

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

# 电工电子学 (第二版)

DIANGONG DIANZIXUE

周永萱 袁芳 高鹏毅 编

华中科技大学出版社

# 电工电子学

(第二版)

周永萱 袁芳 高鹏毅 编

华中科技大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

电工电子学(第二版)/周永萱 袁芳 高鹏毅 编  
武汉:华中科技大学出版社,2003年1月  
ISBN 7-5609-1933-2

I. 电…

I. ①周… ②袁… ③高…

Ⅲ. 电工技术-电子技术-高等学校-教材

N. TM:TM

**电工电子学(第二版)**

**周永萱 袁芳 高鹏毅 编**

责任编辑:谢燕群

封面设计:刘 卉

责任校对:蔡晓湖

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:19.25

字数:450 000

版次:2003年1月第2版

印次:2005年1月第7次印刷

定价:24.00元

ISBN 7-5609-1933-2/TM·77

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

## 内 容 简 介

本书是参照国家教委高等学校电工学课程指导小组 1995 年制定的《电工技术》、《电子技术》课程的教学基本要求编写的。全书共 11 章,包括:电路的基本概念、基本定律和基本分析方法,电路的暂态分析,单相正弦交流电路,三相电路,变压器、异步电动机及其控制,整流、滤波及稳压电路,半导体三极管及交流放大电路,集成运算放大器及其应用,数字电路基础,组合逻辑电路和时序逻辑电路。每章和每小节后分别附有习题和练习与思考题。

本书可作为高等工科大学非电类专业电工学课程教材,教学学时为 72~90 学时。也可供工程技术人员自学或参考。第 5 章变压器、异步电动机及其控制的内容是为建筑工程专业增加的,其他专业可根据自己的情况取舍。

## 初版前言

随着教学改革不断深化,各专业为了适应形势的需要都开设了一些新的课程,对原有课程的内容和学时多有精简和压缩。为适应一些专业对电工学为少学时的要求,从1990年开始,我们编写了《电路和电子技术》的讲义,并于1994年根据教学要求进行了修订。在多年的使用过程中得到了广大学生和兄弟院校同行的好评。此次由我校教材建设委员会评审推荐正式出版。出版前又在上述讲义第二版的基础上根据新的形势需要重新编写。在编写过程中贯彻了1995年全国电工学课程指导小组修订的教学基本要求,同时根据某些专业的需要,在选材时注意内容的宽度和深度有适当的扩展,另外增加了集成电路的内容和一些新技术的应用。

本书可供管理、生物技术、船机、船体、计算机应用、化工、建筑、应用数学等对电工学时数较少的专业使用。

本书的第1、6、7章由周永萱编写,第2~5章由袁芳编写,第8~11章由高鹏毅编写。在编写过程中得到了钟声淦教授、刘明亮副教授的大力支持,在此表示衷心的感谢。由于编写时间仓促,水平有限,书中难免有欠妥之处,恳切希望读者批评指正。

编者

1998年6月

## 第二版前言

《电工电子学》第一版于1999年5月出版,迄今为止已第五次印刷,发行量超过万册,这说明本书得到了广大读者和教师的认可和关怀,我们向使用本书的读者和广大教师表示衷心的感谢。

根据当前教学改革形势的需要,为了使本书更适合各层次的读者使用,我们对《电工电子学》一书进行了修订。

与初版相比,第二版修订主要体现在以下几个方面:

一、增加了每章小结,使读者能根据小结更准确地掌握教学大纲中要求的重点、难点内容。

二、对部分例题、习题做了更合理的调整、更新和补充。

三、对第9章的逻辑函数化简部分增加了含无关项的卡诺图化简内容;对第10章译码器、数据选择器和数据分配器部分进行了一些修改,增加了一些例题;对第11章计数器的分析方法部分进行了更详细的介绍,并增加了简单同步时序逻辑电路设计的内容。

