



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代电工学

(第三版)

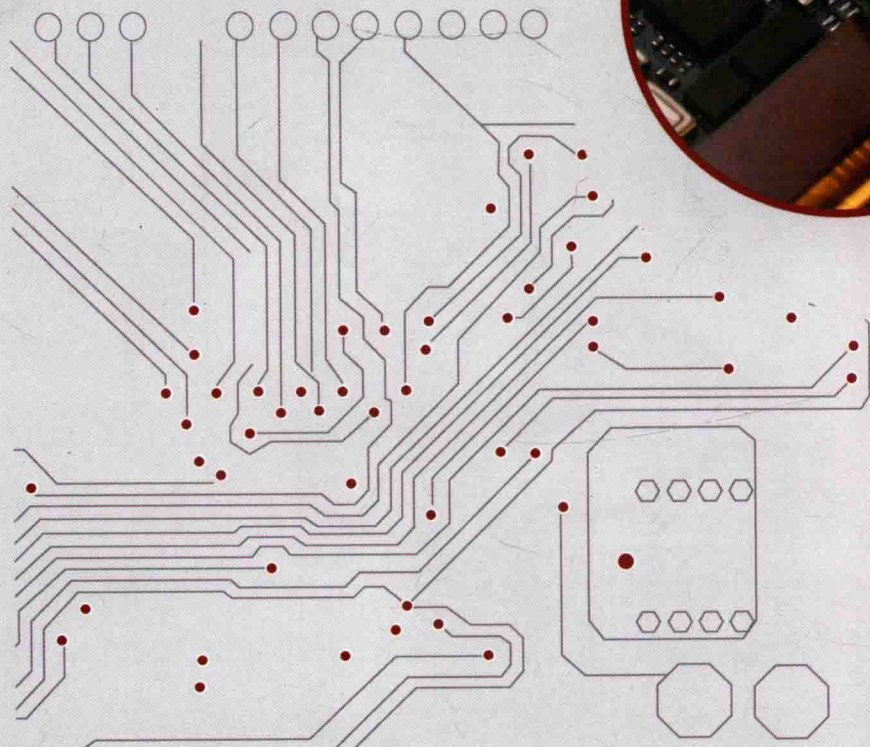
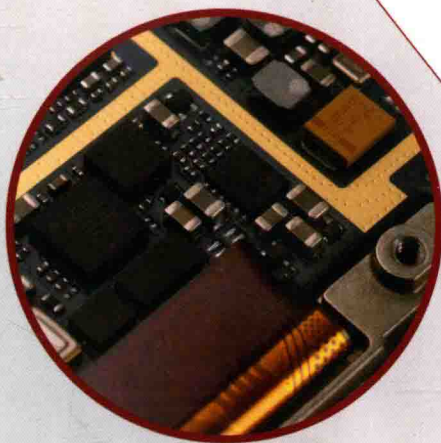
顾伟驹

主编

贾爱民
韩秀荣

龙胜春
吴根忠

编著



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代电工学

(第三版)

顾伟驹 主编

贾爱民 龙胜春
韩秀荣 吴根忠 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据普通高校非电类专业电工学教学的实际情况和课程改革的需要,并参照“电工学”课程教学基本要求而编写的。全书共 13 章。主要内容有:电路的基本概念与分析方法,单相正弦交流电路,三相电路,变压器,电动机,电气自动控制,供、配电技术与安全用电,半导体器件,基本放大电路,集成运算放大器,功率电子电路,组合逻辑电路,时序逻辑电路。每章后附有习题,书后附有部分习题参考答案。

本书可供高等院校非电类本科生、大专生和工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代电工学/顾伟驷主编;贾爱民等编著. —3 版. —北京:科学出版社,2015. 6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-044769-2

I. ①现… II. ①顾… ②贾… III. ①电工技术-高等学校-教材
IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 123181 号

责任编辑:余 江 张丽花 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:霍 兵 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中画美凯印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 8 月第 二 版 印张:18

2015 年 6 月第 三 版 字数:427 000

2015 年 6 月第 11 次印刷

定价:42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第三版前言

本书第二版出版至今已经 6 年了,根据几年来的教学实践和电工电子技术发展的情况进行了本次修订,主要改动如下:

第 6 章:删除了闸刀开关和组合开关,增加了玻璃管式熔断器和低压断路器的实物图片,并在继电接触控制电路中出现的符号作了相应调整。

第 7 章:在 7.2 节增加了两地控制一盏灯的电路;重新改写了 7.4 节,着重介绍国内广泛采用的三相五线制系统中的接零保护、中性点不接地三相系统中的接地保护和漏电保护。

第 10 章:在 10.4 节展开介绍了例 10.4-3 的三运放测量放大电路,10.5 节增加了滞回电压比较器。

第 11 章:11.2.2 中的单相桥式全控整流电路改成了单相桥式半控整流电路,并增加了单结晶体管触发电路。

第 12 章:删除了数制和编码部分。

第 13 章:删除了 555 定时器及其应用。

最后对部分习题及相应习题答案做了改动,并更正了印刷错误。

本书的出版得到了浙江工业大学重点教材建设基金的资助。在修订过程中还得到了浙江工业大学南余荣教授、余世明教授以及宁波大红鹰学院岑理章老师的指导和帮助,在此一并致谢。

由于编者学识有限,书中错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2015 年 5 月

第二版前言

本书第一版于2005年正式出版,已历时四年,2008年第二版被教育部列入“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。编者根据国家规划教材的要求,并结合许多使用本书的教师的意见,完成了本版修订工作。具体说明如下:

(1) “电路的基本概念与分析方法”和“单相正弦交流电路”中的部分内容作了改写。如基尔霍夫定律和正弦量的相量表示法,使叙述更为简洁,符合认知规律。

(2) 根据国标 GB1971—2006《旋转电机线端标志与旋转方向》的规定,电机的绕组用“U、V、W”表示,三相电路中的相线用 L1、L2、L3 表示。

(3) 在变压器部分,根据 GB1094.1—1996《电力变压器》第1部分总则的规定,三相变压器绕组应用 A、B、C 表示,考虑到全书的连贯性,不管是电机还是变压器绕组,本书均用“U、V、W”表示。在安全用电部分,增加了“建筑物的内部线路”一节。

(4) 在集成运放部分,增加了“理想运算放大器”这一节。目的是明确实际运放与理想运放的区别,以便讲述放大电路中的负反馈。

(5) 在直流稳压电源部分,删除了扩大电流的电路,增加了对开关电源的介绍;在功率半导体器件和变流电路部分,增加了对现代可关断器件的介绍,并在交流调压电路中引入了斩空式调压电路,加强了完整性。

(6) 在时序电路部分,加强了应用性,增加了移位寄存器的实例,调整了计数器部分的结构,并将任意进制电路单独列为一小节。

(7) 增加了个别习题,并附上了习题参考答案。

由于编者学识有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者和使用本书的教师批评指正。

编 者
2009年6月

第一版前言

本教材是根据教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会制订的“电工学”课程教学基本要求,结合编者多年的教学实践,为进一步推进高等院校素质教育而专门组织编写的。与以往教材相比,本教材有以下特点:

(1) 突出基本概念、基本理论和基本分析方法。如在第1章中介绍了电路的基本概念,讨论了无源电路元件和有源电路元件;在电路分析方法中只介绍KCL、KVL的应用,叠加原理和等效电路定理。

(2) 精简传统内容。如在变压器部分,着重介绍了变压器的三个变换;在电动机部分,精简了电动机的等效电路。

(3) 对电子技术部分内容,淡化分立元件电路,加强集成电路。如在第8章中,淡化晶体管内部载流子运动规律的分析;重点介绍现在广为使用的器件,如NMOS增强型场效应管;在第9章介绍的基本单元电路中,以引出各单元电路的特点为重点,淡化过多的定量计算。

(4) 将实用性和先进性结合起来。教材中的器件大都选用有代表性的典型常用芯片,还附有应用实例;将成熟的新技术(如PLC、PLD)纳入教材,使学生初步了解其功能和应用。

