



21世纪

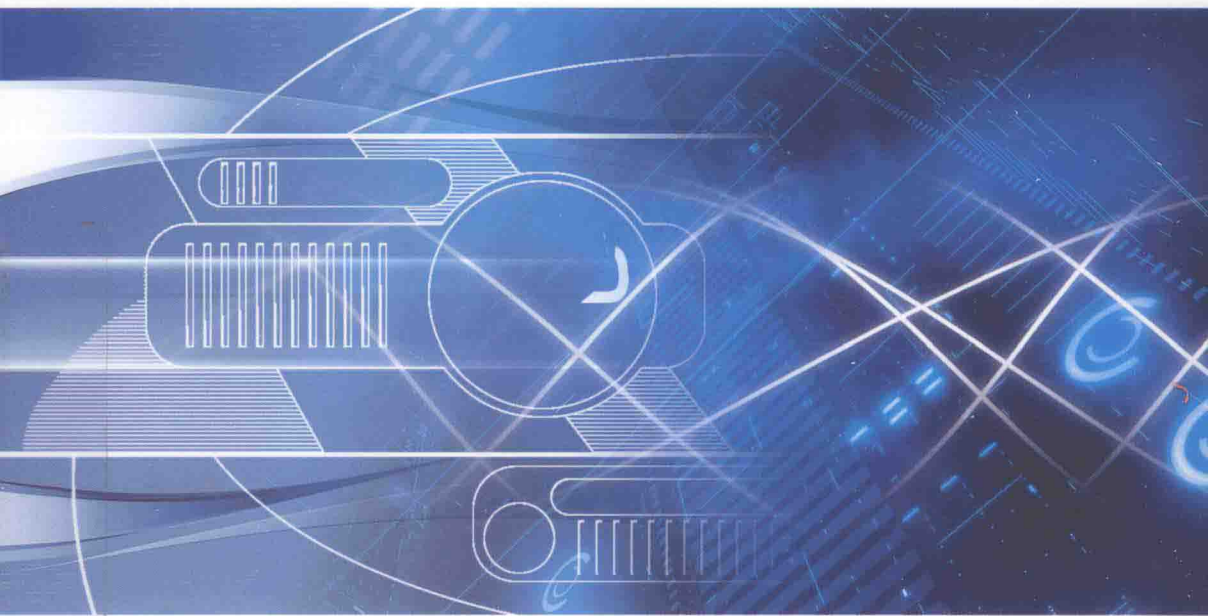
全国高等教育应用型精品课规划教材

电工电子技术

diangong dianzi jishu

◆ 主 编 刘耀元 胡民山

「第2版」



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

电工电子技术

(第 2 版)

主 编 刘耀元 胡民山
副主编 吴兴华 邹小莲 李河水

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本教材根据国家教育部电工学课程指导组拟定的机械类电工电子技术系列课程教学基本要求和面向 21 世纪教育教学改革目标而编写。

本教材主要内容包括直流电路, 正弦交流电路, 电路的暂态过程, 电工测量与工厂输配电和安全用电, 电磁铁和变压器, 电动机及其基本控制系统, 可编程控制器, 常用晶体管, 基本放大电路, 集成运算放大电路, 直流稳压电路, 数字电路基础, 组合逻辑电路, 时序逻辑电路, 脉冲的产生和变换电路, 模-数和数-模转换器, 共 16 章。

本教材力求在保证必要的基础知识、基本分析方法和基本技能的基础上, 淡化其内部机理, 回避深奥的理论分析、复杂的参数计算与公式推导等; 结合新器件、新技术发展, 将理论与工程实践紧密结合, 以适应发展需要, 使学生“学而知其用”。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术 / 刘耀元, 胡民山主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2009. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1271 - 7

I. 电… II. ①刘…②胡… III. ①电工技术 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 高等学校 - 教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 050747 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 天津武清高村印装厂

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 25.5

字 数 / 486 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 2 版 2009 年 8 月第 5 次印刷

印 数 / 10001-14000 册

定 价 / 42.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本教材根据国家教育部电工学课程指导组拟定的机械类电工电子技术系列课程教学基本要求和面向 21 世纪教育教学改革目标而编写，并在 2007 年 8 月第 1 版基础上进行修订的。