四、全书的图形统一用计算机重新绘制,使图形更加准确、美观、清晰。

全书1~5章由袁芳修订,6~11章由周永萱修订。本版的修订工作得到了广大教师和华中科技大学出版社、华中科技大学成人教育学院的关心和支持,在此表示诚挚的感谢。

与初版相比,第二版的质量有较大的提高,但书中仍不免有缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

编者

2002.11.16

# 目 录

第1章 电路的基本概念、基本定律和基本分析方法 .....	(1)
1-1 电路的组成 .....	(1)
1-2 电路的基本物理量及其正方向 .....	(2)
一、电流 .....	(2)
二、电压 .....	(3)
三、电动势 .....	(3)
四、电位 .....	(3)
五、功率 .....	(4)
1-3 电路的工作状态 .....	(6)
一、有载工作状态 .....	(6)
二、开路工作状态 .....	(6)
三、短路工作状态 .....	(7)
1-4 电阻元件、电感元件和电容元件 .....	(7)
一、电阻元件 .....	(7)
二、电感元件 .....	(9)
三、电容元件 .....	(10)
1-5 基尔霍夫定律 .....	(10)
一、基尔霍夫电流定律——KCL .....	(10)
二、基尔霍夫电压定律——KVL .....	(11)
1-6 电阻的串联和并联 .....	(12)
一、电阻的串联 .....	(12)
二、电阻的并联 .....	(12)
1-7 电压源、电流源及其等效变换 .....	(13)
一、电压源 .....	(13)
二、电流源 .....	(14)
三、电压源与电流源的等效变换 .....	(15)
四、受控电源 .....	(18)
1-8 叠加原理 .....	(19)
1-9 支路电流法 .....	(20)
1-10 节点电压法 .....	(21)
1-11 戴维宁定理 .....	(22)
本章小结 .....	(24)
习题 .....	(25)
第2章 电路的暂态分析 .....	(29)
2-1 换路定则及暂态过程初始值的确定 .....	(29)

2-2	一阶电路的暂态响应	(32)
	一、零输入响应	(32)
	二、零状态响应	(34)
	三、全响应	(36)
2-3	一阶电路暂态分析的三要素法	(37)
2-4	微分电路和积分电路	(40)
	一、微分电路	(40)
	二、积分电路	(40)
	本章小结	(41)
	习题	(42)
<b>第3章</b>	<b>单相正弦交流电路</b>	(45)
3-1	正弦交流电的基本概念	(45)
	一、正弦交流电的三要素	(45)
	二、相位差	(46)
	三、有效值	(47)
	四、正弦交流电的参考方向	(48)
3-2	正弦量的相量表示法	(50)
	一、相量图法	(50)
	二、相量式	(52)
	三、基尔霍夫定律的相量形式	(53)
3-3	单一参数的交流电路	(54)
	一、电阻元件	(55)
	二、电感元件	(56)
	三、电容元件	(58)
3-4	正弦交流电路的相量模型	(61)
	一、复阻抗 $Z$	(61)
	二、复阻抗的串、并联,复导纳	(63)
3-5	正弦交流电路的功率	(68)
	一、功率	(68)
	二、功率因数的提高	(72)
3-6	电路的谐振	(75)
	一、串联谐振	(75)
	二、并联谐振	(77)
3-7	周期性非正弦交流电路	(79)
	一、周期性非正弦量的分解与计算	(79)
	二、周期性非正弦量的有效值	(84)
	本章小结	(85)
	习题	(87)
<b>第4章</b>	<b>三相电路</b>	(93)
4-1	三相电源	(93)



