

电 工 学



电 工 技 术

上册

主 编 董爱华

副主编 康润生 高 岩 王少华

中国矿业大学出版社

DIANGONGXUE diangongjishu

高等学校规划教材

电 工 学

电工技术

(上册)

主 编 董爱华

副主编 康润生 高 岩 王少华

中国矿业大学出版社

内容简介

本书为高等学校规划教材,是根据教育部(原国家教育委员会)1995年颁发的高等工科院校“电工技术”和“电子技术”两门课程的教学要求编写而成。全书分《电工技术》和《电子技术》两册出版。《电工技术》主要包括电路的基本概念和基本分析方法、磁路与变压器、电机与控制、安全用电与电工仪表测量等。《电子技术》主要包括电子器件、基本放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源、基本门电路、组合门电路和时序逻辑电路等。各章均附有一定量的习题。

本书可供大、中专学生使用,也可作为有关工程技术人员的参考书。

责任编辑 钟 诚 何 戈

图书在版编目(CIP)数据

电工学/董爱华,艾永乐主编.—徐州:中国矿业大学出版社,2000.9

ISBN 7-81070-219-X

I. 电… II. ①董…②艾… III. 电工学-高等学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 37201 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

中国矿业大学印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 印张 30.5 字数 736 千字

2000年9月第1版 2000年9月第1次印刷

印数 1~3050 册 定价 38.00 元

前 言

随着科学技术的不断发展,电工技术的应用越来越广泛,因而《电工技术》和《电子技术》在高等院校非电专业的位置日趋重要。为适应当前教学内容和教学体系的改革,并结合教育部(原国家教育委员会)1995年颁发的“电工技术(电工学Ⅰ)”和“电子技术”(电工学Ⅱ)课程教学的基本要求,我们组织编写了本教材。

电工技术与电子技术是高等工科院校非电专业的一门技术基础课。学习这门课的目的是为了获得《电工技术》、《电子技术》必要的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续课和专业课服务,为将来学生从事工程技术工作和科学研究工作打下坚实基础。

在本教材的编写过程中,我们结合课程的特点,主要讨论电路的基本理论和基本分析方法,以及常用的电子器件、机电器件的基本电路与应用,将课程的基础性和应用性有机地结合起来,理论阐述详尽,例题、实例较多,每章都有大量的习题供学生练习,以帮助学生对理论的理解和掌握。

本教材分《电工技术》(电工学上册)、《电子技术》(电工学下册)两册出版,全书编写任务主要由焦作工学院电气系普电教研室完成,《电工技术》由董爱华担任主编,康润生、高岩、王少华担任副主编;《电子技术》由艾永乐担任主编,钟南岳、吴冰、王玉梅担任副主编。

《电工技术》的第一章、第二章、第三章由董爱华编写;第四章、第五章、第六章由康润生编写;第七章、第八章由高岩编写;第九章、第十章、第十一章由王少华编写;第十二章、第十三章由焦作大学的常青编写。《电工技术》的所有习题、附录的加工整理由李辉完成。

《电子技术》的第一章、第二章由艾永乐编写;第三章、第四章由王玉梅编写;第五章、第六章由吴冰编写;第七章、第八章、第九章由钟南岳编写。《电子技术》的所有习题、附录的加工整理由张宇华完成。

在本教材的编写过程中,焦作工学院电气系给予了大力支持,并得到兄弟院校同行的帮助,韩涛(中国矿业大学)等有关院校的老师为本书的编写提供了部分资料,在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限,本书的错误之处在所难免,敬请读者提出批评和改进意见,以便今后修订和完善。

编 者

2000年5月20日

目 录

第一章 电路的基本概念与基本定律.....	(1)
第一节 电路的基本概念.....	(1)
第二节 电路的基本物理量及其正方向.....	(2)
第三节 电路的三种状态.....	(7)
第四节 基尔霍夫定律	(11)
习 题	(17)
第二章 电路的基本分析方法	(19)
第一节 电源等效变换法	(19)
第二节 支路电流法	(23)
第三节 节点电压法	(25)
第四节 叠加原理	(30)
第五节 等效电源定理	(32)
第六节 电阻的 Y- Δ 等效变换	(36)
第七节 含受控源电路的分析	(38)
第八节 非线性电阻电路的分析	(41)
习 题	(43)
第三章 正弦交流电路	(49)
第一节 正弦量的特征及表示法	(49)
第二节 电阻元件交流电路	(57)
第三节 电感元件的交流电路	(60)
第四节 电容元件的交流电路	(65)
第五节 电阻、电感、电容元件串联的交流电路	(69)
第六节 并联交流电路	(77)
第七节 复杂正弦交流电路	(80)
第八节 电路的谐振	(84)
第九节 功率因数的提高	(92)
习 题	(95)
第四章 三相电路.....	(102)
第一节 三相电源.....	(102)
第二节 三相负载.....	(105)
第三节 三相电路的功率.....	(112)
习 题.....	(113)