本教材有多年的教学实践基础，编者为长期从事教学一线工作的高等院校教师，针对以往教材大多没有摆脱学科型教学模式的束缚、教学学时较多的问题而编写。修订后进一步使教材结构符合教学规律，内容更加科学、严谨、合理。具体地说，突出工程技术应用的基础知识与中高级技能应用关系，解决知识与技能、理论与实践、通用知识与专业知识的关系。强调“学而知其用”，以“用”为目标，淡化其内部机理，回避深奥的理论分析、复杂的参数计算与公式推导等。

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，注重理论联系实际，注重电工电子技术的新发展，培养学生主动自学能力。建议有些章节学生可以通过课余时间自学完成，并以能否回答书中的问题作为检验自学效果。

要学好电工电子技术课程，必须通过解决一些实际问题来加强。本教材每小节后配有思考题，每章后有习题，部分习题可以在理论分析与计算后，到实验室进行实验，如能将理论预测与实验结果加以比较，并作出一定的分析和理解，会取得很好的学习效果。

电工电子技术是工科学校非电专业的一门技术基础课，教学内容涵盖面广，信息量大。本教材主要内容包括电路基础、电工测量、变压器、电机及其控制、常用晶体管、基本放大电路、集成运算放大电路、电源电路、数字电路基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、555 定时电路等。

本教材由刘耀元、胡民山主编、吴兴华、邹小莲、李河水任副主编。各章具体分工如下：吴兴华编写第 1 章、第 3 章，骆雪编写第 2 章、第 4 章，邹小莲编写第 5 章、第 7 章，段贵生编写第 6 章，朱敏编写第 8 章、第 9 章、曹文辉编写第 10 章、罗慧勇编写第 11 章，王芳编写第 12 章、第 13 章，李河水编写第 14 章，刘耀元编写第 15 章，胡民山编写第 16 章。最后由刘耀元负责统稿，并由罗伟雄教授主审。

在本教材编写、整理和定稿过程中，得到了郭纪林教授的大力支持，以及许多同行的帮助，在此谨向所有为本书的编审、出版给予支持和帮助的同志表示诚挚的谢意！

由于电工电子技术学科的发展迅速，课程改革日益深入，虽然我们精心组织编写，但由于时间仓促及编者水平有限，书中错误和欠妥之处在所难免，恳请广大读者不吝指教。编者电子信箱：LDG1239@sina.com.cn。

编 者

目 录

第 1 章 直流电路	(1)
1.1 电路及电路模型	(1)
1.2 电路的主要物理量及电气设备的额定值	(3)
1.3 电路的三种工作状态	(11)
1.4 基尔霍夫定律	(13)
1.5 电路分析方法	(16)
本章小结	(28)
习题	(30)
第 2 章 正弦交流电路	(34)
2.1 正弦交流电的基本概念	(34)
2.2 正弦交流电的相量表示法	(38)
2.3 单一参数的正弦交流电路	(42)
2.4 正弦交流电路的分析	(49)
2.5 谐振电路	(56)
2.6 功率因数提高的意义和方法	(59)
2.7 三相交流电路	(61)
本章小结	(69)
习题	(70)
第 3 章 电路的暂态过程	(73)
3.1 电路的暂态过程及换路定律	(73)
3.2 RC 电路的暂态过程及三要素法	(75)
3.3 微分电路和积分电路	(80)
3.4 RL 电路的暂态过程	(83)
本章小结	(87)
习题	(87)
第 4 章 电工测量与工厂输配电和安全用电	(90)
4.1 测量误差与仪表准确度	(90)
4.2 常用电工测量仪表	(92)