一、三相电源的产生 .....	(93)
二、电源的星形连接 .....	(95)
4-2 三相负载的星形连接 .....	(96)
4-3 三相负载的三角形连接 .....	(101)
4-4 三相电路的功率与测量 .....	(104)
一、三相电路功率的计算 .....	(104)
二、三相电路功率的测量 .....	(106)
4-5 安全用电 .....	(107)
一、概述 .....	(107)
二、电击触电 .....	(107)
三、保护接地和保护接零 .....	(108)
本章小结 .....	(109)
习题 .....	(110)
<b>第5章 变压器、异步电动机及其控制 .....</b>	<b>(114)</b>
5-1 磁路概述 .....	(114)
一、磁路的基本概念 .....	(114)
二、磁路的物理量 .....	(115)
5-2 变压器 .....	(117)
一、变压器的结构 .....	(117)
二、变压器绕组的同极性端 .....	(117)
三、变压器的工作原理 .....	(118)
5-3 三相鼠笼式异步电动机 .....	(121)
一、基本结构 .....	(121)
二、工作原理 .....	(122)
三、机械特性 .....	(125)
四、起动 .....	(127)
五、调速 .....	(128)
六、铭牌数据 .....	(129)
5-4 继电-接触控制 .....	(130)
一、常用低压控制电器 .....	(130)
二、基本继电-接触控制 .....	(132)
本章小结 .....	(136)
习题 .....	(137)
<b>第6章 整流、滤波及稳压电路 .....</b>	<b>(140)</b>
6-1 半导体的导电特性 .....	(140)
一、本征半导体 .....	(140)
二、N型半导体和P型半导体 .....	(140)
三、PN结的形成及其单向导电性 .....	(141)
6-2 半导体二极管 .....	(143)
一、基本结构 .....	(143)

	二、伏安特性	(143)
	三、主要参数	(144)
	四、二极管的应用	(144)
6-3	稳压管	(145)
	一、稳压管的伏安特性	(145)
	二、稳压管的主要参数	(146)
6-4	整流、滤波及其稳压电路	(146)
	一、单相半波整流电路	(147)
	二、单相桥式整流电路	(147)
	三、滤波电路	(149)
	四、稳压电路	(151)
	本章小结	(153)
	习题	(154)
<b>第7章</b>	<b>半导体三极管及交流放大电路</b>	<b>(156)</b>
7-1	半导体三极管	(156)
	一、基本结构	(156)
	二、电流放大作用	(157)
	三、特性曲线	(158)
	四、主要参数	(159)
7-2	基本交流放大电路	(161)
	一、放大电路的组成	(161)
	二、放大电路的静态分析	(162)
	三、放大电路的动态分析	(164)
	四、非线性失真	(167)
7-3	微变等效电路分析法	(168)
	一、三极管的微变等效电路	(168)
	二、放大电路的微变等效电路	(169)
	三、电压放大倍数的计算	(169)
	四、放大电路输入电阻 $r_i$ 的计算	(170)
	五、放大电路输出电阻的计算	(171)
7-4	分压式偏置电路	(171)
	一、电路的组成	(171)
	二、分压式偏置电路 $Q$ 点的估算	(172)
	三、动态参数的计算	(172)
	四、射极无旁路电容的分压式偏置电路	(173)
7-5	射极输出器	(174)
	一、静态工作点的估算	(174)
	二、动态参数	(175)
7-6	频率特性及多级放大器	(177)
	一、单级放大器的频率特性	(177)

