

DIANLU YU MONI DIANZI JISHU

王佩珠 编著

全国高等教育自学考试教材
计算机及其应用专业(专科)

电路与模拟 电子技术



南京大学出版社

**内
容
简
介**

本教材是根据全国高等教育自学考试指导委员会高等教育自学考试《电工电子学自学考试大纲》(计算机应用专业专科)编写的。

全书上下两篇共11章。上篇为电路原理共5章,内容包括:电路的基本概念及基本定律、电路的基本分析方法、单相交流电路、三相交流电路和电路中的暂态分析。下篇为模拟电子技术共6章。内容包括:常用半导体二极管和三极管、基本放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器、集成功率放大器和集成直流稳压电源。

书中,每章之前有内容提要,章末有小结,章后附有习题,以便起到引导学习,总结提高和自我检查巩固所学的目的。

本书对电类和计算机类其它专业的大专学生及中、初级工程技术人员也有参考价值。

(苏)新登字第 011 号

全国高等教育自学考试教材

计算机及其应用专业

电路与模拟电子技术

王佩珠 主 编

*

南京大学出版社出版发行

(南京大学校内 邮政编码:210008)

中国计算机函授学院照排室排版

合肥学苑印刷厂印刷

*

开本:787×1092/16 印张:23 字数:552千

1994年2月第1版 1996年11月第4次印刷

印数 83001—98000

ISBN 7-305-02614-X/TP·96

定价:25.50元

出版前言

高等教育自学考试教材是高等教育自学考试工作的一项基本建设。经国家教育委员会同意,我们拟有计划、有步骤地组织编写一些高等教育自学考试教材,以满足社会自学和适应考试的需要。《电路与模拟电子技术》是为高等教育自学考试计算机及其应用专业组编的一套教材中的一种。这本教材根据专业考试计划,从造就和选拔人才的需要出发,按照全国颁布的《电工电子学自学考试大纲》的要求,结合自学考试的特点,组织高等院校有关专家学者编写而成的。

计算机及其应用专业《电路与模拟电子技术》自学考试教材,是供个人自学、社会助学和国家考试使用的。现经组织专家审定同意予以出版发行。我们相信,随着高教自学考试教材的陆续出版,必将对我国高等教育事业的发展,保证自学考试的质量起到积极的促进作用。

编写高等教育自学考试教材是一种新的尝试,希望得到社会各方面的关怀和支持,使它在使用中不断提高和日臻完善。

全国高等教育自学考试指导委员会

一九九六年九月

编者的话

本教材是根据全国高等教育自学考试计算机及其应用专业(专科)课程考试大纲与教材制定工作会议(1993年6月于合肥)的决定,以及经审定通过的全国高等教育自学考试指导委员会高等教育自学考试《电工电子学自学考试大纲》(计算机应用专业专科)编写的。全书分上下两篇,共计11章。上篇为电路原理计5章,下篇为模拟电子技术计6章。本教材是计算机及其应用专业(专科)自考生和函授生学习电工电子学课程的自学教材。为了能更确切地反映教材内容,经全国高等教育自学考试指导委员会电类专业委员会研究决定,教材定名为《电路与模拟电子技术》。

计算机的应用给人类社会和国民经济的各个部门和各个领域带来了巨大的、广泛的、深刻的变化。它们正改变着传统工业的生产方式,带动着传统产业和其它新兴产业的更新和变革。然而,要用好计算机就要对计算机的组成及工作原理应该有基本了解。计算机是由硬件和软件有机组合而成。电路原理与电子技术(包括模拟电子技术及数字电子技术,后者单独设课)则是数字控制系统和计算机硬件的基础。因此,电工电子学是计算机应用专业的一门技术基础课程。该课程的设置为学习专业后续课程及从事计算机应用技术奠定基础。

所编教材,在保证学科的系统性和理论性的前提下,注意了精选内容。既满足专业后续课程的需要,又反映了科学技术的发展,并考虑到作为一个工程技术人员必备的电工知识,例如教材中列入了三相交流电路一章,使学员了解三相供电制、三相电路中负载的联接以及安全用电的一般常识;又如在模拟电子技术部分,正确地处理了分立元件放大电路为基础和集成电路为重点的关系,教材的第九、十、十一三章中列举了大量应用实例,反映了模拟电子技术当前状况和今后的发展。

鉴于自学考试学员的学习特点,本教材对基本概念、基本理论和基本分析方法都作了尽可能的详尽阐述,尤其着重在物理概念上下功夫,并通过例题和习题进一步说明基本理论在实际中的应用。

教材在每章之前有内容提要,章末有小结,章后附习题,起到引导学习、总结提高和自我检查、巩固所学的目的。

本教材由全国高等教育自学考试指导委员会电类专业委员会于一九九四年七月组织了审稿。三位专家参加了审稿会。西安理工大学许开君教授(主审)、西安交通大学何金茂教授、西北纺织学院徐国成教授仔细审阅了书稿,提出极为宝贵的修改意见,编者谨致衷心谢意。