4.3	电流、电压和电功率的测量	(94)
4.4	万用表和兆欧表	(96)
4.5	工厂输配电	(100)
4.6	安全用电	(103)
4.7	节约用电	(108)
	本章小结	(109)
	习题	(110)
第5章	电磁铁和变压器	(111)
5.1	磁路	(111)
5.2	电磁铁及其电磁电器	(115)
5.3	交流铁心线圈电路	(119)
5.4	变压器的原理和应用	(121)
5.5	特殊变压器	(126)
	本章小结	(129)
	习题	(130)
第6章	电动机及其基本控制系统	(132)
6.1	三相异步电动机的基本结构和工作原理	(132)
6.2	三相异步电动机的定子电路和转子电路	(138)
6.3	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	(141)
6.4	三相异步电动机的使用	(144)
6.5	单相异步电动机	(152)
6.6	常用低压电器与电气符号	(154)
6.7	三相异步电动机的基本控制系统	(159)
	本章小结	(165)
	习题	(166)
第7章	可编程序控制器	(170)
7.1	概述	(170)
7.2	PLC的基本结构及工作原理	(172)
7.3	FX _{2N} 系列PLC的I/O配置及内部软继电器	(175)
7.4	PLC的指令系统与编程语言	(176)
7.5	PLC控制系统应用举例	(187)
	本章小结	(190)
	习题	(190)

第 8 章 常用晶体管	(192)
8.1 半导体基础知识	(192)
8.2 晶体二极管	(195)
8.3 晶体三极管	(199)
8.4 绝缘栅场效应管	(203)
8.5 晶闸管	(207)
本章小结	(209)
习题	(210)
第 9 章 基本放大电路	(212)
9.1 基本交流电压放大电路	(212)
9.2 分压式偏置电路	(221)
9.3 射极输出器	(223)
9.4 互补对称功率放大电路	(226)
9.5 多级放大电路	(230)
本章小结	(232)
习题	(232)
第 10 章 集成运算放大器	(236)
10.1 集成运算放大器输入级——差动放大电路	(236)
10.2 集成运算放大器简介	(240)
10.3 集成运算放大器的线性应用电路	(246)
10.4 集成运算放大器的非线性应用电路	(254)
10.5 正弦波振荡电路	(261)
10.6 集成运算放大器应用的一些实际问题	(265)
本章小结	(267)
习题	(268)
第 11 章 直流稳压电路	(273)
11.1 直流电源的组成	(273)
11.2 单相桥式整流电路	(274)
11.3 滤波电路	(277)
11.4 稳压电路	(280)
11.5 可控整流电路	(286)
本章小结	(287)
习题	(288)

第12章 数字电路基础	(290)
12.1 数制与码制	(290)
12.2 逻辑代数基础	(293)
12.3 逻辑函数化简	(300)
12.4 分立元件门电路	(306)
12.5 集成门电路	(309)
本章小结	(318)
习题	(319)
第13章 组合逻辑电路	(321)
13.1 组合逻辑电路的分析与设计	(321)
13.2 基本组合逻辑部件	(327)
本章小结	(340)
习题	(341)
第14章 时序逻辑电路	(344)
14.1 概述	(344)
14.2 触发器	(345)
14.3 触发器逻辑功能的转换	(352)
14.4 寄存器	(354)
14.5 计数器	(357)
本章小结	(366)
习题	(366)
第15章 脉冲的产生和变换电路	(370)
15.1 555 定时电路	(370)
15.2 单稳态触发器	(372)
15.3 多谐振荡器	(374)
15.4 施密特触发器	(377)
本章小结	(381)
习题	(381)
第16章 模-数和数-模转换器	(383)
16.1 概述	(383)
16.2 数-模转换器	(384)
16.3 模-数转换器	(389)

本章小结	(393)
习题	(393)
附录 常用电子器件	(394)
参考文献	(397)

第1章

直流电路

本章知识要求

- 了解电源、负载及中间环节在电路中的作用；电路三种基本工作状态和电气设备额定值的意义；电路中节点、支路、回路的概念及支路电流法。

- 理解电流、电压、电位、电动势及电功率的物理概念；电压源与电流源的外特性；基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律的意义；叠加原理、戴维南定理的意义。

- 掌握电位的计算；电压源与电流源的等效变换；节点电流方程、回路电压方程的列写原则；叠加原理应用于含有两个电源电路的计算；节点电压法应用于含有两个节点的电路计算；戴维南定理应用于具有两个独立回路的电路计算。