二、多级放大器 .....	(178)
7-7 放大器中的负反馈 .....	(180)
一、负反馈的四种基本形式 .....	(180)
二、反馈性质与类型的判断 .....	(181)
三、负反馈对放大器工作性能的影响 .....	(183)
7-8 功率放大器 .....	(186)
一、功率放大器的特点 .....	(186)
二、互补对称功率放大电路 .....	(188)
本章小结 .....	(189)
习题 .....	(190)
<b>第8章 集成运算放大器及其应用</b> .....	(195)
8-1 直接耦合与零点漂移 .....	(195)
一、静态工作点相互影响 .....	(195)
二、零点漂移 .....	(195)
8-2 差动放大电路 .....	(196)
一、电路结构 .....	(196)
二、工作原理 .....	(196)
8-3 集成运算放大器 .....	(197)
一、简介 .....	(197)
二、电压传输特性 .....	(198)
三、主要参数 .....	(198)
8-4 信号的基本运算电路 .....	(199)
一、理想运算放大器 .....	(199)
二、几种基本运算电路 .....	(199)
8-5 基本信号处理电路 .....	(203)
一、测量放大器 .....	(203)
二、有源滤波器 .....	(204)
三、电压比较器 .....	(206)
8-6 正弦波振荡电路 .....	(207)
一、产生正弦波振荡的条件 .....	(207)
二、正弦波振荡电路的组成 .....	(207)
三、文氏电桥 RC 正弦波振荡电路 .....	(208)
本章小结 .....	(208)
习题 .....	(209)
<b>第9章 数字电路基础</b> .....	(212)
9-1 概述 .....	(212)
一、数字电路的特点 .....	(212)
二、数制和码制 .....	(212)
9-2 基本逻辑门 .....	(214)
一、逻辑状态的表示 .....	(215)

二、基本门电路	.....	(215)
9-3 集成逻辑门电路	.....	(219)
一、TTL 与非门集成电路	.....	(219)
二、MOS 集成门电路	.....	(220)
9-4 逻辑代数	.....	(223)
一、逻辑代数的基本定律	.....	(223)
二、逻辑函数化简	.....	(224)
本章小结	.....	(227)
习题	.....	(227)
<b>第10章 组合逻辑电路</b>	.....	(229)
10-1 组合逻辑电路的分析和设计	.....	(229)
一、组合逻辑电路的分析	.....	(229)
二、组合逻辑电路的设计	.....	(230)
10-2 加法器	.....	(231)
一、半加器	.....	(231)
二、全加器	.....	(231)
三、多位数加法器	.....	(232)
10-3 编码器	.....	(233)
一、二进制编码器	.....	(233)
二、二-十进制编码器	.....	(233)
三、优先编码器	.....	(234)
10-4 译码器和数字显示电路	.....	(235)
一、二进制译码器	.....	(235)
二、数字显示译码器	.....	(238)
10-5 数据选择器和数据分配器	.....	(239)
一、多路数据选择器	.....	(239)
二、数据分配器	.....	(240)
本章小结	.....	(241)
习题	.....	(242)
<b>第11章 时序逻辑电路</b>	.....	(244)
11-1 双稳态触发器	.....	(244)
一、R-S 触发器	.....	(244)
二、J-K 触发器	.....	(246)
三、D 触发器	.....	(248)
11-2 寄存器	.....	(250)
一、数码寄存器	.....	(250)
二、移位寄存器	.....	(250)
11-3 计数器	.....	(251)
一、异步二进制加法计数器	.....	(251)
二、同步二-十进制加法计数器	.....	(253)

	三、集成二十进制加法计数器 .....	(255)
	四、其他进制计数器 .....	(257)
	五、简单同步时序逻辑电路的设计 .....	(258)
11-4	555 集成定时器及其应用 .....	(261)
	一、555 集成定时器的组成和工作原理 .....	(261)
	二、555 定时器构成单稳态电路 .....	(262)
	三、用 555 定时器构成多谐振荡器 .....	(264)
11-5	可编程逻辑门阵列 .....	(265)
	一、器件的分类和基本结构 .....	(266)
	二、GAL 器件 .....	(266)
	三、可编程门阵列应用流程 .....	(267)
11-6	IC 卡 .....	(268)
	一、IC 卡类型 .....	(268)
	二、IC 卡的内部结构 .....	(268)
	三、IC 卡的应用 .....	(269)
	本章小结 .....	(270)
	习题 .....	(271)
	习题答案 .....	(274)
	附录 .....	(280)
	参考文献 .....	(293)