第五章 非正弦周期电流电路	(116)
第一节 非正弦周期量的分析方法	(116)
第二节 非正弦周期量的有效值、平均值和功率	(118)
第三节 非正弦周期电流电路的计算	(122)
习 题	(124)
第六章 电路的暂态分析	(126)
第一节 换路定律与初始值的确定	(126)
第二节 一阶 RC 电路的暂态分析	(130)
第三节 一阶线性电路暂态分析的三要素法	(138)
第四节 一阶 RL 电路的暂态分析	(141)
习 题	(146)
第七章 变压器	(149)
第一节 磁 路	(149)
第二节 变压器的工作原理	(153)
第三节 变压器的性能指标与绕组极性测定	(159)
第四节 特殊变压器	(163)
习 题	(166)
第八章 交流电动机	(169)
第一节 三相异步电动机的结构	(169)
第二节 三相异步电动机的工作原理	(172)
第三节 三相交流异步电动机的电路分析	(176)
第四节 三相交流异步电动机的电磁转矩与机械特性	(178)
第五节 三相交流异步电动机的起动	(182)
第六节 三相异步电动机的调速	(186)
第七节 三相异步电动机的制动	(187)
第八节 三相交流异步电动机的铭牌和技术数据	(189)
第九节 同步电动机简介	(189)
习 题	(191)
第九章 直流电动机	(193)
第一节 直流电机的结构和分类	(193)
第二节 直流电机的工作原理	(195)
第三节 他励和并励直流电动机	(197)
第四节 串励直流电动机	(202)
习 题	(204)
第十章 控制电机	(206)
第一节 伺服电动机	(206)
第二节 测速发电机	(208)
第三节 步进电动机	(210)
习 题	(213)

第十一章	继电接触控制	(214)
第一节	常用低压控制电器.....	(214)
第二节	基本控制环节.....	(221)
第三节	电动机的保护环节.....	(226)
第四节	应用举例.....	(228)
习 题		(230)
第十二章	工业企业供电与安全用电	(232)
第一节	工业企业供电.....	(232)
第二节	安全用电.....	(236)
习 题		(244)
第十三章	常用电工仪表及测量	(245)
第一节	常用电工测量仪表.....	(245)
第二节	电流的测量.....	(250)
第三节	电压的测量.....	(251)
第四节	万用表.....	(252)
第五节	功率的测量.....	(255)
第六节	兆欧表.....	(257)
第七节	测量电桥.....	(258)
习 题		(259)
 附 录		
附录一	电工系统常用电器、电机符号	(261)
附录二	三相交流异步电动机型号及用途	(263)
附录三	直流电机型号及用途	(263)
附录四	YR 系列三相绕线式异步电动机功率与转速	(263)
附录五	CJ10 系列交流接触器技术数据	(264)
附录六	JR15 系列热继电器技术数据	(264)

第一章 电路的基本概念与基本定律

本章主要在物理学的基础上介绍电路的组成、电路的基本物理量及正方向、电路的三种状态及额定值、电路的基本定律及电路的分析方法,其中正方向是一个重要概念,本章结合电路的物理量着重加以介绍。

第一节 电路的基本概念

一、电路的组成

电路是电流通过的闭合路径,它是由若干个电气设备或元件根据需要组成的不可分割的整体。

随着科学技术的不断发展,电的应用越来越广泛,电路的形式也越来越多。但是,不管电路的具体形式如何变化,电路都是由一些最基本的部件组成的。

1. 电路的基本组成部分

(1) 电源

将机械能、化学能等非电能量转换为电能的供电设备。它是电路中能量的来源。常见的电源如干电池、蓄电池和发电机等。

(2) 负载

将电能转换成热能、光能和机械能等非电能量的设备或器件。常见的负载如灯泡、电炉和电动机等。直流电路中的负载主要是电阻负载,它的基本性质是当电流通过时呈现阻力,即有一定的电阻,并将电能转换成热能。

(3) 中间环节

连接电源和负载的部分,在电路中起控制和保护作用。中间环节主要由连接导线、控制电器和保护电器(如熔断器等)组成。

2. 电路的基本作用

电路的基本作用是进行电能的传输及能量的转换。但根据其侧重点的不同,电路主要有如下两方面的作用:

① 电能的传输、分配与转换。例如,发电厂的发电机产生的电能,通过升压变压器、输电线路和降压变压器送给用户,最后经过负载将电能转换成其他形式的能量。

② 信号的传递和处理,即通过电路将输入的电信号进行传送、转换或加工处理,使之成为能满足一定要求的输出信号,以推动不同的负载。信号传递和处理的例子很多,如收音机和电视机,它们的接收天线把载有声音、图像信号的电磁波接收后转换为相应的电信号,再经过加工处理送给扬声器或显像管,最后还原为声音或图像。

不论电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,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件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

二、电路模型

电路都是由一些实际电路元件或器件按不同的需要组成的,诸如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等,它们的电磁性质较为复杂。最简单的例子是一个白炽灯,它除具有消耗电能的性质(电阻性)外,当有电流通过时还会产生磁场,就是它还具有电感性质,但电感量很微小,可忽略不计,于是可认为白炽灯是一电阻元件。

电路中的实际电路元件是多种多样的,在分析、计算时不可能也没有必要将这些实际元件直接表示在电路中。为便于对实际电路进行分析和数学描述,经常将实际元件理想化或模型化,即在一定条件下忽略其次要因素,突出其主要的电磁性质,把它看作理想电路元件。由理想电路元件组成的电路称为实际电路的电路模型,它是实际电路电磁性质的科学抽象和概括。电阻元件、电感元件、电容元件和电源元

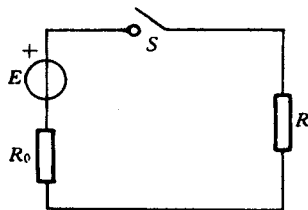


图 1-1 手电筒电路模型

件是主要的理想电路元件。电路模型要用国家规定的图形符号和文字符号表示,例如手电筒的电路模型如图 1-1 所示,其中电阻元件 R 表示手电筒的电珠; E 为干电池的电动势; R_0 为干电池的内阻; S 为手电筒的开关。

第二节 电路的基本物理量及其正方向

电路的基本物理量主要是电流、电压、电动势等。虽然这些物理量在《物理学》中已经讲过,但考虑到它们是电路分析和计算的基础,贯穿本课程的全部内容,所以有必要结合本课程的特点对电路的基本物理量作一概括性介绍,旨在突出正方向这一基本概念。

一、电流

电流是电荷有规则运动形成的。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量,即

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

式中,电荷 Q 的单位是库(C),时间 t 的单位是秒(s),电流 I 的单位是安(A)。大写字母 I 表示不随时间变化的电流,称为恒定电流,通常称为直流。如果通过横截面的电荷随时间变化,则定义式为

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

这种电流称为变化电流,其瞬时值用小写字母 i 表示。

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。但在分析复杂直流电路时,某条支路的电流的实际方向往往很难确定,尤其是在交流电路中,电流的实际方向是随时间变化的,这就更难标明电流的实际方向了。因此,在电路的分析计算时通常采用电流的正方向。所谓电流的正方向,就是为了电路分析计算的方便而任意假定的方向,正方向也称参考方向。当电流的实际方向与其正方向一致时,电流值为正(图 1-2(a)),反之,电流值为负(图 1-2(b)),即电流的正方向确定之后,电流值有正负之分。

电流的正方向与实际方向是两个不同的概念,不要混淆。① 电流的实际方向是客观存在的,不能任意选择;而电流的正方向是人为假定的,是电路分析计算的一种方法或手段,这种方法或手段在其他学科中也经常使用,例如在数学中需要对数轴或坐标轴规定一个正方向,才能正确地表示一个数或函数的图像;在物理学中也需要对温度、作用力与反作用力等事先选定一个基准或参考方向,这样温度、力的正、负才有明确意义。② 电流的实际方向与电路的结构、电源的极性和电路的参数有关,与其正方向的选取无关。但是,电流的正方向选定之后,其值是一个代数量,即有正、负之分,因此,某个电流是正值还是负值是相对于某一个确定的正方向而言的,在未选定正方向的情况下,说某个电流值为正还是为负是毫无意义的。当电流的实际方向可以确定时,通常选定电流的正方向与其实际方向一致。值得注意的是,电流的正方向一经确定,在整个分析计算过程中就必须以此方向为准,不能再更改了。今后,电路图中所标注的电流方向均为正方向。