(5) 反映电力电子技术的发展。着重介绍晶闸管和绝缘门极双极型晶体管,增加了交流调压及变频、直流调压等内容。

(6) 在内容编排上,将电路的暂态放在第1章中,将负反馈和信号发生电路(运放的非线性应用)放在第10章,而555及应用放在第13章中。

本书力求概念清晰、条理清楚、先简后难,使之易教易学。

参加本书编写的有韩秀荣(第4章)、龙胜春(第8.6节、第9.5节)、贾爱民(第11~13章),顾伟驷编写了其余各章节,全书由顾伟驷统稿。

本教材的出版得到了浙江工业大学重点教材建设基金的资助;在编写过程中,还得到了蒋黔麟教授的指导;刘咪、叶敏、姚蕾、尚可武、刘亚成、王一娇等同学在绘图方面做了大量的工作;王涌、周文委、陈秀丽、余佩琼等老师也给予了许多指导和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限,虽然我们精心组织,书中错误和不足之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编 者

2005年4月

目 录

第三版前言

第二版前言

第一版前言

1 电路的基本概念与分析方法	1
1.1 电路的基本概念	1
1.2 无源电路元件	3
1.3 有源电路元件	5
1.4 基尔霍夫定律	8
1.5 支路电流法	10
1.6 叠加原理	11
1.7 等效电源定理	13
1.8 受控源	16
1.9 一阶电路的过渡过程	17
习题一	22
2 单相正弦交流电路	27
2.1 正弦交流电的基本概念	27
2.2 正弦交流电的相量表示法	30
2.3 单一参数的交流电路	32
2.4 R 、 L 、 C 串联电路	37
2.5 阻抗的串联与并联	40
2.6 功率因数的提高	42
2.7 电路中的谐振	44
习题二	46
3 三相电路	50
3.1 三相电源	50
3.2 三相负载	52
3.3 三相功率	57
习题三	59
4 变压器	60
4.1 磁路及磁路分析	60
4.2 变压器的分类、结构及额定值	63
4.3 变压器的工作原理	65
4.4 变压器的特性	68
4.5 三相变压器	69
习题四	70
5 电动机	72

5.1	三相异步电动机的基本构造	72
5.2	三相异步电动机的工作原理	74
5.3	三相异步电动机的铭牌数据	77
5.4	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	79
5.5	三相异步电动机的启动	82
5.6	三相异步电动机的调速	86
5.7	单相异步电动机	87
5.8	直流电动机	89
5.9	伺服电动机	92
5.10	步进电动机	93
	习题五	95
6	电气自动控制	97
6.1	低压电器	97
6.2	异步电动机的控制电路	102
6.3	可编程控制器	106
	习题六	109
7	供、配电技术与安全用电	112
7.1	供电与配电概述	112
7.2	建筑物的内部线路	113
7.3	电气人身事故	116
7.4	安全用电	118
	习题七	120
8	半导体器件	121
8.1	半导体的基础知识和 PN 结	121
8.2	半导体二极管	123
8.3	特殊二极管	125
8.4	晶体三极管	127
8.5	特殊三极管	131
8.6	MOS 绝缘栅场效应管	132
	习题八	135
9	基本放大电路	138
9.1	基本交流放大电路	138
9.2	放大电路的微变等效电路分析法	141
9.3	静态工作点的稳定电路	145
9.4	射极输出器	147
9.5	场效应管放大电路	149
9.6	差动放大电路	151
9.7	互补对称功率放大电路	153
	习题九	154
10	集成运算放大器	158
10.1	集成运放概述	158

10.2	放大电路中的负反馈	161
10.3	理想运算放大器	166
10.4	集成运放的基本运算电路	166
10.5	信号处理中常用的运算放大电路	172
10.6	信号发生电路	176
	习题十	180
11	功率电子电路	185
11.1	直流稳压电源	185
11.2	功率半导体器件和变流电路	193
	习题十一	205
12	组合逻辑电路	209
12.1	数字电路概述	209
12.2	逻辑代数	209
12.3	逻辑函数的表示和化简	213
12.4	集成门电路	216
12.5	组合逻辑电路	221
	习题十二	228
13	时序逻辑电路	232
13.1	集成触发器	232
13.2	时序逻辑电路	237
13.3	半导体存储器	247
13.4	模拟量和数字量的转换	250
13.5	可编程逻辑器件	256
13.6	应用举例	261
	习题十三	264
	参考文献	271
	部分习题参考答案	272