编写中,对教材所列参考文献作了一些借鉴。在本书出版之际,对参考文献的作者及帮助此书出版的单位和同志一并表示感谢。

由于学识有限,缺点和错误在所难免,欢迎使用本教材的教师、学员和读者提出批评和指正。

主 编

一九九四年三月十五日

目 次

上篇 电路原理

第一章 电路的基本概念及基本定律	(1)
§ 1.1 电路及其组成	(1)
§ 1.2 电流、电压、电动势及其参考方向	(2)
§ 1.3 欧姆定律、电阻及电导	(6)
§ 1.4 焦耳——楞次定律、电功率	(7)
§ 1.5 电气设备的额定值及电路的工作状态	(10)
§ 1.6 基尔霍夫定律	(13)
§ 1.7 电阻的串联和并联	(17)
§ 1.8 电路中的电位及其计算	(20)
小结和讨论	(22)
习题	(25)
第二章 电路的基本分析方法	(28)
§ 2.1 电压源和电流源及其等效变换	(28)
§ 2.2 支路电流法	(35)
§ 2.3 节点电压法	(37)
§ 2.4 叠加原理	(39)
§ 2.5 等效电源定理	(40)
§ 2.6 负载获得最大功率的条件	(46)
§ 2.7 非线性电阻电路	(48)
§ 2.8 受控电压源和受控电流源	(50)
小结和讨论	(54)
习题	(57)
第三章 单相交流电路	(61)
§ 3.1 正弦交流电路	(61)
§ 3.2 正弦交流电的表示法	(68)
§ 3.3 单一参数的交流电路	(72)
§ 3.4 电阻、电感和电容元件串联的交流电路	(84)
§ 3.5 阻抗的串联和并联	(94)
§ 3.6 正弦交流电路中的谐振	(98)
§ 3.7 功率因数的提高	(103)
§ 3.8 非正弦交流电路的概念	(105)
小结和讨论	(111)
习题	(115)

第四章 三相交流电路	(120)
§ 4.1 三相正弦交流电源	(120)
§ 4.2 三相电路中负载的联接	(123)
§ 4.3 安全用电常识	(129)
小结和讨论.....	(134)
习题.....	(134)
第五章 电路中的暂态分析	(136)
§ 5.1 概述	(136)
§ 5.2 换路定则	(137)
§ 5.3 RC 电路的暂态过程	(140)
§ 5.4 RL 电路的暂态过程	(149)
§ 5.5 RC 一阶电路在脉冲电压作用下的暂态过程	(154)
小结和讨论.....	(156)
习题.....	(157)

下篇 模拟电子技术

第六章 常用半导体二极管和三极管	(159)
§ 6.1 半导体的导电特性	(159)
§ 6.2 PN 结	(162)
§ 6.3 半导体二极管	(164)
§ 6.4 稳压管	(169)
§ 6.5 半导体三极管	(170)
§ 6.6 场效应管	(179)
小结和讨论.....	(187)
习题.....	(188)
第七章 基本放大电路	(191)
§ 7.1 晶体管共发射极放大电路	(191)
§ 7.2 静态工作点的稳定	(207)
§ 7.3 共集电极放大电路——射极输出器	(210)
§ 7.4 多级放大电路及级间耦合问题	(214)
§ 7.5 差动放大电路	(221)
§ 7.6 场效应管放大电路	(230)
小结和讨论.....	(233)
习题.....	(237)
第八章 负反馈放大电路	(241)
§ 8.1 负反馈的基本概念	(241)
§ 8.2 负反馈放大电路的类型	(244)
§ 8.3 负反馈对放大电路性能的影响	(250)

小结和讨论.....	(255)
习题.....	(256)
第九章 集成运算放大器.....	(259)
§ 9.1 集成运算放大器的简单介绍	(259)
§ 9.2 集成运算放大器在信号运算方面的应用	(267)
§ 9.3 集成运算放大器在信号测量方面的应用	(276)
§ 9.4 集成运算放大器在信号处理方面的应用	(279)
§ 9.5 波形产生电路	(293)
§ 9.6 集成运算放大器实际使用中的一些问题	(300)
小结和讨论.....	(303)
习题.....	(305)
第十章 集成功率放大器.....	(312)
§ 10.1 功率放大器的特殊问题.....	(312)
§ 10.2 互补对称功率放大电路.....	(314)
§ 10.3 集成功率放大器.....	(322)
小结和讨论.....	(324)
习题.....	(326)
第十一章 集成直流稳压电源.....	(328)
§ 11.1 单相整流电路.....	(328)
§ 11.2 滤波电路.....	(331)
§ 11.3 分立元件组成的直流稳压电路.....	(334)
§ 11.4 单片集成串联型线性直流稳压电路.....	(339)
§ 11.5 开关型集成稳压电路.....	(342)
小结和讨论.....	(346)
习题.....	(347)
附录.....	(350)
附录一.....	(350)
附录二.....	(351)
附录三.....	(354)
参考书目.....	(356)