本章内容是学习本课程各部分的前提，也是学习其他与电工电子技术有关课程的重要基础。

1.1 电路及电路模型

1.1.1 电路的组成与作用

电路就是电流所通过的路径，它由电路元器件根据功能需要，按照某种特定方式连接而成。如图 1-1 (a) 所示就是一个简单的直流电路，把电池和灯泡经过开关用导线连接组成。图中电池在电路中为灯泡提供电能，称为电源；灯泡将电

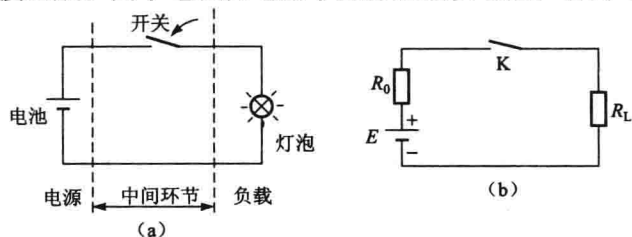


图 1-1 手电筒电路

(a) 手电筒电路；(b) 电路模型

能转换为光能、热能等非电能,它是取用电能的设备,称为负载;开关和导线连接电源和负载,并根据需要控制电路的接通与断开,称为中间环节。

1.1.2 理想电路元器件及电路模型

构成电路的常用元器件有电阻器、二极管、电容、电感、变压器、电动机、电池等。这些实际元器件的电磁特性往往十分复杂。例如,一个白炽灯通以电流时,除具有消耗电能即电阻性质外,还会产生磁场,具有电感性质,由于电感很小,可以忽略不计,于是可认为是一电阻元件。因此,为了分析复杂电路的工作特性,就必须进行科学抽象与概括,用一些理想电路元器件(或相应组合)来代表实际元器件的主要外部特性。这种元件是一种用数学关系描述实际器件的基本物理规律的数学模型,我们称之为理想元件,简称元件。

这种用理想电路元器件来代替实际电路元器件构成的电路称为电路模型,简称电路。电路图则是用规定的元器件图形反映电路的结构。例如,手电筒电路的模型可由图 1-1(b)所示的电路图表示。

理想电路元器件在理想电路中是组成电路的基本元器件,元器件上电压与电流之间的关系又称为元器件的伏安特性,它反映了元器件的性质。

在实际电路中使用着各种电器、电子元器件,如电阻器、电容器、电感器、灯泡、电池、晶体管、变压器等,它们在电磁方面有许多共同的地方。例如,电阻器、灯泡、电炉等,它们的主要电磁性能是消耗电能,这样可用一个具有两个端钮的理想电阻 R 来表示,它能反映消耗电能的特征,其模型符号如图 1-2(a)所示。在电路中常用电阻的倒数($1/R$),即电导 G 来描述电阻元件,它在国际单位制中的单位为西门子(S)。

类似地,各种实际电感器主要是储存磁能,用一个理想的二端电感元件来反映储存磁能的特征,理想电感元件的模型符号如图 1-2(b)所示。各种实际的电容器主要是储存电场能,用一个理想的二端电容来反映储存电场能的特征,理想电容元件的模型符号如图 1-2(c)所示。理想电压源和理想电流源主要是对外供给不变电压和电流,其模型符号如图 1-2(d)和图 1-2(e)所示。

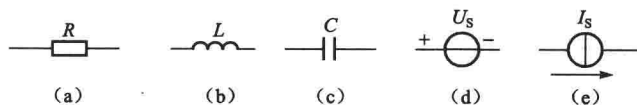


图 1-2 理想电路元器件的图形与符号

(a) 电阻; (b) 电感; (c) 电容; (d) 电压源; (e) 电流源

其他的实际电路部件都可类似地将其表示为应用条件下的模型,这里就不一一列举。但关于理想电路元器件这里再强调一下:理想电路元器件是具有某种确定的电磁性能的理想元器件:理想电阻元件只消耗电能(既不储存电能,

也不储存磁能);理想电容元件只储存电能(既不消耗电能,也不储存磁能);理想电感元件只储存磁能(既不消耗电能,也不储存电能)。理想电路元器件是一种理想的模型并具有精确的数学定义,实际中并不存在。但是不能说所定义的理想电路元器件模型理论脱离实际,是无用的。这犹如实际中并不存在“质点”,但“质点”这种理想模型在物理学科运动学原理分析与研究中举足轻重一样,人们所定义的理想电路元器件模型在电路理论问题分析与研究中充当着重要角色。