1 电路的基本概念与分析方法

随着科学技术的发展,电工技术已广泛应用于生产领域的各个部门。尽管目前使用的电气设备种类日趋繁多,但绝大部分的设备仍是由各式各样的基本电路组成的。因此,掌握电路的分析和计算方法是十分重要的,它是进一步学习电机、电器和电子技术的基础。

本章介绍了电路的基本概念和常用的分析及计算方法。值得指出的是,电路的分析及计算方法虽然是针对直流电路导出的,但只要稍加扩展,对于交流电路也是适用的。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及作用

电路,简言之就是电流所经过的路径。电路一般是由电路器件和电工设备以一定方式构成的。图 1.1-1(a)所示是一个最简单的实际电路,它由三部分组成:①干电池;②白炽灯泡;③连接导线及开关等。这三部分分别称为电源、负载和中间环节,它们是电路的基本组成部分。一般电路可用图 1.1-1(b)的框图表示。各组成部分及其作用简述如下:

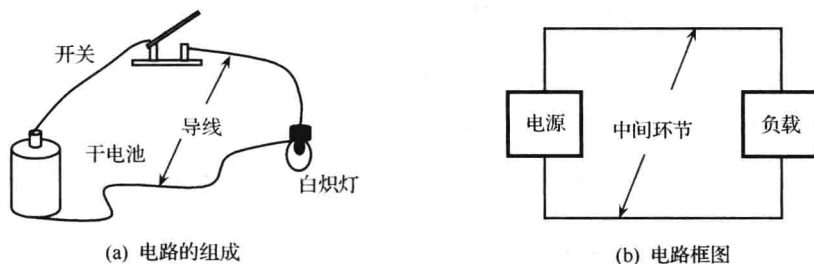


图 1.1-1 一个简单电路及其框图

电源是供电设备,它是将其他形式的能量转换为电能或者把电能转换成另一种形式的电能或信号的装置。常见的电源设备有发电机、干电池和信号发生器等。

负载是用电设备,它是将电能转换为其他形式能量,或者接收、传递电信号的装置。实际用电设备有电阻器、电感器、电容器、二极管、三极管、电子管等各种器件。

中间环节除了连接导线和开关以外,还有变压器、电工仪表、熔断器(保险丝)等多种设备。它们在电路中的作用为连接电源和负载,控制电能的传送和分配等。

电路的作用常从下面两个方面考虑:

一方面,在电力工程中,电路起输送和转换电能的作用。通常,发电机发电、输电线输电、变电站变配电、电力拖动、电气照明、电热等都属于电力工程的范畴。

另一方面,电路还起着信号的变换与处理作用,就是对外加输入信号进行加工处理,使之成为需要的输出信号。由于对信号进行加工处理,必须经过电流和电压的变化才能实现,因此就其本质而言,信号的变换和处理仍属于能量的转换。这方面的例子很多。例如:将一

个微弱的信号输入到放大电路,在其输出端得到了一个较大的而形状并未改变的信号,如图 1.1-2 所示。常见的收音机、扩音器电路便是放大电路的实例。



图 1.1-2 信号波形放大

1.1.2 电路的基本物理量及参考方向

1. 电流

在电路中,电荷的定向移动就形成电流。电流是标量,它的定义为:在单位时间内通过导体横截面的电荷量,即

$$I = Q/t \tag{1.1-1}$$

式中, Q 的单位是库(C), t 的单位是秒(s), 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,简称直流。如果通过横截面的电荷随时间变化,则称为交变电流,其瞬间值用小写字母 i 表示。

$$i = dq/dt \tag{1.1-2}$$

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向,如图 1.1-3 所示。

在分析较为复杂的直流电路时,往往事先难于判断某支路中电流的实际方向;对交流来讲,其方向随时间而变,在电路图上也无法用一个箭头来表示它的实际方向。这时,可任意选定某一方向作为电流的参考方向或称正方向。所选电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其参考方向一致时,则电流为正值,如图 1.1-4(a) 所示;反之,当电流的实际方向与其参考方向相反时,则电流为负值,如图 1.1-4(b) 所示。因此,在参考方向选定之后,电流之值才有正负之分。