第一章

电路的基本概念及基本定律

电路的基本概念及基本定律是电路分析的重要基础。为了深刻理解和掌握好本章的基本概念及基本定律,本章在复习物理中已介绍过的基本物理量——电流、电压和电动势的基础上提出这些物理量的参考方向的概念。本章讨论的基尔霍夫定律是主要内容之一,是学好电路和电子学的基础。

本章还要介绍电气设备额定值、电路的基本连接方式及电路的工作状态等内容。为了给分析电子线路打下基础,本章最后还介绍了电路中电位的概念及各点电位的计算。

§ 1.1 电路及其组成

一、电路及其组成

把一些电器设备或元器件,按其所要完成的功能用一定方式连接的组合称为电路。它是电流流通的路径。

电路由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源可将非电能如化学能、机械能、原子能等等转换成电能向电路提供能量。负载是指电路中能将吸收的电能转换为非电能如电灯、电动机、电热器等用电设备。中间环节是指将电源与负载连接成闭合电路的导线、开关设备、保护设备等,也常接有测量仪表或测量设备。

任何实际电路是由多种电气元器件所组成,例如最简单的手电筒电路或是一台电视机电路等。电路中各种元器件所表征的电磁现象和能量转换的特征一般都比较复杂,而按实际电气元器件来作出电路图有时也比较困难和繁杂,因此,在分析和计算实际电路时,是用理想电路元件及其组合来近似替代实际电气元器件所组成的实际电路。这种由理想元件组成的与实际电气元器件相对应的电路,并用统一规定的符号表示而构成的电路,就

是实际电路的模型,或称模型电路。

所谓理想电路元件,是指在一定条件下忽略了次要因素以后,把电气元件抽象为只含一个参数的理想电路元件,就如以后书中所讨论的电阻元件 R 、电感元件 L 和电容元件 C 等。

图 1-1(a)是按实物作出的手电筒电路的示意图。这是最简单的实际电路。它由电源(干电池)、小电珠(负载)和开关(中间环节)三部分组成。图 1-1(b)是它的模型电路,在图中干电池用电动势 E 和内阻 R_0 及规定的图符来表示,如虚线框内所示。负载小电珠则用电阻 R_L 和电阻图符表示。开关则用字母 S 及相应的图符如图中所示。连接导线的电阻值很小,一般都忽略不计而用直线表示。在今后的讨论中,都是以模型电路来代替实际电路而加以分析和计算的。

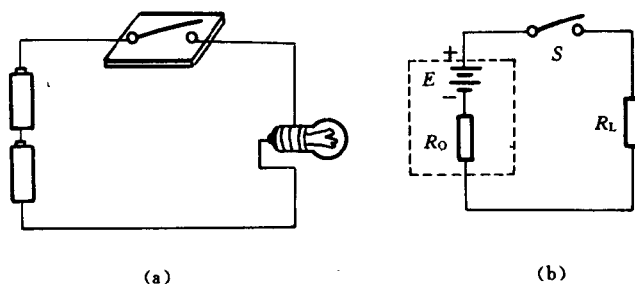


图 1-1 手电筒电路

通常,将电源内部的电路称为内电路,如虚线框内的电路。开关、负载电阻和连接导线则称为外电路。

二、电路的功能

电路的功能可概括为两大类:一是作为能量的传输或转换,如图 1-1 中电能通过导线传送给小电珠转换为光能;二是作为实现电信号的传递和处理,例如由计算机控制的自动检测恒温设备中,由热电偶感受温度变化而产生的电动势,通过滤波电路、放大电路及 A/D(模/数)转换器传送到计算机,经计算机处理后输出的信息,既经打印机记录现场实时的温度,又可驱动执行机构使设备的温度控制在规定的范围之内。

§ 1.2 电流、电压、电动势及其参考方向

一、电流

电流是由电荷作定向运动而形成。习惯上把正电荷运动的方向定为电流的实际方向。

图 1-2 为一段金属导体,负电荷(自由电子)在电场力的吸引下由 b 端向 a 端移动而形成电流,但其效果与等量的正电荷在电场力的作用下由 a 端向 b 端移动是一致的。因此,习惯上把导体中电流的实际方向(真实方向)定为正电荷在电场力作用下运动的方向,即由高电位向低电位运动的方向。在图 1-2 中,导体内电流的方向由 a 端流向 b 端。