【思考与练习】

- 1.1.1 分别画出电炉丝、电动机绕组的理想电路元器件符号。
- 1.1.2 用类似手电筒的电路模型画出照明线路的电路模型图。

1.2 电路的主要物理量及电气设备的额定值

1.2.1 电路的主要物理量

在电路分析中,常用的物理量有电流(I)、电压(U)、电位(V)、电动势(E)、电功率(P)、电能(W)等。

1. 电流及其参考方向

电流是由电荷的定向移动而形成的。我们知道,一段金属导体内含有大量的带负电荷的自由电子,通常情况下,这些自由电子在其内部做无规则的热运动,并不形成电流;若在该段金属导体两端接上电源,那么带负电荷的自由电子就要逆电场方向运动,于是在该段金属导体中便形成了电流。在其他场合,如电解溶液中的带电离子做规则定向运动也会形成传导电流。

电流,虽然大家看不见它,但可通过它的各种效应(如磁效应、热效应)来感知它的客观存在。我们把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度,简称电流,用 $i(t)$ 表示,即

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

式中, q 为通过导体横截面的电荷量,若电流强度不随时间而变,即 $\frac{dq}{dt}$ 为常数,这种电流是直流电流,常用大写字母 I 表示。

在法定计量单位中,电流强度的单位是安培(A),简称安。有时也用千安(kA)、毫安(mA)或微安(μA), $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$, $1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu A$ 。

电流不仅有大小,而且还有方向。习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向,但在电路分析中,有时某段电流的实际方向难以判断,有时电流的实际方向还在不断改变。为了解决这一问题,可任意选定一方向作参考,称为参考

方向 (或正方向), 在电路图中用箭头表示, 也可用字母带双下标表示, 如 I_{ab} 表示参考方向从 a 指向 b, 如图 1-3 所示。并规定: 当电流的参考方向与实际方向一致时, 电流取正值, $I > 0$, 如图 1-3 (a) 所示; 当电流的参考方向与实际方向不一致即相反时, 电流取负值, $I < 0$, 如图 1-3 (b) 所示。这样, 在电路计算时, 只要选定了参考方向, 并算出电流值, 就可根据其值的正负号来判断其实际方向了。



图 1-3 电流参考方向与实际方向的关系

(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

2. 电压及其参考方向

为衡量电路元器件吸收或发出电能的情况, 在电路分析中引入了电压这一物理量。从电场力做功概念定义, 电压就是将单位正电荷从电路中一点移至另一点电场力做功的大小。其数学表达式为

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq} = V_a - V_b \quad (1-2)$$

式中, V_a 、 V_b 分别表示 a、b 点的电位; U_{ab} 则表示 a、b 点间的电位之差。电压总是与电路中两点相联系的。

在法定计量单位中, 电压的单位是伏特 (V), 简称伏。有时也用千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 作单位, $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$, $1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \mu V$ 。

电路中电压的实际方向规定为从高电位指向低电位。但在复杂的电路里, 电压的实际方向是不易判别的, 或在交流电路里, 两点间电压的实际方向是分时间段交替改变的, 这给实际电路问题的分析计算带来不便, 所以需要假设其方向。在电路图中, 常标以 “+”、“-” 号表示电压的正、负极性参考方向。在图 1-4 (a) 中, a 点标以 “+”, 极性为正, 称为高电压; b 点标以 “-”, 极性为负, 称为低电压。一旦选定了电压参考方向后, 若 $U > 0$, 则表示电压的真实方向与选定的参考方向一致; 反之则相反, 如图 1-4 (b) 所示。也有的用带有

