。由于电源的内阻 R_0 极小,通常电源的短路电流很大,很容易使电源设备受损或毁坏。此时电路中的各物理量可表示为

$$I = I_{sc} = \frac{E}{R_0}, \quad U = 0, \quad P = 0, \quad P_0 = P_E = R_0 I_{sc}^2$$

短路也可发生在负载端或电路的任何处。

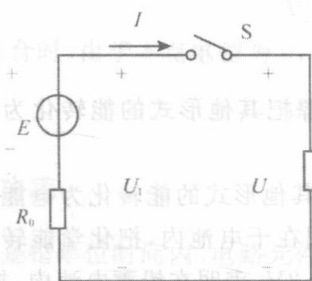


图 1-9 电路的有载与空载

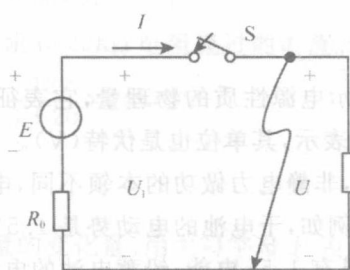


图 1-10 电源短路

注意

短路是常见的一种严重事故,应尽量避免发生。在实际工作中,为防电源发生短路,常在电路中安装熔断器(装保险丝的装置)或自动断路器,当电路发生短路时能及时迅速切断故障电路,保证安全。

3. 电源有载工作

当开关 S 合上后,如图 1-11 所示,电路中形成电流 I 。即为

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

负载两端的电压为

$$U = IR$$

即

$$U = E - IR_0 \quad (1-4)$$

把电源的端电压 U 与流过电流 I 之间的关系称为电源的外特性,如图 1-12 所示。由式(1-4)可见,电源流过的电流越大,其输出电压越小。当 $R_0 \ll R$ 时,有 $U \approx E$ 。如果电流(负载)变化,而电源的端电压变化很小,则说明它带负载的能力强。

对式(1-4)两端同乘以电流 I ,则得

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1-5)$$

式(1-5)中, $UI = P$ 为负载消耗的功率; $EI = P_E$ 为电源产生的功率; $I^2 R_0 = \Delta P$ 为电源内阻损耗的功率。这表明整个电路中功率是平衡的,即由电源产生的功率等于电路各部分所消耗的功率。

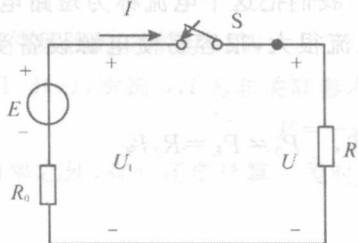


图 1-11 电源的有载工作

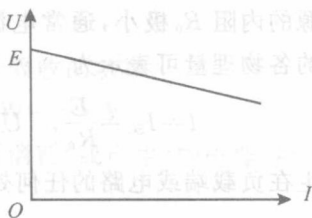


图 1-12 电源的外特性曲线



为了保证电气设备和器件安全、可靠和经济地工作,生产厂家规定了每种设备和器件在工作时所允许的最大电流、最高电压和最大功率,这些规定值称为电气设备和器件的额定值。常用下标符号 N 表示,如额定电流 I_N 、额定电压 U_N 和额定功率 P_N 。这些额定值通常标记在设备的铭牌上,所以也叫铭牌值。例如,灯泡上标有“220V 40W”的字样,就是指这只灯泡正常工作时的电压为 220V,此时的电功率为 40W。

电气设备和器件应尽量工作在额定状态,这种状态称为满载。其电流和功率低于额定值的工作状态称为轻载;高于额定值的工作状态称为过载。

思考分析

有人说:“电路中,没有电压的地方就没有电流,没有电流的地方也就没有电压。”这句话对吗?为什么?

分析:不对。因为电压为零时电路相当于短路,可以有短路电流;电流为零时电路相当于开路,可以有开路电压。

任务 3 电路的基本定律

一、欧姆定律

1. 欧姆定律

欧姆定律的基本内容是:流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。它是分析电路的基本定律之一。图 1-13(a)中的电路,欧姆定律可表述为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

式中, R 即为该电路的电阻。由式(1-6)可以得知,当电阻两端所加电压 U 一定时,电阻 R 小,则电流 I 大;电阻 R 大,则电流 I 小。所以电阻具有阻碍电流通过的性质。

由于电压和电流的参考方向可任意选取,因此欧姆定律公式中会带有正负号。当电压和电流的参考方向一致时,如图 1-13(a)(c),则得

$$U = IR \quad (1-7)$$

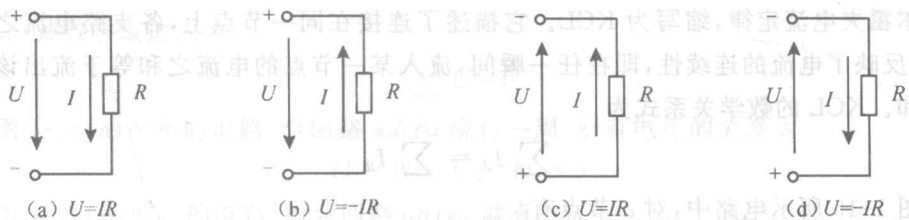


图 1-13 欧姆定律示意图