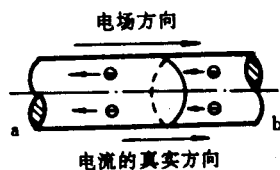


图 1-2 电流的真实方向

计量电流大小的物理量称为电流强度,简称电流。电流强度的定义为:单位时间内通过导体横截面的电量。如果任一瞬间,通过导体横截面的电量,其大小和方向都不随时间而变化,则电流强度

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

根据国家标准,不随时间变化的恒定物理量用大写字母表示,而随时间变化的物理量则用小写字母表示。因此,式(1-1)就是直流电流强度 I 的表示式。

随时间变化的电流其表示式则为

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

式中 q 是通过导体横截面随时间而变的电量, i 即为瞬时电流值。

在国际单位制(SI)中,电流的单位为安培,简称安。大型电力变压器中的电流可达几百到上千安培,而晶体管等电子电路中的电流往往仅为千分之几安培。对于很小的电流可用毫安(mA)或微安(μ A)甚至纳安(nA)作单位,它们的关系是:

$$1(\text{A}) = 10^3(\text{mA}) = 10^6(\mu\text{A}) = 10^9(\text{nA})$$

二、电压

在图 1-3 中,电池正极板 a 带正电荷,负极板 b 带负电荷,于是在极板 a、b 之间就存在电场。若用导线将电源极板与负载灯泡相联,则正电荷就在电场力的作用下从 a 板经导线、灯泡移动到 b 板,形成电流并使灯泡发光,这说明电场力作了功。为了衡量电场力对电荷作功能力的大小,引入了电压物理量。其定义为:a、b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于把单位正电荷从 a 点移到 b 点,电场力所作的功。用公式表示为:

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

式中字母都用大写字母表示,说明 ab 两点间的电压是直流电压。

电压也常用电位差来表示,即

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

式中 U_a 和 U_b 分别为 a、b 两点的电位。在图 1-3 中,正电荷在电场力作用下从 a 点经负载移到 b 点时,把电源的电能转换为灯丝的热能,即电源损失了电能,由此,正电荷在 a 点的电能大于 b 点,或说 a 点电位高于 b 点的电位。可见,电压的正值就是高电位与低

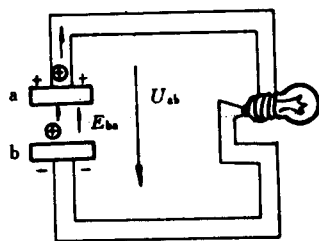


图 1-3 电荷运动回路

电位的电位差。因此,我们规定电压的方向就是电位降的方向,即由高电位端指向低电位端。通常高电位 a 端用“+”表示,低电位 b 端用“-”表示。图 1—3 中,用箭头标出电压的方向由 a 指向 b。

随时间变化的电压其表示式则为:

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-5)$$

式中 q 为 a 点移到 b 点随时间而变的电量, w 为电场力移动电荷 q 所作的功, u_{ab} 即为瞬时电压值。

在国际单位制中,电压的单位为伏特(V),简称伏。把 1 库仑(C)的正电荷从 a 点移到 b 点,电场力所作的功为 1 焦耳(J),则 a、b 两点间的电压为 1 伏(V)。

高电压与微小电压间的关系为

$$1(\text{kV}) = 10^3(\text{V}); \quad 1(\text{V}) = 10^3(\text{mV}) = 10^6(\mu\text{V})$$

三、电动势

在电场力的作用下,正电荷从高电位 a 点经过负载向低电位 b 点移动,形成电流如图 1—3 所示。正电荷由 a 移到 b 时,就要与 b 极板上的负电荷中和,使两极板间的电场逐步减小到消失,则电流也相应要减小到中断。为了使电流持续不断,在 a、b 极板之间必须有一种局外力(非电场力),它能把正电荷从低电位 b 极板通过电源内部推向高电位 a 极板而使 a、b 两电极间始终维持一定的电场强度,电源中的电源力就是完成这个任务的。在图 1—3 中,电源是一个电池,其内部的化学反应所产生的电源力(即局外力或非电场力)使得正电荷由低电位 b 电极通过电源内部被推向高电位 a 电极。由此,电源内部建立了电场,正、负电极间出现了电位差。在电路图中用 $\text{—}| \text{—}$ 表示电动势,左侧较长线段表示电源的正极。

电源力在电源内部不断地把正电荷从低电位点移向高电位点就要克服电场力(阻力作用)作功,才能维持电路中持续不断的电流流通。为了衡量电源力对电荷作功的能力,引入电动势这一物理量。其定义为:电源电动势 E_{ba} 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位点 b 经电源内部移到高电位点 a 所作的功。用公式表示:

$$E_{ba} = \frac{W}{Q} \quad (1-6)$$

式中 Q 是电源内部由电源力移动的电量, W 是电源力所作的功。

比较式(1—4)与式(1—6),可见电动势与电压具有相同的单位伏特(V)。

电动势与电压虽然单位相同,但两者物理概念却不同。在电源内部局外力将正电荷从电源负极移到正极作功,是将非电能转化为电能,是使正电荷获得电能而电位升高。因此,电动势的真实方向是由电源内部的负极指向电源的正极,即电位升高的方向。

