



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电工技术

熊伟林 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

中等职业教育国家规划教材

电工技术

熊伟林 主编

刘蕴陶 责任主审

王鸿明 温照方 审稿

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书严格按照教育部2000年颁布的《中等职业学校电工技术教学大纲(试行)》编写。全书主要包括直流电路、单相交流电路、三相交流电路、变压器、电工仪表及测量、电机、电动机的控制、供电及用电、实验等部分。本书积极改进教学方法,充分调动学生学习的主动性和积极性,启迪学生的科学思维,注意理论联系实际,注意电工技术的新发展,重视实验,力求体现中等职业教育的新特点。

本书适宜中等职业学校机制类(3/4年制)专业的学生使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/熊伟林主编. —北京:电子工业出版社,2001.6

(中等职业学校国家规划教材)

ISBN 7-5053-6329-8

I. 电… II. 熊… III. 电工技术—专业学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 035146 号

丛 书 名: 中等职业教育国家规划教材

书 名: 电工技术

主 编: 熊伟林

责任主审: 刘蕴陶

审 稿: 王鸿明 温照方

责任编辑: 刘文杰

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京市朝阳区隆华印刷厂

装 订 者: 三河市新伟装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 11.5 字数: 252 千字

版 次: 2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6329-8
TN·1414

印 数: 8 000 册 定价: 12.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神,教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从 2001 年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为教材选用提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 5 月

前 言

本教材根据教育部 2000 年颁布的《面向 21 世纪中等职业学校国家规划教材电工技术教学大纲》编写。本课程是中等职业学校开设电类知识要求较高的机械制造类专业需学的技术基础课程。它的任务是:使学生具备高素质劳动者和中初级专门人才所必需的电工基本知识和基本技能;为学生学习专业知识和职业技能,提高全面素质,增强适应职业变化的能力和继续学习的能力打下一定的基础。

本教材力求体现教学内容适宜、适度、通观全面、确定重点、重视实验、化难为易、层次分明的特点,同时也力求体现应用、实用、价值、实践的原则和中等职业教育的特点。

本教材主要包括直流电路、单相交流电路、三相交流电路、变压器、电工仪表及测量、电机、电动机的控制、供电及用电、实验等内容,适合该专业三年制和四年制 50~70 学时不同的教学需要。其中全部内容的授课学时为 70 学时,若授课为 50 学时,则应不包括标有“*”号的章节内容。

本教材针对中职学生现有水平,回避了繁杂和冗长的数学推导或计算过程,避免其掩盖重要的物理概念,对于基本概念和基本理论(定理或定律)的阐述以定性解释为主,定量计算为辅,易于学生掌握电工技术的重要概念和定理、定律。

本课程在教学方式、方法上有所突破和创新,注重调动学生学习的主动性和积极性,启迪学生的科学思维,注意理论联系实际,注意电工技术的新发展,培养学生的主动自学能力。建议对某些章节,学生可以通过在课余时间自学来完成,并以能否正确回答书中的问题作为检验自学效果。

要学好《电工技术》课程,必须通过解决一些实际问题来加强。本教材每章后配有适量的习题,多数习题可以在理论分析和计算后,到实验室中进行实验。如能将理论预测和实验结果加以比较,并作出一定的分析和解释,会取得很好的学习效果。

本教材第 1~5 章由熊伟林执笔,第 6~7 章由朱中林执笔,第 8 章由熊伟林与李学礼共同执笔,第 9 章由熊伟林与朱中林共同执笔。全书由熊伟林主编,李永刚审校。北京信息职业技术学院副院长陈衍洪高级工程师、北京仪器仪表工业学校蒋湘若高级讲师对本书的编写大纲和编写审定工作提出了许多宝贵意见。同时,教育部特邀刘蕴陶、王鸿明、温照方等对全书进行了审定。编者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,欢迎读者批评指正。