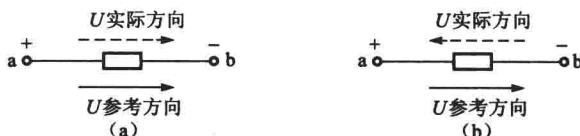


图 1-4 电压参考方向与实际方向的关系

(a) $U > 0$; (b) $U < 0$

双下标的字母表示,如电压 U_{ab} ,表示该电压的参考方向为从 a 点指向 b 点。这种选定也具有任意性,并不能确定真实的物理过程。

电路中电流的正方向和电压的正方向在选定时都有任意性,二者彼此独立。但是,为了分析电路方便,常把元件上的电流与电压的正方向取为一致,称为关联参考方向,如图 1-5 (a) 所示;不一致时称为非关联参考方向,如图 1-5 (b) 所示。我们约定,除电源元件外,所有元件上的电流和电压都采用关联参考方向。



图 1-5 电压和电流的关联、非关联参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

3. 电位

从物理学中我们知道,将单位正电荷从某一点 a 沿任意路径移动到参考点,电场力做功的大小称为 a 点的电位,记为 V_a 。所以为了求出各点的电位,必须选定电路中的某一点作为参考点,并规定参考点的电位为零,则电路中的任一点与参考点之间的电压(即电位差)就是该点的电位,如 $U_{ad} = V_a - V_d$ 。

电力系统中,常选大地为参考点;在电子线路中,则常选机壳电路的公共线为参考点。线路图中都用符号“⊥”表示,简称“接地”。图 1-6 (a) 所示电路,是利用电位的概念,简化成图 1-6 (b) 所示。在电子线路中,常使用这种习惯画法。

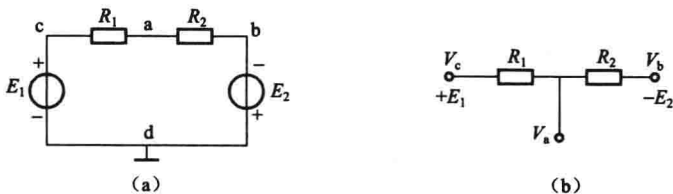


图 1-6 双电源电路及简化画法

(a) 双电源电路; (b) 简化画法

【例 1-1】电路如图 1-7 所示,已知: $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$,试分别求图 1-7 (a) 和图 1-7 (b) 中 a、b、c、d 各点的电位 V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d 。

解: (1) 求图 1-7 (a) 中各点的电位。

图中已给定的参考电位点在 b 点,故 $V_b = 0 \text{ V}$, $V_a = 12 \text{ V}$ 。由欧姆定律知电路中电流 I 的大小为

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12}{10 + 20 + 30} = 0.2 \text{ (A)}$$

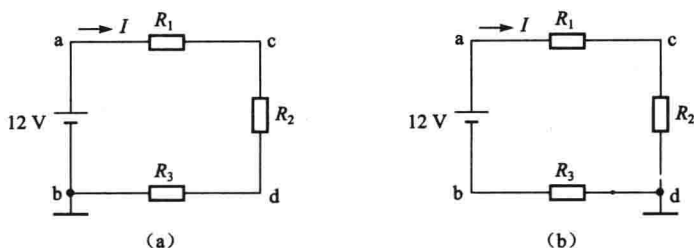


图 1-7 例 1-1 电路图

则 $U_{ac} = IR_1 = 0.2 \times 10 = 2 \text{ (V)}$, $U_{ad} = I(R_1 + R_2) = 0.2 \times (10 + 20) = 6 \text{ (V)}$

因为 $U_{ac} = V_a - V_c$, $U_{ad} = V_a - V_d$

所以 $V_c = V_a - U_{ac} = 10 \text{ V}$, $V_d = V_a - U_{ad} = 6 \text{ V}$

(2) 求图 1-7 (b) 中各点的电位。

图中已给定的参考电位原点在 d 点, 故 $V_d = 0 \text{ V}$, 电路中电流 I 的大小与图 1-7 (a) 相同。

则 $U_{ad} = I(R_1 + R_2) = 0.2 \times (10 + 20) = 6 \text{ (V)}$, $U_{cd} = IR_2 = 0.2 \times 20 = 4 \text{ (V)}$,