综合图 1—3 可见,电源内部局外力做功,将非电能转化为电能,建立电动势维持两极间电压;而在外电路中,电场力做功,将电能转化为非电能。由于电源两极间存在电压,只要电路接通,电流就持续不断。在电源内部,电流由负极流向正极,即由低电位流向高电位,而在外电路中,电流是从高电位流向低电位,即电位降落的方向。

四、电流、电压的参考方向

在分析和计算较复杂的电路时,往往难以事先判断电流或电压的实际方向。为了解决这个问题,引出了参考方向的概念。参考方向可任意设定,图 1-4 电路中箭头所标方向就是电压和电流的参考方向。电动势的实际方向一般是已知的,由负极指向正极,如图中 E_1 和 E_2 (有时也将所标箭头省略)。电路中设定的电压和电流的参考方向可能与实际方向一致或相反,但不论属于哪种情况,都不会影响电路分析所得结论的正确性。

按参考方向求解得出的电压和电流值有两种可能。得正值,说明参考方向与实际方向一致,若为负值,则说明参考方向与实际方向相反。必须指出,电路中的电流或电压在未标明参考方向的前提下,讨论电流或电压的正、负值是没有意义的。

参考方向是任意设定的,但为分析计算方便起见,对同一个电路的无源元件,如电阻元件若设定了电流的参考方向,则将其电压的参考方向设定得与电流的参考方向一致,即所谓关联的参考方向。对电源的电动势和电流的参考方向也关联地设为一致。因电源两端的电压与电动势的实际方向相反,所以,电源两端的电压与电流为非关联参考方向。在图 1-4 中,电阻两端的电压与电流的参考方向,电动势与电流的参考方向都被设定为关联的参考方向(注意电源两端的电压与电流却是非关联方向)。

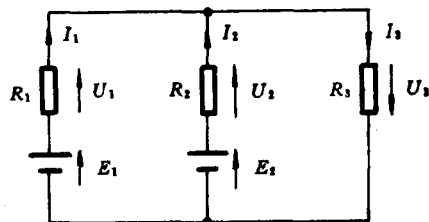


图 1-4 电流、电压的参考方向

例 1-1 在图 1-5(a)中,五个元件代表了电源或负载电阻,图中标出了电流和电压的参考方向。

已知: $U_1=100\text{V}$, $U_2=-70\text{V}$, $U_3=60\text{V}$, $U_4=-40\text{V}$, $U_5=10\text{V}$, $I_1=-4\text{A}$, $I_2=2\text{A}$, $I_3=6\text{A}$ 。试标出各电流的实际方向和电压的实际极性。

解:图中各元件都标出了电流、电压的参考方向,已知 U_1 、 U_3 、 U_5 、 I_2 和 I_3 的值为正,这表示实际方向与设定的参考方向一致。 U_2 、 U_4 、 I_1 为负值,表示实际方向与参考方向相反。因而得出如图 1-5(b)中箭头所标各元件的电压、电流的实际方向。电压的方向也可用“+”表示高电位端,如图中所示。

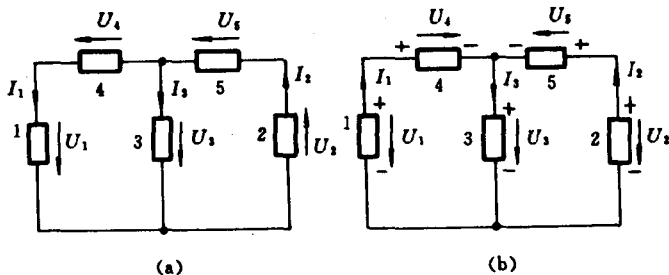


图 1-5 例 1-1 图

§ 1.3 欧姆定律、电阻及电导

一、欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一,它说明流过电阻的电流与该电阻两端电压之间的关系,反映了电阻元件的特性。

图 1-6(a)所示一段仅含电阻 R 的电路。欧姆定律表示流过电阻 R 的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比。其数学表示式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-7)$$

或为 $U = IR \quad (1-8)$

式(1-8)说明,电流 I 流过电阻 R ,两者的乘积 IR 就是电阻两端的电压或电阻两端的电压降。

应用欧姆定律时必须注意以下两点:

1. 式(1-7)及式(1-8)是在电阻两端电压 U 及其电流 I 的参考方向为关联时才能适用,如图 1-6(a)所示。若电压、电流的参考方向设定为非关联参考方向(即两者参考方向不一致),如图 1-6(b)所示,则欧姆定律表示为:

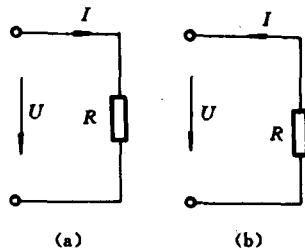


图 1-6 欧姆定律

$$I = -\frac{U}{R} \quad (1-9)$$

或 $U = -IR$

即欧姆定律的式子前要加“-”号。

2. 欧姆定律仅适用于阻值不随通过的电流或两端电压的变化而变化的电阻电路,称此电阻为线性电阻或线性电阻电路。严格地说,绝对的线性电阻是不存在的。但在一定条件下,当电流或电压在所应用的范围内,其电阻值相对地保持不变,则可将此电阻看作是线性电阻元件。

在国际单位制中,电阻的单位为欧姆(Ω),简称欧。通过 1 欧姆电阻的电流为 1 安培时,则该电阻两端的电压为 1 伏特。对于阻值很大的电阻可用千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)为单位。它们的关系是:

$$1 \text{ 兆欧}(M\Omega) = 10^3 \text{ 千欧}(k\Omega) = 10^6 \text{ 欧}(\Omega)$$

二、电导

电阻的倒数 $G = \frac{1}{R} \quad (1-10)$

称为电导。在国际单位制中,其单位为西门子,简称西(S)。

例 1-2 图 1-7 中,已知电流和电压的参考方向,试用欧姆定律求电阻 R 的数值。

已知图 1-7(a)中, $U=10\text{V}$, $I=-5\text{mA}$, 图 1-7(b)中, $U=-10\text{V}$, $I=0.5\text{A}$ 。

解: (1) 在图(a)中, 电压 U 与电流 I 的参考方向非关联, 则欧姆定律的表达式为

$$\begin{aligned} U &= -IR \\ \text{求得电阻 } R &= -\frac{U}{I} = -\frac{10\text{V}}{-5\text{mA}} \\ &= -\frac{10\text{V}}{-5 \times 10^{-3}\text{A}} = 2\text{k}\Omega \end{aligned}$$

(2) 在图(b)中, 电压 U 与电流 I 的参考方向也相反, 所以欧姆定律的表达式仍为

$$\begin{aligned} U &= -IR \\ \text{电阻 } R \text{ 为 } R &= -\frac{U}{I} = -\frac{-10\text{V}}{0.5\text{A}} = 20\Omega \end{aligned}$$

此例中, (a)、(b)两图中 U 与 I 的实际方向都是一致的。

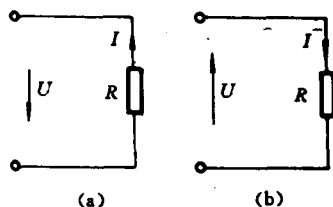


图 1-7 例 1-2 图

§ 1.4 焦耳——楞次定律、电功率

在电工中, 常用电功率这一术语。电功率简称为功率。电功率和电能的计算也是分析计算电路的一个重要方面。

在图 1-8 中, 电源电动势 E 提供电能, 如内阻很小, 可忽略。负载电阻 R 消耗电能。根据电压的定义可知, 正电荷 $Q(=It)$ 在电场力作用下, 由 a 点通过 R 移到 b 点时, 电场力所作的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-11)$$

这个功 W 就是电阻 R 在时间 t 内所吸收的电能, 并全部转换成热能 W_R , 而以热量的形式散发到周围。因为 $U=IR$ 所以电阻中的热能

$$W_R = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

在国际单位制中, 电能、热能的单位用焦耳(J)表示。

应用焦耳和卡之间的换算关系, 在时间 t 内电阻 R 中产生的热量等于

$$Q_R = 0.239 I^2 R t \text{ 卡} \quad (1-12)$$

这就是焦耳——楞次定律的表示式。

电阻吸收的电功率用 P_R 表示, 它是单位时间内电阻吸收的电能。

$$P_R = \frac{W_R}{t} = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-13)$$

根据电动势的定义, 电源电动势在 t 时间内对电路提供的电能为

$$W_E = EQ = EI t \quad (1-14)$$

电功率则为

$$P_E = \frac{W_E}{t} = EI \quad (1-15)$$

根据能量守恒定律, 并注意到式(1-12), 式(1-13)和式(1-14), 式(1-15), 在图 1-8 电路中, 电源提供的能量(功率)应正好等于负载电阻吸收的能量(功率)。

在国际单位制中,功率的单位用瓦特表示,简称瓦(W)。1瓦功率等于每秒产生(或消耗)1焦耳的功。工程上,常用千瓦时(kWh)表示 t 时间内产生(或消耗)电能的单位。1个千瓦时又称1度电。例如一个1000瓦的电炉加热一个小时,则耗电能为1度电。