# 第 1 章 电路的基本概念、基本定律和基本分析方法

本章介绍了电路的基本物理量、电路的组成及其工作状态,并以简单的直流电路为例介绍了电路中的基本定律和基本分析方法,这些分析方法对电路分析具有普遍意义。

## 1-1 电路的组成

由若干个电气设备或器件按照一定方式组合起来所构成的电流通路叫做电路。

电路一般由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源是产生电能和电信号的装置。例如发电机、干电池、稳压电源和信号发生器等。

负载是取用电能并将电能转换成其他形式能量的装置。例如电灯、电炉、电动机等。

中间环节的作用是连接电源和负载,传输、控制和分配电能。例如连接导线、熔断器、开关和各种继电器等。

任何一个实际电路都是由一些实际元件组成的。在分析电路时,可以根据不同情况将电路抽象成为由不同形式的理想元件组成的电路模型。例如实际电感线圈,在低频工作条件下工作时,可不考虑其匝间分布电容,把它抽象成为一段理想电阻和理想电感串联的电路模型。

当一个电容元件的发热损耗很低时,可以把它抽象为一个理想电容元件;当要考虑其发热损耗时,可将它抽象成为一个电阻、电容串联的电路模型。

一个实际直流电源,可以用一个电压为  $U_s$  和一个内阻为  $R_s$  串联的模型来表示。常用电路元件图形符号如图 1-1 所示。

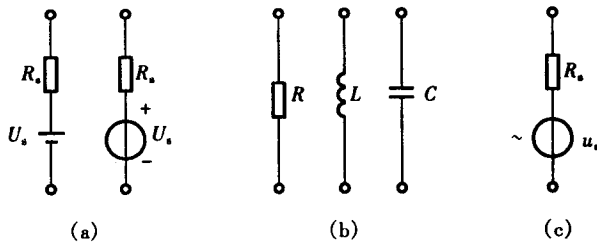


图 1-1 电路元件模型

(a) 直流电源 (b) 元件  $R, L, C$  (c) 交流电源

实际元件用理想化模型表示以后,就可以绘出只由理想化模型组成的电路图。图 1-2(a) 表示电力电路,图 1-2(b) 表示电子电路。

在图 1-2(a) 中,  $FU$  表示熔断器,  $S$  表示刀开关,  $U_s$  和  $R_s$  串联表示实际电源,  $R_L$  表示负载。在图 1-2(b) 中  $u_s$  和  $R_s$  串联表示信号源,它可以是信号发生器输出的信号,也可以是某天线信号或是通过各种传感器将温度、压力、压强、流量等非电量转变成的电信号。中间方框表示对信号的放大、处理和环节,  $R_L$  表示负载,如扬声器、伺服电机等。

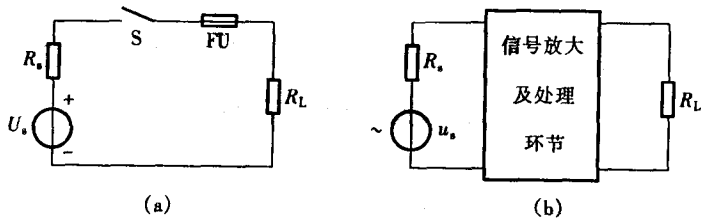


图 1-2 电路的组成  
(a) 电力电路模型 (b) 电子电路模型

## 1-2 电路的基本物理量及其正方向

### 一、电 流

每单位时间内通过导体截面的电量定义为电流强度,用以衡量电流的大小,电流强度简称为电流,用符号  $i$  表示。

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

若在一瞬间通过导体横截面的电量都是相等的,而且方向也不随时间变化,即  $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ ,则此电流为恒定电流,称为直流,用符号  $I$  表示。

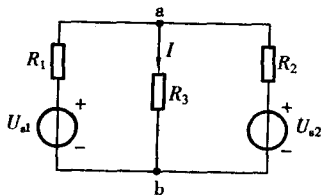
$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