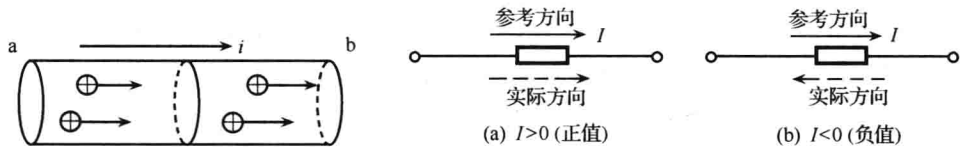


图 1.1-3 电流的方向

图 1.1-4 电流的正方向和实际方向

电流的参考方向除用箭头表示外,还可用双下标表示,如 I_{ab} 表示参考方向是由 a 指向 b 的电流。如果参考方向选定为由 b 指向 a ,则为 I_{ba} ,两者之间相差一个负号,即 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

2. 电压与电动势

电动势 E 在数值上等于局外力在电源内将单位正电荷从负极移至正极所做的功。电压和电动势都是标量。但在分析电路时,我们说它们具有方向。电压的方向规定为高电位端指向低电位端,即为电位降低的方向。电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向

高电位端,即为电位升高的方向。

和电流一样,在电路图上所标的电压和电动势的方向也都是参考方向(用参考极性“+”和“-”或双下标表示)。它们是正值还是负值,视选定的参考方向而定。

电路中每一个元件(或部分电路)两端间的电压及流经(或部分电路)电流的参考方向可以任意选定,即电压、电流参考方向可以选为一致,也可以不一致,习惯上采用参考方向一致的原则,即关联参考方向,如图 1.1-5 所示。

所谓关联参考方向,是指选定的电流的流向(参考方向)是从给定的电压(参考方向)高电位端流入元件或支路,再从低电位端流出。

电压与电动势的单位一样,均为伏特,简称伏(V)。

3. 电路功率

设某一元件(或部分电路)两端的电压为 U ,流过的电流为 I ,且电压和电流的方向相关联,如图 1.1-5,则该元件消耗的功率 P 为

$$P = UI \tag{1.1-3}$$

若得到的功率值为正数,说明元件是耗能的负载。反之,功率值为负数时,则元件是产生电能的,为电源。

功率的单位为瓦(W)、千瓦(kW)。

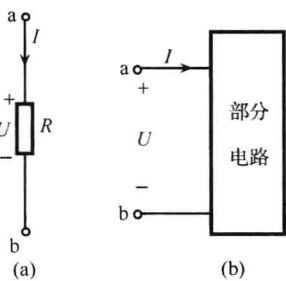


图 1.1-5 关联参考方向

1.2 无源电路元件

为了便于对实际电路进行分析并用数学描述,将实际元件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看作理想电路元件。由一些理想电路元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型,简称电路。本节先讨论无源电路元件(电阻元件、电感元件和电容元件),随后将讨论有源电路元件。

1.2.1 电阻元件

电阻元件简称为电阻,凡是电能不可逆转地转换为其他形式能量的物理过程都可用电阻来表示。电阻通常用 R 表示,其单位为欧姆(Ω)。

电阻两端的电压与流过的电流遵循欧姆定律,在关联方向下,其关系式为

$$u = iR \tag{1.2-1}$$

上式反映了电阻上电压与电流的约束关系,也称为电阻的伏安特性。当伏安特性为一通过原点的直线,即 R 的值为常数时,该电阻称为线性电阻;反之,称为非线性电阻,如常用的二极管等。

电流流过电阻时,其消耗的功率为 $P = iu = i^2 R > 0$,说明电阻为一耗能元件。实际应用中,要正确使用电阻元件,必须按电阻值和额定功率来选择。

1.2.2 电感元件

电感元件简称为电感,凡是磁场储能的物理过程都可用电感来表示。电感通常用 L 表示,其单位为亨利(H),简称亨。

线圈是典型的电感元件,当忽略线圈的电阻时,可认为是一理想的电感,如图 1.2-1(a),当接至交流电压 u_L 时,线圈中有电流 i_L 流进,产生交变的磁通 Φ ,若线圈匝数为 N ,则有 $\Psi = N\Phi$, Ψ 称为磁链。当线圈中无铁磁材料时,磁链 Ψ 与电流 i_L 成正比关系,即 $\Psi \propto i_L$,可得电感

$$L = \frac{\Psi}{i_L} = \frac{N\Phi}{i_L} \quad (1.2-2)$$

电感 L 与线圈的形状、尺寸及匝数有关,还与线圈所处空间介质的导磁性能有关。当线圈中无铁磁材料时, L 为一常数,其电路符号如图 1.2-1(b)所示。若线圈中存在铁磁材料,则电感 L 将不为常数。