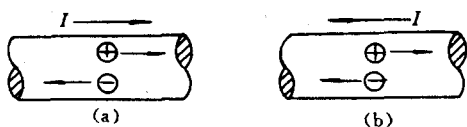


图 1-2 电流的正方向
(a) 电流为正值; (b) 电流为负值

二、电压

电荷在电场力作用下有规则地定向运动形成电流,在这个过程中,电场力推动电荷运动做功。电压就是用来衡量电场力对电荷做功能力的物理量。 A 、 B 两点的电压等于电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点电场力所做的功,即

$$U_{AB} = \frac{A}{Q} \quad (1-3)$$

在国际单位制(SI)中,功 A 的单位是焦耳(J),电荷 Q 的单位是库仑(C),电压 U 的单位是伏特(V)。式中,大写字母 U 表示不随时间变化的电压,称为恒定电压或直流电压。如果电压随时间变化,其定义式为

$$u_{AB} = \frac{dA}{dq} \quad (1-4)$$

用小写字母 u 表示变化电压的瞬时值。

通常把正电荷在电场力作用下运动的方向称为电压的实际方向。但电压的实际方向有时也难以确定,因此在电路图中只标出电压的正方向,即任意假定的方向。如图 1-3 所示的电压 U_{AB} 方向即为正方向。

同样,引入正方向之后,电压也是一个代数量。当电压的实际方向与其正方向一致时,电压为正值;当电压的实际方向与其正方向相反时,电压为负值。

电压的正方向可采用:① 箭头表示,箭头的指向即为电压的正方向。② 双下标字母表示,电压的正方向从第一个下标字母指向第二个下标字母,如电压 U_{AB} 表示电压的正方向由 A 指向 B 。这两种表示方法代表的意义相同,使用时可任选一种。

由于正方向是任意选取的,因此电压的正方向和电流的正方向可能一致,也可能不一致,但为了分析计算的方便,通常选取电压、电流为关联正方向,即选取电压、电流的正方向一致,如图 1-4 所示。

此时欧姆定律的表达式为

$$U = IR \quad (1-5)$$

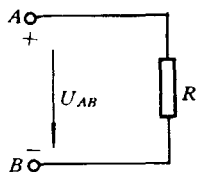


图 1-3 电压的正方向

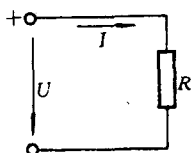


图 1-4 关联正方向

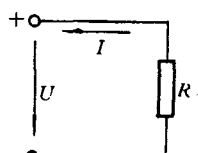


图 1-5 非关联正方向

当电压和电流的正方向为非关联正方向时(如图 1-5 所示),此时欧姆定律的表达式为

$$U = -IR \quad (1-6)$$

这里应注意的是,采用正方向后欧姆定律的表达式有两种形式,当电压、电流的正方向为关联正方向时,欧姆定律的表达式为式(1-5);当电压、电流的正方向为非关联正方向时,欧姆定律的表达式为式(1-6)。

例 1-1 如图 1-6 所示,假定“+”和“-”表示电压的实际极性,电压 U 为 10 V,电阻 R 为 5Ω ,取电压、电流的正方向分别为如图 1-6(a)、1-6(b)所示,试分别写出欧姆定律表达式,并求电流 I 。

解 在图 1-6(a)中,由于电压、电流的正方向为关联正方向,所以欧姆定律为

$$U = IR$$

又因为电压的正方向与实际方向相同,所以电压 $U = +10 \text{ V}$,则电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$$

电流值为正说明电流的正方向与其实际方向相同。

在图 1-6(b)中,由于电压、电流的正方向为非关联正方向,所以欧姆定律的表达式为

$$U = -IR$$

这里,由于电压的正方向与其实际方向相同,所以电压 $U = +10 \text{ V}$,电流则为

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{10}{5} = -2 \text{ A}$$

电流值为负说明电流的正方向与其实际方向相反。

三、电动势

在直流电路中,为了维持电流连续不断地在电路中流通,并保持恒定,就必须使外电路的端电压保持恒定,电源就具有使外电路的端电压保持恒定的作用。在电源内部存在一种特殊的力(通常称为电源力),它能够将正电荷从电源的负极经过电源内部移动到电源正极,在这个过程中,电源力移动正电荷做功的同时将其他形式的能量转换成电能。电源力移动正电荷做功的能力通常用电动势这个物理量表示。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源负极经过电源内部移动到电源正极所做的功。由定义可知,电动势的单位与电压的单位相同。直流电动势用大写字母 E 表示,交流电动势的瞬时值用小写字母 e 表示。

电动势的实际方向是正电荷在电源内部的运动方向,即由电源的负极指向电源的正极。电动势也可采用正方向,当电动势的实际方向与正方向相同时其值为正;当电动势的实际方

向与正方向相反时其值为负。在电动势实际方向已知的情况下,通常取电动势的实际方向作为正方向。

四、电位

同电压一样,电位也是用来描述电场力做功的一个物理量。电场中某点的电位在数值上等于电场力将单位正电荷自该点起沿任意路径移动到参考点所做的功。电位用字母 V 表示,其单位与电压的单位相同。由电位与电压的定义可知,某点的电位就是该点到参考点的电压;某两点间的电压就是这两点的电位之差。电路中某点的电位的正方向习惯上选定为该点指向参考点的方向,并规定参考点的电位为零,所以参考点又叫零电位点。