编 者

2001 年 2 月

目 录

第 1 章 直流电路	(1)
1.1 电路的基本物理量	(1)
1.1.1 电路与电路模型	(1)
1.1.2 电流	(2)
1.1.3 电压	(3)
1.1.4 电位	(4)
1.1.5 电功率与电能	(4)
1.2 电路中的基本元件	(6)
1.2.1* 电压源及其电动势	(6)
1.2.2* 电流源	(7)
1.2.3 电阻元件	(7)
1.2.4 电感元件	(10)
1.2.5 电容元件	(11)
1.3 电路的基本规律	(13)
1.3.1 常用电路名词	(13)
1.3.2 基尔霍夫第一定律——电流定律(KCL)	(13)
1.3.3 基尔霍夫第二定律——电压定律(KVL)	(14)
1.4* 电路定理	(16)
1.4.1 叠加定理	(16)
1.4.2 等效电源定理	(17)
本章小结	(19)
习题一	(20)
第 2 章 单相交流电路	(23)
2.1 正弦交流电的基本概念	(23)
2.1.1 正弦交流电压与电流	(23)
2.1.2 正弦量的各种数值	(24)
2.1.3 相位差	(25)
2.1.4 正弦量的相量表示法	(25)
2.2 R、L、C 元件的交流特性	(28)
2.2.1 电阻元件 R	(28)
2.2.2 电感元件 L	(28)
2.2.3 电容元件 C	(30)
2.3 串联电路及其谐振	(32)
2.3.1 RLC 串联电路的等效阻抗	(32)

2.3.2 电压关系	(33)
2.3.3* RLC 串联电路的谐振	(34)
2.4 并联电路及其谐振	(36)
2.4.1 一般分析方法	(36)
2.4.2 并联电路的分析举例	(36)
2.4.3* RLC 并联电路的谐振	(37)
2.5 感性负载及功率因数的提高	(39)
2.5.1 交流电路的功率	(39)
2.5.2 提高感性负载功率因数的意义	(40)
2.5.3 提高功率因数的方法	(40)
本章小结	(41)
习题二	(43)
第 3 章 三相交流电路	(45)
3.1 对称三相电源	(45)
3.1.1 对称三相电动势与电压	(45)
3.1.2 三相电源的接法	(46)
3.2 对称三相负载	(47)
3.2.1 三相负载的 Y 形联接	(47)
3.2.2 三相负载的 Δ 形联接	(48)
3.3 三相电路的功率	(48)
3.3.1 Y 形负载的功率	(48)
3.3.2 Δ 形负载的功率	(49)
本章小结	(49)
习题三	(49)
第 4 章 变压器	(51)
4.1* 铁磁材料与磁路的基本概念	(51)
4.1.1 磁场的基本物理量	(51)
4.1.2* 铁磁材料的基本性能及应用	(53)
4.1.3 磁路	(54)
4.1.4 交流铁心线圈	(56)
4.2 单相变压器的结构和工作原理	(56)
4.2.1 单相变压器的基本结构	(56)
4.2.2 变压器的工作原理	(57)
4.3 变压器的运行特性	(59)
4.3.1 变压器的额定值	(59)
4.3.2 输出电压与效率	(59)
4.4* 常见变压器	(60)
4.4.1 三相变压器	(60)
4.4.2 自耦变压器	(61)
4.4.3 仪用变压器	(61)

本章小结	(62)
习题四	(63)
第5章 电工仪表及测量	(65)
5.1 电工测量仪表的分类	(65)
5.1.1 仪表的分类	(65)
5.1.2 电工仪表的型号	(66)
5.1.3 常用的电工测量方法	(67)
5.2 电流与电压的测量	(68)
5.2.1 电流与电压的测量方法	(68)
5.2.2 电流表与电压表的选择	(70)
5.2.3 万用表	(71)
5.3 电阻的测量	(73)
5.3.1 电阻的测量方法分类	(74)
5.3.2 用电压表、电流表测量直流电阻	(74)
5.3.3 兆欧表	(76)
5.3.4 接地电阻的常识	(77)
5.4 电功率与电能的测量	(78)
5.4.1 电功率的测量	(78)
5.4.2 电能的测量	(80)
本章小结	(82)
习题五	(83)
第6章 电机	(85)
6.1 三相异步电动机的结构与工作原理	(85)
6.1.1 三相异步电动机的结构	(85)
6.1.2 三相异步电动机的旋转原理	(86)
6.2 三相异步电动机的特性	(90)
6.2.1 三相异步电动机的定子电路与转子电路	(90)
6.2.2 三相异步电动机的功率和转矩	(92)
6.2.3 三相异步电动机的机械特性	(93)
6.3 三相异步电动机的使用与维护	(95)
6.4 单相异步电动机	(97)
6.4.1 单相异步电动机的基本原理	(98)
6.4.2 各种类型的单相异步电动机	(99)
6.5* 直流电动机	(101)
6.5.1 直流电动机的结构	(101)
6.5.2 直流电动机的工作原理	(103)
6.5.3 直流电机的电枢电势和电磁转矩	(103)
6.6* 常用特种电机简介	(104)
6.6.1 伺服电动机	(104)
6.6.2 测速发电机	(104)