$U_{bd} = -IR_3 = -0.2 \times 30 = -6 \text{ (V)}$

所以 $V_a = 6 \text{ V}$, $V_b = -6 \text{ V}$, $V_c = 4 \text{ V}$

由此可以看出: 尽管电路中各点的电位与参考电位点的选取有关, 但任意两点间的电压值 (即电位差) 是不变的。所以电位的高低是相对的, 而两点间的电压值是绝对的。

4. 电动势

在电源内部有一种局外力 (非静电力), 将正电荷由低电位处沿电源内部移向高电位处, 如电池中的局外力是由电解液和金属极板间的化学作用产生的。由于局外力而使电源两端具有的电位差称为电动势, 并规定电动势的实际方向是由低电位端指向高电位端。把电位高的一端叫正极, 电位低的一端叫负极, 则电动势的实际方向规定在电源内部从负极到正极, 如图 1-8 (a) 所示。因此, 在电动势的方向上电位是逐点升高的。电动势在数值上等于局外力把正电荷从负极板搬运到正极板所做的功 W_{ba} 与被搬运的电荷量 Q 的比值, 用 E 表示, 即

$$E = \frac{W_{ba}}{Q} \quad (1-3)$$

电动势的单位也用伏特 V 表示。

由于电动势 E 两端的电压值为恒定值, 且不论电流的大小和方向如何, 其电位差总是不变, 故用一恒压源 U_S 的电路模型代替电动势 E , 如图 1-8 (b) 所示。在分析电路时, 电路中电压参考方向不同时, 其数值也不同。当选取的电压参考方向与恒压源的极性一致时, $U = U_S$, 如图 1-8 (c) 所示; 相反时, $U = -U_S$, 如图 1-8 (d) 所示。且与电路中的电流无关。

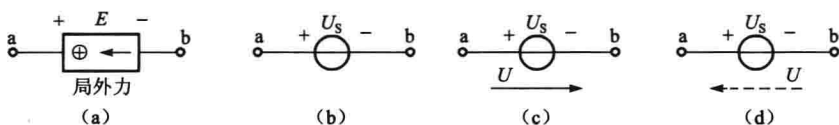


图 1-8 电动势（恒压源）的符号及不同电压参考方向

(a) E 的实际方向; (b) E 的等效电路; (c) $U = U_s$; (d) $U = -U_s$

5. 电功率

电路中单位时间内消耗的电能称为电功率，电功率的大小等于电流与电压的乘积，即 $P = UI$ 。

在法定计量单位中功率的单位是瓦 (W)，也常用千瓦 (kW)、毫瓦 (mW)。1 W = 10^3 mW。

如图 1-9 所示，在闭合电路中恒压源产生的电功率为

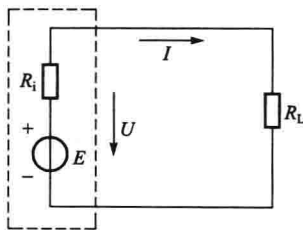


图 1-9 例 1-2 图

$$P_E = \frac{EIt}{t} = EI \quad (1-4)$$

负载取用的电功率为

$$P_{R_L} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-5)$$

电源内部损耗的电功率为

$$\Delta P = \frac{U_i It}{t} = U_i I \quad (1-6)$$

这三者间的关系是

$$P_E = P_{R_L} + \Delta P \quad (1-7)$$

式 (1-7) 称为电路的功率平衡方程式。

【例 1-2】 如图 1-9 所示，已知恒压源 $E = 24$ V，电源输出电压 $U = 22$ V，电流 $I = 5$ A，求 P_E 、 P_{R_L} 、 ΔP 和 U_i 的大小并说明功能平衡关系。

解： $P_E = EI = 24 \times 5 = 120$ (W)

$$P_{R_L} = UI = 22 \times 5 = 110$$
 (W)

$$\Delta P = U_i I = (24 - 22) \times 5 = 10$$
 (W)

$$U_i = E - U = 24 - 22 = 2$$
 (V)

$$P_E - P_{R_L} = \Delta P$$

即电源供给的能量等于负载消耗与内部损耗之和。

对于电路中任意一个元器件，总存在着吸收功率还是发出功率的问题。判断某一元器件是属于电源（发出能量）还是负载（吸收能量）的方法如下。

(1) 当电流与电压取关联参考方向时，假定该元器件吸收功率，功率表达