在电工技术中,如果所研究的电路有接地点时,通常选接地点为参考点;在电子线路中常选若干条支路的交汇点或机壳作为电位的参考点,用符号 $\perp$ 表示。在参考点选定后,电路中其余各点的电位就是唯一确定的数值,这便是电位的单值性原理。

电位的概念及电位的计算在分析电子线路时经常用到,下面以图 1-7 所示的电路为例说明电位的计算方法。

在图 1-7 中,如果以 E 点为参考点,即 $V_E = 0$,可求出 A 、 B 、 C 、 D 各点的电位和 A 、 D 间的电压。

以 E 点为参考点的电路如图 1-8 所示。

在图 1-8 中,选电路中的电流 I 的正方向如图所示,则根据回路欧姆定律,可求出电流

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12 - 6}{1 + 2 + 3} = 1 \text{ A}$$

则 A 点电位为 $V_A = E_1 = 12 \text{ V}$

B 点电位为 $V_B = E_1 - IR_1 = 12 - 1 \times 1 = 11 \text{ V}$

C 点电位为 $V_C = E_1 - I(R_1 + R_2) = 12 - 1 \times (1 + 2) = 9 \text{ V}$

D 点电位为 $V_D = IR_3 = 1 \times 3 = 3 \text{ V}$

或 $V_D = E_1 - I(R_1 + R_2) - E_2 = 12 - 1 \times (1 + 2) - 6 = 3 \text{ V}$

A 、 D 间的电压为 $U_{AD} = I(R_1 + R_2) + E_2 = 1 \times (1 + 2) + 6 = 9 \text{ V}$

在图 1-7 中,如果以 A 点为参考点,即 $V_A = 0$,其电路如图 1-9 所示,同样可计算出其余各点的电位和 A 、 D 间的电压。

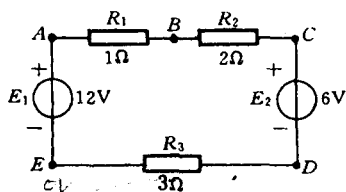


图 1-7 电路举例

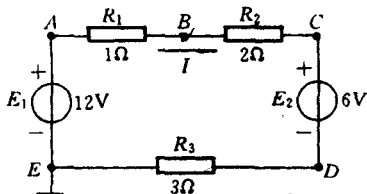


图 1-8 以 E 点为参考点

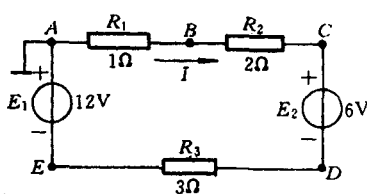


图 1-9 以 A 点为参考点

$$V_B = -1 \text{ V}$$

$$V_C = -3 \text{ V}$$

$$V_D = -9 \text{ V}$$

$$V_E = -12 \text{ V}$$

$$U_{AD} = 9 \text{ V}$$

从上面的计算结果可以看出:

① 电路中某点的电位等于该点到参考点的电压;电路中某两点的电压等于这两点的电

位之差。

② 参考点选得不同, 电路中各点的电位随之改变, 即电位是相对的。而电路中任意两点间的电压值不变, 即电压是绝对的。

有时为了作图方便和图面清晰, 常将电路图进行简化, 即与参考点相连的电源省去不画, 在电源的非接地端标出其电位的数值。如图1-8可简化为图1-10。

例1-2 如图1-11 是一个简化电路图, 试画出其完整的电路图, 并求 A 、 B 两点的电位。其中电动势 $E_1 = E_2 = 5\text{ V}$ 。

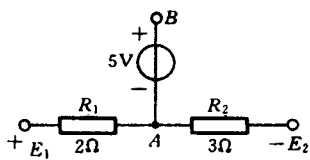


图1-11 例1-2的电路

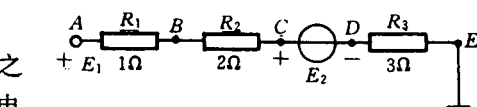


图1-10 图1-8的简化电路

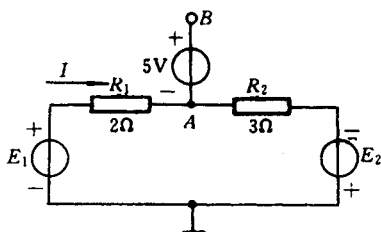


图1-12 图1-1的完整电路

解 完整电路图如图1-12。设回路电流 I 如图所示, 则电流

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{5 + 5}{2 + 3} = 2\text{ A}$$