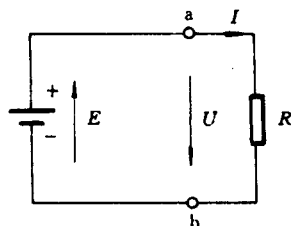


图 1-8 功率的计算

在图1-8电路中,电源电动势 E 、电阻 R 两端的电压 U (这里就是电源两端的电压)以及电路中电流 I 的参考方向都和实际方向相同。用式(1-13)和式(1-15)可分别求出电阻 R 消耗的功率 P_R 和电源产生的功率 P_E ,且两者相等,这是符合功率平衡关系的。由此,可得如下结论:当元件两端的电压与其中的电流,两者的实际方向相同时,该元件消耗功率;当元件两端的电压与其中的电流,两者的实际方向相反时,则该元件产生功率。

当电路中的元件,在事先不知道电压和电流的实际方向,应如何根据参考方向来计算该元件的功率,又怎样根据计算结果来判断该元件在电路中是作为电源还是作为负载(如蓄电池在电路中可处于放电或充电状态),这就是下面所要讨论的功率正、负值问题,以及如何根据计算所得功率的正、负值来判定该元件在电路中的性质(消耗还是产生功率)。

在图1-9(a)电路中,元件 A 的电压、电流设定为关联参考方向。用 $P=UI$ 公式来计算其功率时,如果 U 、 I 两者的参考方向均和实际方向相同(U 、 I 均为正值)或相反(U 、 I 均为负值)则计算结果必为 $P>0$ (正值),说明元件 A 的电压、电流的实际方向是一致的,元件 A 为负载性质,它可以是负载电阻或是处于充电状态的电源。

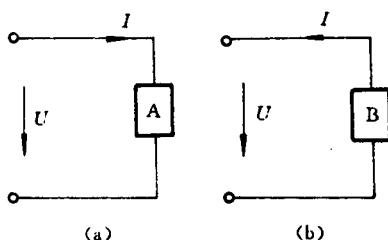


图 1-9 判定元件功率的性质

当电压、电流仍为关联参考方向,而 U 或 I 其中有一量为负值时,计算结果,必得 $P<0$ (负值),说明电压和电流的实际方向不一致,则元件 A 产生功率,即是电源。

在图1-9(b)电路中,元件 B 的电压、电流设定为非关联参考方向,必须用以下公式来计算,即

$$P = -UI \quad (1-16)$$

若 U 和 I 均为正值或均为负值,计算结果必为 $P<0$ (负值),说明元件 B 的电压、电流其实际方向确是相反的。因此,元件 B 产生功率,是电源性质。若 U 或 I 其中有一量为负值时,计算结果,必得 $P>0$ (正值),说明元件 B 的电压和电流的实际方向是一致的,它在电路中是负载性质。

综上,可得如下结论:

1. 当元件两端的电压和其中电流的参考方向为关联时,用 $P=UI$ 公式来计算该元件的功率;当元件两端的电压和其中的电流设为非关联参考方向时,则用 $P=-UI$ 公式来计算该元件的功率。

2. 按上述条件计算结果,若 $P>0$,该元件在电路中消耗功率,是负载;若 $P<0$,该元件在电路中产生功率,是电源。

例1-3 某车间有20盏220V、60W的白炽灯和20个220V、45W的电烙铁,平均每

天用电 8 小时(h),问每月(按 30 天计算)用电多少度?

解: $W = Pt = (60 \times 20 + 45 \times 20) \times 8 \times 30 = 504 \text{ kWh} = 504 \text{ 度(每月)}$

例 1—4 计算图 1-10 中各元件的功率,指出该元件是作电源还是作为负载。

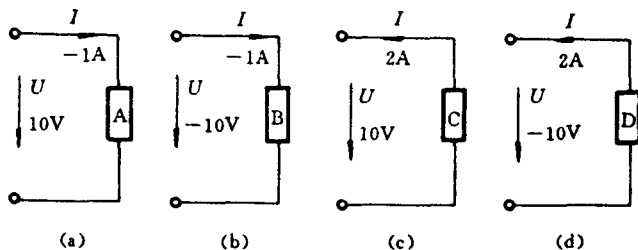


图 1-10 例 1-4 图

解:(a)图中,电压、电流为关联参考方向,所以

$$P = UI = (10) \times (-1) = -10 \text{ W} < 0 \quad \text{A 产生电能,为电源。}$$

(b)图中,电压、电流为关联参考方向,所以

$$P = UI = (-10) \times (-1) = 10 \text{ W} > 0 \quad \text{B 吸收电能,为负载。}$$

(c)图中,电压、电流为非关联参考方向,所以

$$P = -UI = -(10) \times 2 = -20 \text{ W} < 0 \quad \text{C 产生电能,为电源。}$$

(d)图中,电压、电流为非关联参考方向,所以

$$P = -UI = -(-10) \times (2) = 20 \text{ W} > 0 \quad \text{D 吸收电能,为负载。}$$

例 1—5 电路如图 1-11 所示,已知各物理量及参数值。各元件的电压及电路中电流的参考方向均标明在图上。虚线框内表示为电动势 E_1 及其内阻 R_0 。试计算各元件的功率及分析功率平衡关系。