式中,  $q$  是在时间  $t$  内通过导体横截面  $S$  的电荷量。若电流的大小和方向随时间正弦变化,则被称为正弦交流。

在 SI 国际单位制中,电流的单位是安(A),  $1\text{A} = 10^3\text{mA}$ ,  $1\text{mA} = 10^3\mu\text{A}$ 。

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。在分析复杂直流电路或交流电路时,往往事先不知道电流的实际方向,为此,在进行电路的分析计算时,常可任意选定某一方向作为电流的正方向(即参考方向)。所选的电流正方向并不一定与电流的实际方向一致,当电流的正方向与其实际方向一致时,电流为正值;当电流的正方向与实际方向相反时,电流为负值。本书中电路图上所标的电流方向均为正方向。

正方向的表示方法有两种:(1)用箭头表示;(2)用双下标表示。在图 1-3 所示电路中,假定电阻  $R_3$  上通过的电流是从 a 点流向 b 点,电流  $I$  的箭头就标成从 a 指向 b,也可用  $I_{ab}$  表示。



电流的正方向选择是任意的,也可假定电流从 b 点流向 a 点,那么电流就表示成  $I_{ba}$ ,图 1-3 中表示电流方向的箭头就要从 b 点指向 a 点。  $I_{ab} = -I_{ba}$ ,下标调换后,两者之间相差一个负号,即用  $I_{ab}$  计算所得的电流若等于 +1,则用  $I_{ba}$  作为正方向计算所得的电流就等于 -1。

图 1-3 电流的正方向表示

## 二、电 压

正电荷在电场中会受到电场力的作用,且电场力要做功。如图 1-4 所示,将单位正电荷在电场力作用下,从 a 点沿外电路移至 b 点,电场力所做的功称为 a、b 两点的电压,用  $U_{ab}$  表示。

$$U_{ab} = \frac{W}{q}$$

式中,  $W$  为电场力所做的功,它表示在此过程中正电荷将原先在电源内部获得的能量释放出来,将电能转换成其他形式的能量做功。电压的单位是伏(V),  $1V = 10^3mV$ ,  $1mV = 10^3\mu V$ ,  $1kV = 10^3V$ 。电压的实际方向为电位降低的方向。在进行电路分析时同电流一样可采用正方向的方法来分析。

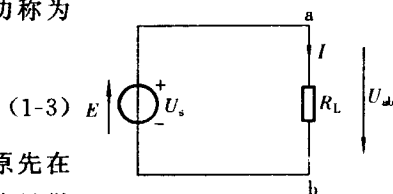


图 1-4 电路中电压和电动势的方向

## 三、电 动 势

在电源内部,非电场力将单位正电荷从电源的负极移至正极所做的功,也就是单位正电荷从低电位移至高电位所获得的电能,称为电源的电动势,用  $E$  表示。规定电动势的方向为电源内部由低电位指向高电位,即电位升的方向,如图 1-4 所示。电动势的单位是 V。为了分析电路方便起见,后面电路的电源两端的电压都用  $U_s$  表示。

## 四、电 位

在进行电路分析时,往往选定某一点为参考点,且假设该点的电位为零,通常称为接地,用符号  $\perp$  表示。它并非真正与地相连,仅表示以该点为参考点,然后计算电路中其他各点对此参考点之间的电压,即电路中各点的电位。把电场力将单位正电荷从电路中某点移至参考点所做的功,定义为该点的电位。

在电路中当选择不同参考点时,各点的电位就不同,但电路中任意两点之间的电压是一定的。

**例 1-1** 电路如图 1-5(a)和(b)所示。图(a)选 b 点为参考点,令  $U_b = 0$ , 则  $U_a = 3V$ ,  $U_c = 5V$ , a、c 两点之间的电压  $U_{ac} = U_a - U_c = (3 - 5)V = -2V$ 。