6.6.3 步进电动机	(104)
6.6.4 微型同步电动机	(105)
本章小结	(105)
习题六	(105)
第7章 电动机的控制	(107)
7.1 常用低压电器	(107)
7.2 三相异步电动机的起动、制动与调速	(114)
7.2.1 鼠笼式电动机的起动	(114)
7.2.2 绕线式电动机的起动	(115)
7.2.3 三相异步电动机的制动	(116)
7.2.4 异步电动机的调速	(118)
7.3 单机异步电动机简单电气控制电路	(121)
7.3.1 控制电路图的基本知识	(121)
7.3.2 单相异步电动机的基本控制环节	(124)
本章小结	(130)
习题七	(131)
第8章 供电及用电	(132)
8.1 供电与配电	(132)
8.1.1 电力系统	(132)
8.1.2 工厂供电系统	(134)
8.2 安全用电	(135)
8.2.1 触电事故及其防护	(135)
8.2.2 防止触电的技术措施	(136)
8.2.3 电气设备的保护措施	(137)
8.3 节约用电	(138)
8.3.1 节约用电的意义	(138)
8.3.2 节约电能的一般措施	(138)
8.3.3 工厂供电系统的技术改造	(139)
8.4 常见换能器件	(139)
8.4.1 电-热相互转换器件	(139)
8.4.2 电-光相互转换器件	(141)
8.4.3 电-声相互转换器件	(142)
8.4.4 电能-化学能相互转换	(143)
本章小结	(145)
习题八	(146)
第9章 实验	(148)
9.1 基尔霍夫定律及电位的测定实验	(148)
9.2 三相负载联接的实验	(149)
9.3 万用表的原理电路实训	(152)
9.4 三相异步电动机的直接起动控制电路实训	(154)

9.5 单相异步电动机的控制电路实训	(155)
9.6 荧光灯电路的安装与提高功率因数的实训	(158)
9.7* 单相正弦交流电路与调压器的实验	(159)
9.8* 三相异步电动机的 Y/ Δ 形降压起动实训	(162)
9.9* 三相异步电动机的简单测试方法实训	(163)
9.10* 常用单相交流电源板制作实验	(163)
9.11* 单相变压器的实验	(164)
9.12* C620-1 型车床控制电路的模拟安装实验	(165)
9.13* 实用交流调压电路实验	(168)
9.14* 单缸洗衣机模拟控制电路实验	(168)
9.15* 特殊电机应用实验	(168)
部分习题参考答案	(169)

第1章 直流电路

本章首先复习在物理课中学习过的电路基本物理量(电流、电压、电位、电功率与电能等),然后学习电路中基本元件(电压源、电流源、电阻、电容、电感)的主要特性和电路模型、符号,最后讨论电路普遍遵循的基本规律(即基尔霍夫电流定律与电压定律)和线性电路定理。本章内容是继续学习本课程各部分知识的前提,也是学习其他与电工、电子技术有关课程的重要基础。

1.1 电路的基本物理量

1.1.1 电路与电路模型

1. 电路的基本组成

什么是电路?电路由哪些部分组成?通过观察日常电路[例如简单的手电筒电路结构,如图1.1(a)]可以知道:电路是由各种元器件(或电工设备)按一定方式联接起来的总体,为电流的流通提供了路径。电路的基本组成包括以下四个部分:

- (1)电源(供能元件):为电路提供电能的设备和器件(如电池、发电机等);
- (2)负载(耗能元件):使用(消耗)电能的设备和器件(如灯泡等常用电器);
- (3)控制设备和器件:控制电路的工作状态(如开关、保险丝等);
- (4)联接导线:将电器设备和元器件按一定方式联接起来(如各种铜铝电缆线等)。

2. 电路模型

由于电路是由电特性相当复杂的元器件组成,为了便于使用数学方法对电路进行分析,从而获得具有普遍意义的电路规律,所以要将电路实体中的各种电器设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元件(模型)来代替,而对实际电器设备和元器件的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。例如,图1.1(a)中的电池可用