电位

$$V_A = E_1 - IR_1 = 5 - 2 \times 2 = 1\text{ V}$$

$$V_B = V_A + 5 = 1 + 5 = 6\text{ V}$$

[练习与思考]

1-2-1 如图1-13所示, 设 $U_1 = 10\text{ V}$, $U_2 = -10\text{ V}$, 试计算电压 U , 并标出各电压的实际方向。

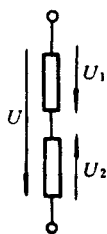


图1-13

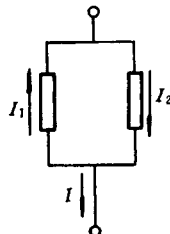


图1-14

1-2-2 在图1-14中, 设电流 $I_1 = -1\text{ A}$, $I_2 = 2\text{ A}$, 试计算电流 I , 并画出各电流的实际方向。

1-2-3 如图1-15, 试写出求电流 I 的表达式。

1-2-4 求图1-16中的电压 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ac} 。

1-2-5 在图1-17中, 设电动势 $E_1 = 15\text{ V}$, $E_2 = 5\text{ V}$; 电阻 $R_1 = 2\text{ }\Omega$, $R_2 = 3\text{ }\Omega$ 。试求 a 、 b 、 c 各点对参考点的电位。

1-2-6 试计算图1-18所示的电路在开关 S 断开和闭合时 A 、 B 两点的电位。

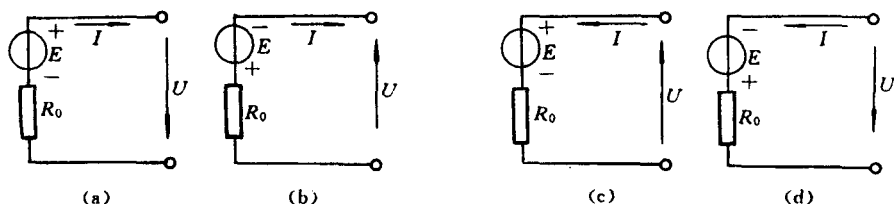


图 1-15

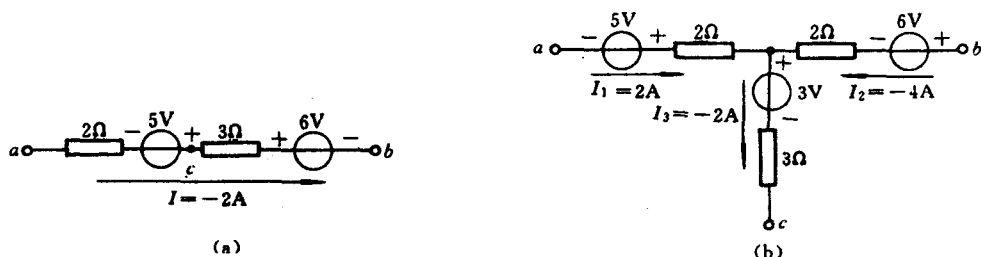


图 1-16

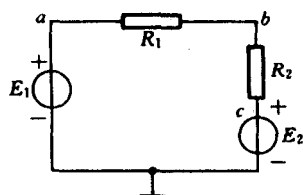


图 1-17

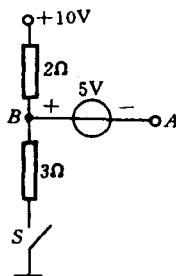


图 1-18

第三节、电路的三种状态

电路一般有三种状态,即有载工作状态、开路状态和短路状态。下面以图 1-19 所示的简单电路为例,分别讨论三种不同状态下的特征。

在图 1-19 中各物理量的正方向均已标出,其中 E 、 U 、 R_0 分别为电源的电动势、端电压和内阻, R 为负载电阻。开关和联接导线为中间环节。

一、开路状态

如图 1-19,当开关 S 断开时,电路中无电流通过,则电路称为开路(或空载)状态。开路状态的端电压称为开路电压,用 U_0 表示,其值等于电源的电动势,此时负载吸收的功率为零。开路状态的电路如图 1-20 所示。