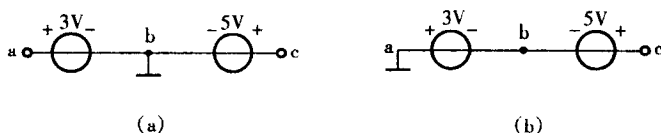


图 1-5 例 1-1 电路

图(b)选 a 点为参考点,即令  $U_a = 0$ , 则  $U_b = -3V$ ,  $U_c = 2V$ 。a、c 两点之间的电压  $U_{ac} = U_a - U_c = (0 - 2)V = -2V$ 。

由此可知:当选  $U_b = 0$  时,  $U_c = 5V$ ; 而选  $U_a = 0$  时,  $U_c = 2V$ 。同是 c 点,当参考点不同时电位不同,而电路中任意两点 a 与 c 之间的电压通过计算是相同的,均为  $-2V$ 。所以在计算电路中各点电位时,电路中只能选某一点为参考点,参考点一经选定,电路中各点的电位随之而定。

为了简化电路,在画电路图时常不画出电源,只在各点标以电位值,例如图 1-6(a)常用图



(b)表示。图中D表示二极管。

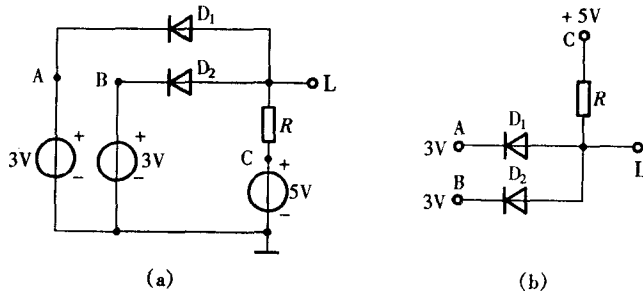


图 1-6 电路的简化画法

(a)原电路 (b)简化电路

例 1-2 试计算图 1-7 所示电路中开关 S 断开和闭合两种情况下 A 点的电位。

解 (1) 当开关 S 断开时,电路如图 1-7 所示。

$$U_{CB} = U_C - U_B = [12 - (-12)]V = 24V$$

$$I = \frac{24}{24}mA = 1mA$$

$$U_{CA} = 12V$$

$$U_{AC} = -12V$$

$$U_A = U_{AC} + U_C = 0V$$

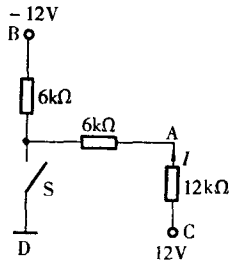


图 1-7 例 1-2 开关 S 断开电路

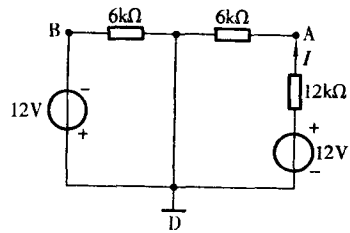


图 1-8 例 1-2 开关 S 闭合电路

(2) 当开关 S 闭合时,电路如图 1-8 所示。

$$I = \frac{12}{18}mA = \frac{2}{3}mA$$

$$U_A = \frac{2}{3}mA \times 6k\Omega = 4V$$

## 五、功率

若电路中的电压为  $U$ , 电流为  $I$ , 电路如图 1-9 所示, 则  $2\Omega$  电阻消耗的功率可以表示为  $P = UI = 50W$ 。图 1-9 中电阻上的电压和电流的正方向一致, 计算的功率  $P$  为正值, 表示电场力对电荷做功, 此电阻在电路中起着负载作用, 它是消耗电能的。而图 1-9 中 ab 虚线左边电路中,  $P_s = -10 \times 5W = -50W$ ,  $P_s$  为负, 说明非电场力对电荷做功, 表示此电动势在电路中为一电源。由此可知, 功率虽然是一个标量, 但在其电压与电流正方向一致, 即在关联的正方向情况