图1.1(b)中的电压源 U_s 模型表示,因为在电路中只需要考虑作为电源的电池所能够提供的电压大小及其极性。灯泡在电路中作为负载,只需要考虑其消耗电能的特性,可用电阻 R 模型表示。

由理想元件构成的电路称为实际电路的电路模型(也可以称为实际电路的电路原理图,简称为电路图)。例如图1.1中的图(b)是图(a)的电路模型。

电路的功能繁多,但从总体来说主要有两个方面:一是进行能量的传输、分配和转换;二是进行信息的传递、处理和运算。

电路问题主要分为两大类:一是电路的分析——按已经给定的电路结构及参数分析电路的功能并计算电流、电压、功率等各种物理量;二是电路的综合——按给定的电气特性要求实现一个电路,即确定电路的结构以及组成电路的元器件类型和参数。

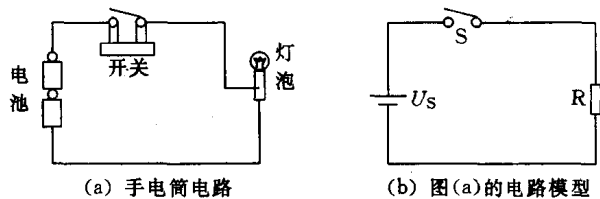


图 1.1 电路及其电路模型

1.1.2 电流

1. 电流的基本概念

电路中电荷沿着导体的定向运动即形成电流,其方向规定为正电荷流动的方向(或负电荷流动的反方向),其大小等于在单位时间内通过导体横截面的电量,称为电流强度(简称电流),用符号 I 或 $i(t)$ 表示。讨论交流电流时可用 i 符号表示。

设在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内,通过导体横截面的电荷量为 $\Delta Q = Q_2 - Q_1$,则在 Δt 时间内的电流强度用数学公式表示为

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

式中, Δt 为很小的时间间隔,时间的国际单位制(SI制)为秒(s);电量 ΔQ 的 SI 制单位为库仑(C);电流 $i(t)$ 的 SI 制单位为安培(A),常用的电流单位还有毫安(mA)、微安(μA)、千安(kA)等,它们与 A 的换算关系为 $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$; $1\mu A = 10^{-6}\text{A}$; $1\text{kA} = 10^3\text{A}$ 。

式(1-1)式表明电流等于通过导体横截面电荷量随时间的变化率。



图 1.2 电流参考方向的表示方法

为了分析电路的方便,通常需要在所研究的一段电路中事先选定(即假定)电流流动的方向,称作电流的参考方向。其表示方法主要有两种,如图 1.2 所示。

电流的实际方向可以根据 i 数值的正、负来判断,当 $i > 0$ (或 $i_{ab} > 0$) 时,表明电流的实际方向与所标定的参考方向一致;当 $i < 0$ (或 $i_{ab} < 0$) 时,则表明电流的实际方向与所标定的参考方向相反。例如,在图 1.3 中,运用物理中所学的电路知识可知,图(a)中的电流 $I = 0.2\text{A}$, (b)中的电流 $I = -0.2\text{A}$ 。

2. 直流电流

如果电流的大小及方向不随时间变化,任何时刻在单位时间内通过导体横截面的电量均相等,即通过导体横截面的电荷量随时间的变化率为某一常数,则称之为稳恒电流或恒定电流,简称为直流(Direct Current),记为 DC 或 dc。直流电流用大写字母 I 表示。显然,对于直流电来说,式(1-1)式可以写作

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \text{常数} \quad (1-2)$$

直流电流 I 与时间 t 的关系在 I - t 坐标系中为一条与时间轴平行的直线,如图 1.4 所示。

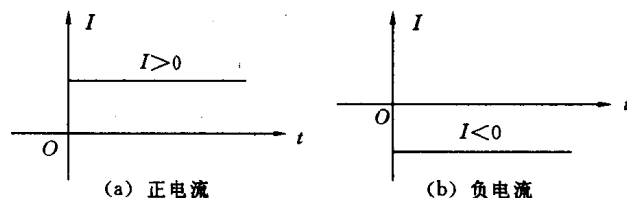


图 1.4 直流电流波形示意图

3. 交流电流

如果电流的大小及方向随时间变化则称为变动电流。对电路分析来说,重要的变动电流是正弦交流电流(简称正弦电流),其大小及方向均随时间按正弦规律作周期性变化,将之简称为交流(Alternating Current),记为 AC 或 ac。交流电流要用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示。典型的正弦波形如图 1.5 所示。