开路状态下电路的主要特征为

电路电流: $I=0$

电源端电压: $U=U_0=E$

负载功率: $P=0$

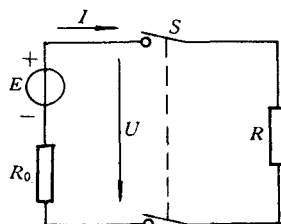


图 1-19 简单电路

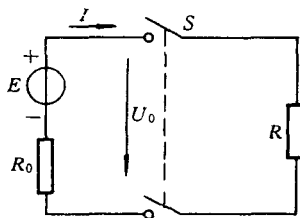


图 1-20 开路状态

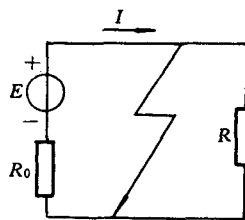


图 1-21 短路状态

二、短路状态

在供电线路中,因绝缘损坏或接线有误使电源两端的导线直接相连时电路中的电流不再通过负载而走捷径流回电源,这种电路状态称为短路状态,如图 1-21 所示。

由于电源内阻 R_0 通常很小,所以短路电流很大,电源发出的功率全部由电源内阻 R_0 转换成热能,使电源的温度迅速上升以致烧坏电源。

短路通常是应该避免的电路故障。为了防止短路电流烧坏电源或供电线路,一般在电路中安装熔断器或自动保护装置,一旦发生短路故障,便能迅速切断故障电路,从而防止事故扩大。

短路状态电路的主要特征为

电源端电压: $U=0$

电路电流: $I=I_s=\frac{E}{R_0}$

负载功率: $P=0$

电源功率: $P_E=I^2R_0$

例 1-3 若电源的开路电压 $U_0=100\text{ V}$, 电源内阻 $R_0=0.5\ \Omega$ 。试求电源的电动势 E 和短路电流 I_s 。

解 电源电动势: $E=U_0=100\text{ V}$

短路电流: $I_s=\frac{E}{R_0}=\frac{100}{0.5}=200\text{ A}$

三、有载工作状态

当图 1-19 中的开关闭合时,接通电源与负载,电路中有电流通过并有能量转换,则电路称为有载工作状态。该电路中的电流为

$$I=\frac{E}{R_0+R} \quad (1-7)$$

上式表明,当电源电动势 E 和内阻 R_0 为定值时,负载电阻 R 愈小,电流 I 愈大。

负载电阻 R 两端的电压为

$$U=E-IR_0 \quad (1-8)$$

由上式可知,有载工作状态电源的端电压小于电源电动势,其差值为电源内阻上的压降 IR_0 。显然,电流愈大,电源内阻上的压降也愈大。表示电源端电压 U 与负载电流 I 之间的关系曲线称为电源的外特性曲线(如图 1-22 所示),其斜率与电源内阻有关。当 $R_0 \ll R$ 时,电源的端电压

$$U \approx E$$

即当负载电流变化时,电源的端电压几乎不变,此时电源的外特性如图 1-22 中的虚线所示。

将式(1-8)的两边同乘以电流 I , 可得电路功率平衡关系式

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1-9)$$

简记为

$$P = P_E - \Delta P$$

式中 $P_E = EI$ —— 电源产生的功率;

$\Delta P = I^2 R_0$ —— 电源内阻损耗的功率;

$P = UI$ —— 负载取用的功率。

式(1-7)、(1-8)和(1-9)分别表示电路有载工作状态时的电流、电压和功率的特征,式(1-9)还反映出电路的功率平衡关系。

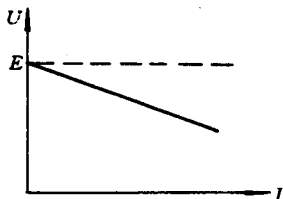


图 1-22 电源的外特性

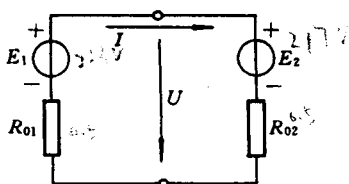


图 1-23

例 1-4 如图 1-23 所示,已知电源电动势 $E_1 = 223 \text{ V}$, $E_2 = 217 \text{ V}$, 内阻 $R_{01} = R_{02} = 0.5 \Omega$ 。(1) 求电路的电流 I 和电压 U ; (2) 求各元件的功率,并验证电路的功率是否平衡。

解 (1) 电路中的电流为

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_{01} + R_{02}} = \frac{223 - 217}{0.5 + 0.5} = 6 \text{ A}$$

端电压为

$$U = E_1 - IR_{01} = 223 - 6 \times 0.5 = 220 \text{ V}$$

或

$$U = E_2 + IR_{02} = 217 + 6 \times 0.5 = 220 \text{ V}$$

(2) 由于电流 I 与 E_1 的实际方向一致,所以电源 E_1 发出功率,起电源作用,其功率为

$$P_{E1} = E_1 I = 223 \times 6 = 1338 \text{ W}$$

而电流 I 与 E_2 的实际方向相反,则电源 E_2 取用功率,起负载作用,其功率为

$$P_{E2} = E_2 I = 217 \times 6 = 1032 \text{ W}$$

两个电源内阻消耗的功率分别为

$$\Delta P_1 = I^2 R_{01} = 36 \times 0.5 = 18 \text{ W}$$

$$\Delta P_2 = I^2 R_{02} = 36 \times 0.5 = 18 \text{ W}$$

显然

$$P_{E1} = P_{E2} + \Delta P_1 + \Delta P_2$$

电路的功率平衡。

通常判别一个元件是发出功率还是吸收功率采用如下方法:

① 根据元件电压、电流的实际方向判别。如果一个元件上的电压与电流的实际方向一致,则该元件吸收功率,起负载作用;反之,一个元件上的电压与电流的实际方向相反,则该元件发出功率,起电源作用。如图 1-24 所示,电压的实际方向为由“+”指向“-”,如果电流 I 的值为正,则电流的实际方向与电压的实际方向一致,该元件为取用功率,则为负载;如果电

流 I 的值为负,则电流的实际方向与电压的实际方向相反,该元件发出功率,则为电源。

② 根据功率计算结果的正负值判别。当元件电压、电流的正方向为关联正方向时,功率用公式 $P=UI$ 计算;当元件电压、电流的正方向为非关联正方向时,功率用公式 $P=-UI$ 计算。如果计算的结果 P 为正值,则该元件是负载(吸收功率);如果计算的结果 P 为负值,则该元件为电源(发出功率)。

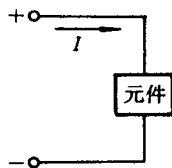


图 1-24 元件的判别

例 1-5 如图 1-25 所示,已知电压 $U=50\text{ V}$,电流 $I_1=-10\text{ A}$, $I_2=-6\text{ A}$, $I_3=-4\text{ A}$ 。试判别各元件是电源还是负载。

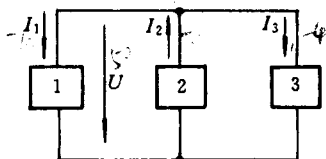


图 1-25

解 (1) 用第①种方法判别。

由图 1-25 可知,因电流 I_1 为负值,元件 1 的电压、电流的实际方向相反,则元件 1 的为电源;电流 I_2 为负值,元件 2 的电压、电流的实际方向一致,则元件 2 为负载;电流 I_3 为正值,元件 3 的电压、电流的实际方向一致,则元件 3 为负载。

(2) 用第②种方法判别。

元件 1 的功率为: $P_1=UI_1=50 \times (-10) = -500\text{ W} < 0$, 元件 1 为电源;

元件 2 的功率为: $P_2=-UI_2=-50 \times (-6) = 300\text{ W} > 0$, 元件 2 为负载;

元件 3 的功率为: $P_3=UI_3=50 \times 4 = 200\text{ W} > 0$, 元件 3 为负载。

通常负载(例如电灯、电动机等)都是并联连接的,由于电源的端电压基本恒定,所以当负载增加(例如并联的负载数目增加)时,则负载所取用的电流和功率都相应增大,电源输出的功率和电流也相应增大,因此,通常讲增大(或减小)负载是指增大(或减小)负载取用的功率和电流,而不是指增大(或减小)负载电阻。

各种电气设备的电压、电流及功率都规定一个限额,这个限额值就称为电气设备的额定值。额定值是制造厂家为了使电气产品安全、经济运行而规定的容许值。例如灯泡的电压 220 V、功率 60 W 都是额定值。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。大多数电气设备(如电机、变压器等)的寿命与其绝缘材料的耐热性及绝缘强度有关。

当电流超过额定值时,会引起电气设备的温升过高,严重时可使绝缘材料过热而损坏。另外,电压过高有可能击穿绝缘材料。反之,当电流、电压的实际值远小于额定值时,电气设备得不到充分利用。根据电气设备电压、电流和功率实际值与其额定值的大小关系,电气设备可有三种运行状态:当电压、电流和功率的实际值小于其额定值时,称电气设备为欠载(或轻载)运行状态;当电压、电流和功率的实际值大于其额定值时,称电气设备为过载(或超载)运行状态;当电压、电流和功率的实际值等于其额定值时称为满载运行(或称额定工作状态)。电气设备只有在额定状态下工作,才最经济合理、安全可靠。

例 1-6 如图 1-26 所示,已知电阻 R_1 的额定电流为 $I_{1N}=0.5\text{ A}$,电阻 R_2 的额定电流 $I_{2N}=0.9\text{ A}$,电阻 R_3 、 R_4 的额定电压 $U_{3N}=U_{4N}=9\text{ V}$,当电压 $U=45\text{ V}$ 时,各电阻均达到其额定值。试求:(1) 电阻 R_1 、 R_2 的额定电压;(2) 电阻 R_3 、 R_4 的额定电流;(3) 各电阻的标称值和电路的等效电阻值。

解 (1) 电阻 R_1 的额定电压为