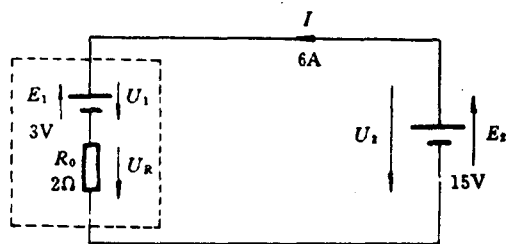


图 1-11 例 1-5 图

解:由图中已知条件先计算电源电动势 E_2 的功率。由 U_2 及 I 为非关联参考方向,可得

$$P_{E_2} = -U_2 I = -(15) \times (6) = -90 \text{ W} < 0$$

说明 E_2 产生功率,为电源。

E_1 两端电压 U_1 与 I 为关联参考方向,所以

$$P_{E_1} = U_1 I = (3) \times (6) = 18 \text{ W} > 0$$

说明 E_1 吸收功率,为负载。内阻 R_0 上的功率为

$$P_{R_0} = I^2 R_0 = 6^2 \times 2 = 72 \text{ W} > 0$$

计算结果,此电路中产生的功率和消耗的功率符合功率平衡关系,即 $P_{E_2} = P_{E_1} + P_{R_0}$

例 1—6 在图 1-12 中,已知 U 、 I 的参考方向, $U = -9 \text{ V}$,元件 A 吸收功率 36W,求 I 。

解:由于 U 、 I 为关联方向,且 $P > 0$,所以

$$P = UI = (-9)I = 36 \text{ W}$$

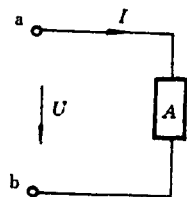


图 1-12 例 1-6 图

$$\text{得: } I = \frac{36}{(-9)} = -4\text{A}$$

说明电流的实际方向是由 b 点经负载流向 a 点, U 、 I 的实际方向一致, 所以 A 吸收功率, 是负载。

例 1-7 在图 1-13 中, 元件 B 产生功率为 150mW, $I=10\text{mA}$, 求 U 。

解: 由于元件 B 上的 U 及 I 为非关联参考方向, 所以 $P=-UI$, 而 $P<0$ (产生)

$$\text{得: } U = -\frac{P}{I} = -\frac{(-150 \times 10^{-3})}{10 \times 10^{-3}} = 15\text{V}$$

说明元件 B 两端电压的实际方向与参考方向一致, 与 I 的实际方向相反, 所以 B 产生功率, 是电源。

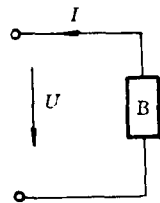


图 1-13 例 1-7 图

§ 1.5 电气设备的额定值及电路的工作状态

一、电气设备的额定值

电气设备的额定值是制造厂家提供的。它是根据设计、材料及制造工艺等因素, 由制造厂家所给出的设备的各项性能指标和技术数据。按额定值使用电气设备最为安全可靠、经济合理。额定值往往标在设备的铭牌上或载在说明书中, 所以在使用电气设备之前必须仔细阅读铭牌和说明书。

额定值包括额定功率、额定电压、额定电流、额定温升等等。铭牌上只给出主要的额定值, 有的可据此而求得其它的额定值。例如一个标有 1W 、 400Ω 的电阻, 即表示该电阻的阻值为 400Ω , 额定功率为 1W , 由 $P=I^2R$ 的关系, 可求得它的额定电流为 0.05A 。

额定值是规定设备运行时所允许的上限值。超过额定值运行, 设备将遭到毁坏或缩短使用寿命。例如上述电阻在使用中电流值超过 0.05A 时, 就会使电阻过热, 严重时甚至立即损坏。在低于额定值使用设备也是不可取的, 如 220V 、 100W 的电烙铁, 在低于 220V 电压下使用时, 则不能充分发挥其效果, 既不经济也不合理。

二、电路的三种工作状态

当电源与负载通过中间环节连接成电路后, 电路可能处于通路(有载)、开路 and 短路三种不同的工作状态。今以图 1-14 所示最简单的直流电路为例, 分别讨论三种工作状态下, 电路中电流、电压和功率等特点。

1. 通路(有载)

在图 1-14(a)中, FU 为熔断器, 当开关 S 闭合, 电源与负载接通, 称电路处于通路状态。电路中的电流, 也是电源的输出电流