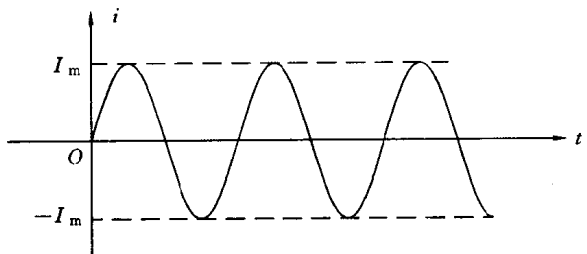


图 1.5 正弦交流电流波形图

除了直流与交流两种重要的电流外,在电工与电子技术中,还有多种其他形式的电流波形,本书不再赘述。

1.2.3 电压

1. 电压的基本概念

电压是电路分析中所必需的另一个基本物理量。确切地说,“电压”是指电路中两点 a、b 之间的电位差,其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 a 点移动到 b 点所作的功。电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。

电压的 SI 制单位为伏特(V),常用的单位还有毫伏(mV)、微伏(μ V)、千伏(kV)等,它们与 V 的换算关系为: $1\text{kV}=10^3\text{V}$; $1\text{mV}=10^{-3}\text{V}$; $1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$ 。

同样,为分析电路的方便,通常在一段电路中事先选定(假定)电压方向,叫做电压的参考方向。其表示方法通常有三种,如图 1.6 所示。

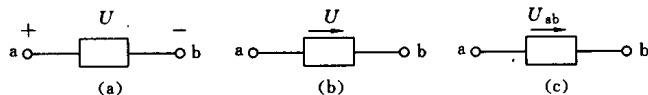


图 1.6 电压参考方向的表示方法

电压的实际方向可以根据 U 数值的正、负来判断:当 $U>0$ (或 $U_{ab}>0$) 时,电压的实际方向与所标定的参考方向一致;当 $U<0$ (或 $U_{ab}<0$) 时,电压的实际方向与所标定的参考方向相反。

例如,在图 1.3 中,对于 50Ω 电阻两端的电压,图(a)中的电压 $U=10\text{V}$ (或 $U_{ab}=10\text{V}$),即该电压的实际方向与所标定的参考方向一致,且表明 a 点的电位高于 b 点电位;图(b)中的电压 $U=-10\text{V}$ (或 $U_{ba}=-10\text{V}$),即该电压的实际方向与所标定的参考方向相反,且表明 b 点的电位低于 a 点电位。

2. 直流电压

如果电压的大小及方向不随时间变化,则称之为稳恒电压或恒定电压,简称为直流电压,用大写字母 U 表示。直流电压 U 与时间 t 的关系在 $U-t$ 坐标系中为一条与时间轴平行的直线(与图 1.4 直流电流波形类似)。

3. 交流电压

如果电压的大小及方向随时间变化,则称为变动电压。对电路分析来说,重要的变动电压是正弦交流电压(简称交流电压),其大小及方向均随时间按正弦规律作周期性变化。交流电压用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示。正弦交流电压的波形与图 1.5 类似。

1.1.4 电位

1. 电位参考点(即零电位点)

在电路中选定某一点 0 为电位参考点,规定此点的电位为零,即 $U_0=0$ 。电位参考点的选择方法是:

- (1)在工程中常选大地作为电位参考点;
- (2)在电子线路中,常选一条特定的公共线作为电位参考点。

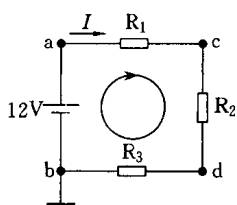
在电路中通常用符号“ $\perp$ ”标出电位参考点。

2. 电位的定义

电路中某一点 a 的电位 U_a 是该点到电位参考点 0 的电压(a、0 两点间的电位差),即

$$U_a = U_{a0} \quad (1-3)$$

【例 1.1】如图 1.7 所示,已知: $R_1=10\Omega$, $R_2=20\Omega$, $R_3=30\Omega$ 。试求 a、c、d 各点的电位 U_a 、 U_c 、 U_d (b 为电位参考点)。



解: 选择顺时针回路绕行方向,先确定回路中的电流 I 。

$$(R_1 + R_2 + R_3)I = 12V, \text{ 即 } 60I = 12, I = 0.2A$$

$$\text{a 点的电位: } U_a = U_{ab} = 12V$$

$$\text{c 点的电位: } U_c = U_{cb} = (R_2 + R_3)I = 50 \times 0.2 = 10V$$

$$\text{d 点的电位: } U_d = U_{db} = R_3I = 30 \times 0.2 = 6V$$

必须注意,电路中两点间的电位差(即电压)是绝对的,不随电位参考点的不同而发生变化,即电压值与电位参考点无关;而电路中某点的电位则相对电位参考点而言。电位参考点不同,各点电位值也将不同。例如,在上例题中,以 b 点为电位参考点时,c 点的电位 $U_c = U_{cb} = 10V$;如果改为以 d 点为电位参考点,即 d 点的电位 $U_d = 0V$,则 c 点的电位变为 $U_c = U_{cd} = R_2I = 4V$ 。

图 1.7 例题 1.1 用图

1.1.5 电功率与电能

1. 电功率

一个电路最终的目的是电源将一定的电功率(简称为功率)传送给负载,负载将电能转换成工作所需要的一定形式的能量,即电路中存在发出功率的器件(供能元件)和吸收功率的器件(耗能元件)。功率所表示的物理意义是电路元件或设备在单位时间内吸收或发出的电能。如图 1.8 所示任意二端元件(可推广到一般二端网络)的功率 P

可由下式计算

$$P = \pm UI \quad (1-4)$$

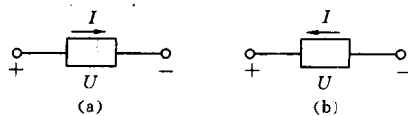


图 1.8 功率公式的说明

当电压 U 与电流 I 的参考方向相同时[如图 1.8(a)],叫做 U 与 I 为关联参考方向,式(1-4)右边选取“+”号;当电压 U 与电流 I 的参考方向相反时[如图 1.8(b)],叫做 U 与 I 为非关联参考方向,式(1-4)右边选取“-”号。在此规定下,当 $P > 0$ 时,表明元件耗能(吸收功率);当 $P < 0$ 时,表明元件供能(发出功率);当 $P = 0$ 时,表明元件既不供能也不耗能。

功率的 SI 制单位为瓦(W),常用的还有毫瓦(mW)、千瓦(kW),它们与 W 的换算关系是 $1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$; $1\text{kW} = 10^3\text{W}$ 。

【例 1.2】判断图 1.9 中各元件的功率情况(即指出元件是供能的还是耗能的)。

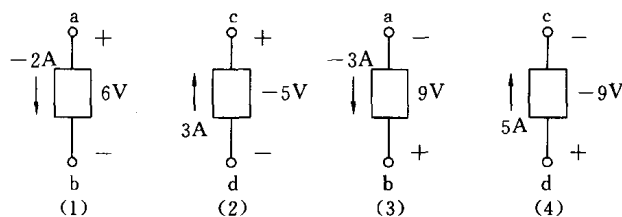


图 1.9 例题 1.2 用图

解：(1) 因 U 与 I 的参考方向相同，应选择公式 $P=UI$ ，其中 $U=6\text{V}$ ， $I=-2\text{A}$ ，

故 $P=6 \times (-2) = -12\text{W}$ ，表明该元件是供能的，发出功率 12W 。

(2) 因 U 与 I 的参考方向相反，应选择公式 $P=-UI$ ，其中 $U=-5\text{V}$ ， $I=3\text{A}$ ，

故 $P=-(-5) \times 3 = 15\text{W}$ ，表明该元件是耗能的，吸收功率 15W 。

(3) 因 U 与 I 的参考方向相反，应选择公式 $P=-UI$ ，其中 $U=9\text{V}$ ， $I=-3\text{A}$ ，

故 $P=-9 \times (-3) = 27\text{W}$ ，表明该元件是耗能的，吸收功率 27W ；

(4) 因 U 与 I 的参考方向相同，应选择公式 $P=UI$ ，其中 $U=-9\text{V}$ ， $I=5\text{A}$ ，

故 $P=(-9) \times 5 = -45\text{W}$ ，表明该元件是供能的，发出功率 45W 。

2. 电能

电能是指在一定的时间内电路元件或设备吸收或发出的电能量，用符号 W 表示，其 SI 制单位为焦耳(J)。电能的计算公式为

$$W = P \cdot t = UI t \quad (1-5)$$

通常电能用“度”表示其大小：1 度(电) = $1\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·小时) = $3.6 \times 10^6\text{J}$ ，即功率为 1000W 的供能或耗能元件，在 1 小时的时间内所发出或消耗的电能量为 1 度，合为 $3.6 \times 10^6\text{J}$ 。

【例 1.3】有一功率为 60W 的电灯，每天使用的照明时间为 4 小时，如果平均每月按 30 天计算，那么每月消耗的电能是多少度？合为多少焦耳？

解：该电灯平均每月工作时间 $t = 4 \times 30 = 120\text{h}$ ，故 $W = P \cdot t = 60 \times 120 = 7200\text{W} \cdot \text{h} = 7.2\text{kW} \cdot \text{h}$ ，即每月消耗的电能 7.2 度。合为 $3.6 \times 10^6 \times 7.2 \approx 2.6 \times 10^7\text{J}$ 。

3. 电气设备的额定值

为了保证电气设备和电路元件能够长期安全地正常工作，生产部门规定了该产品的额定电压、额定电流、额定功率等铭牌数据。电气设备或元件所允许施加的最大电压叫做额定电压；允许通过的最大电流叫做额定电流；在额定电压和额定电流下消耗的功率叫做额定功率，即允许消耗的最大功率。铭牌标在电气设备或元件上的明显位置。

电气设备或元件在额定功率下的工作状态叫做额定工作状态，也称满载状态。低于额定功率的工作状态叫做轻载状态；高于额定功率的工作状态叫做过载或超载状态。轻载时电气设备不能得到充分利用或根本无法正常工作，过载时电气设备容易被烧坏或造成严重事故。因此，轻载和过载都是不正常的工作状态。

电路所处的状态有三种：开路状态、短路状态和通路状态。开路时电路中没有电流通过，称为空载；短路时对电源来说属于严重过载，输出电流过大，如果没有保护措施，电源会被烧毁或发生火灾，所以通常要在电路或电气设备中安装熔断器等保险装置，以避免发生短路时出现不良后果；通路状态是指电源与负载接通，电路中有电流通过，电气设备或元件获得一定的电压和电功率进行能量转换。

1.2 电路中的基本元件

电路中的基本元件主要包括电源(电压源与电流源)、电阻、电感与电容等,它们的基本特性使电路具有丰富多彩的功能。掌握这些基本元件的特性对学习各种电路的功能十分重要。可以说,如果不了解常用基本元件的电路特性,就谈不上懂得电工技术的基本知识。

1.2.1* 电压源及其电动势

1. 电压源

通常所说的电压源一般是指理想电压源。其基本特性是其端电压(U_S)保持固定不变或是一定的时间函数 $u_S(t)$, 而与通过它的电流大小及方向无关,但电压源输出的电流却与外电路有关。实际电压源是含有一定内阻 R_i 的电压源。各种电压源的电路符号如图 1.10 所示,其中(a)、(b)为理想直流电压源(简称恒压源), (c)为理想交流电压源, (d)为实际直流电压源, (e)为实际交流电压源。

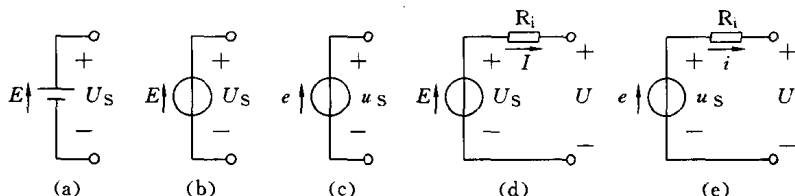


图 1.10 几种电压源的电路符号

2. 电动势

在依靠电源供能的电路中,电源对电路的作用可以维持电流在闭合的导体回路(闭合电路)中按一定强度进行流通。其原因在于电源内部存在着一种非静电力(称为电源力),电源力使电源中的负电荷向其中一个极聚集,该极称作电源的负极(阴极“—”),电源的另外一个极称作正极(阳极“+”),正负极之间形成电位差(电压),即电源对外电路产生一定的端电压。衡量电源的电源力大小及其方向的物理量叫做电源的电动势,通常用符号 E 或 $e(t)$ 表示。 E 表示大小与方向恒定的电动势(即直流电源的电动势), $e(t)$ 表示大小和方向随时间变化的电动势(如按正弦规律变化的交流电动势)。 $e(t)$ 也可简记为 e 。电动势的 SI 制单位为伏特(V)。

电动势的大小等于电源力把单位正电荷从电源的负极经过电源内部移到电源正极所作的功,也等于电源两极间开路(外电路不接通)时的电位差(电压源的端电压)。在图 1.10 所示的各电压源符号中,即有 $E=U_S$ 或 $e=u_S$ 。电动势的实际方向为从电源的实际负极经过电源内部指向电源的实际正极,即与电源端电压的实际方向相反。

用实验方法只需使用一只直流电压表即可测定某一直流电压源的电动势或端电压的大小和方向。方法是电压表的红、黑两支表笔直接接到电压源的两极(注意先使用较高的量程),电压源不要接任何外电路。如果电压表指针发生反偏,可将电压表的两支表笔调换过来。当电压表指针发生正偏时,说明与电压表红色表笔相接的一极为电压源的正极,与电压表黑色表笔相接的一极为电压源的负极,再选择合适的量程,即可读出电压源的端电压数值(也是电动势的数值)。电动势的方向是从电压源的负极指向正极,端电压的方向则是从电压源的正极指向负极。

值得注意的是,由于交流电压源的电动势(或端电压)大小和方向均随时间作周期性变化,所以只能使用交流电压表测定交流电压源的电动势(或端电压)大小(即有效值),而无法测定其方

向。无论是对直流电源还是交流电源,在分析电路时,通常都要假定其电动势(或端电压)的方向,即选定电动势(或端电压)的参考方向,以便分析电路的工作情况。

1.2.2 电流源

1. 电流源

通常所说的电流源一般是指理想电流源,其基本特性是其发出的电流固定不变(I_S)或是一定的时间函数 $i_S(t)$,而与它的端电压无关。电流源的端电压与外电路有关。实际电流源是含有一定内阻 R_S 的电源。各种电流源的电路符号如图 1.11 所示,其中(a)为理想直流电流源(也称为恒流源),(b)为理想交流电流源,(c)为实际直流电流源,(d)为实际交流电流源。

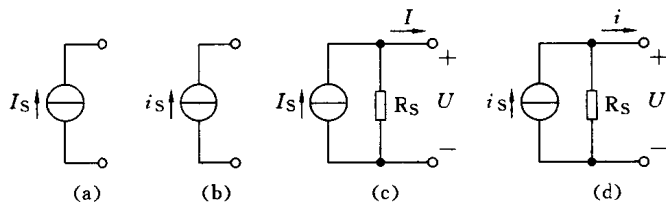


图 1.11 几种电流源的电路符号

2. 实际电压源与实际电流源之间的等效变换

由一个理想电压源和一个电阻 R_i 串联构成的实际电压源[如图 1.10(d)],其输出电压 U 与输出电流 I 之间关系为:

$$U = U_S - R_i I \quad (1-6)$$

由一个理想电流源和一个电阻 R_S 并联构成的实际电流源[如图 1.11(c)],其输出电压 U 与输出电流 I 之间关系为:

$$U = R_S I_S - R_S I \quad (1-7)$$

实际电源既可以用实际电压源模型也可以用实际电流源模型来表示。对外电路来说,二者是等效的。比较式(1-6)与式(1-7)两式,可得到等效变换公式:

$$R_i = R_S, U_S = R_S I_S \text{ 或 } I_S = U_S / R_i \quad (1-8)$$

【例 1.4】试将图 1.12(a)中的电压源对外电路等效成电流源,将图 1.12(b)中的电流源对外电路等效成电压源。

解:等效变换结果如图 1.13 所示。

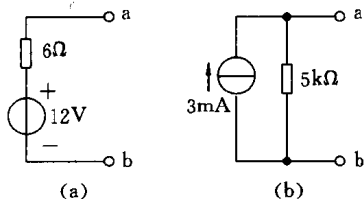


图 1.12 例题 1.4 用图

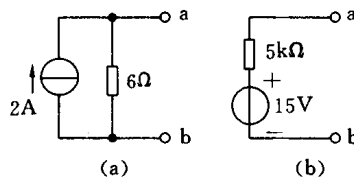


图 1.13 例题 1.4 的解

1.2.3 电阻元件

1. 电阻元件的特性

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件,例如灯泡、电热炉等电器。其 SI 制单位为欧姆(Ω),常用单位还有 $k\Omega$ 、 $M\Omega$,它们与 Ω 的换算关系为 $1k\Omega = 10^3\Omega$; $1M\Omega = 10^6\Omega$ 。