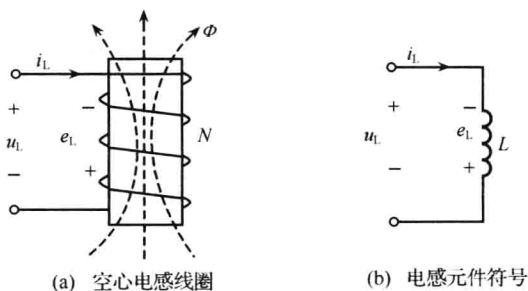


图 1.2-1 电感元件

根据法拉第电磁感应定律,当线圈中通入变化的电流 i_L 后,此线圈中将产生感应电势 e_L ,对于空心线圈

$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt} = -L \frac{di_L}{dt} \quad (1.2-3)$$

$$u_L = -e_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (1.2-4)$$

e_L 的参考方向如图 1.2-1(a)所示。式(1.2-4)表明,某时刻电感两端的电压与电感电流的变化率成正比,而与该时刻电感电流本身的数值无关。在直流电流中,电流恒定, $u_L = 0$,电感元件可视为短路。

电感是一种储能元件,它从电源吸取的电能将转变成磁场储能,当时间由 0 到 T ,电流由 0 增加到 I 时,电感的磁场储能为

$$W_L = \int_0^T i u dt = \int_0^I L i di = \frac{1}{2} L I^2 \quad (1.2-5)$$

它与电感电流有效值的平方成正比,还与电感 L 有关。

选择电感时,不但要选择合适的电感值,而且应使其实际工作电流不超过其额定电流。

1.2.3 电容元件

电容元件简称为电容,凡是电场储能的物理过程都可用电容来表示。电容通常用 C 表示,其单位为法拉(F),简称法。

如图 1.2-2 所示,电容器极板上的电荷量 q 与极板间的电压 u_C 成正比,即

$$q = Cu_C \quad \text{或} \quad C = \frac{q}{u_C} \quad (1.2-6)$$

电容 C 与极板的尺寸及其绝缘介质的性能有关。

当电容两端加一变化的电压时,极板上积储的电荷量将随电压的变化而变化,这时电路中就产生电流 i_C ,即

$$i_C = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt} \quad (1.2-7)$$

上式表明,某一时刻流过电容的电流与电容电压的变化率成正比,而与该电容电压本身的数值无关。当 $|u_C|$ 增加时电容器充电,当 $|u_C|$ 减小时电容器放电;当 u_C 为恒定值时, $\frac{du_C}{dt} = 0$, $i_C = 0$,可见在直流稳态电路中电容可视为开路。

电容元件也是一种储能元件,从电源吸取的能量转化为电场储能,当时间由 0 到 T ,电压由 0 增加到 U 时,电容的电场储能为

$$W_C = \int_0^T i u dt = \int_0^U C u du = \frac{1}{2} C U^2 \quad (1.2-8)$$

它取决于电容 C 和该时刻的电容电压值,而与该时刻的电容电流无关。当 $|u_C|$ 增加时, $w_C(t)$ 增加,电容从电源吸取电能,即为充电的过程;当 $|u_C|$ 减小时, $w_C(t)$ 减小,电容向电源释放电场储能,即为放电的过程。

选择电容器时,不但要选择合适的电容值,而且还要选择合适的耐压值。电容器的耐压值是电容器长期可靠安全工作的最高电压。

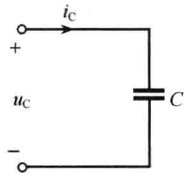


图 1.2-2 电容元件

1.3 有源电路元件

有源电路元件包括独立电源和受控源。独立电源能独立地向电路提供电压或电流,而不受其他支路的电压或电流的控制;受控源向电路提供的电压或电流,是受电路中其他支路的电压或电流控制的。本节只介绍独立电源。

1.3.1 理想电压源和理想电流源

理想电压源简称电压源,它的端电压是恒定值 U_S 或为随时间变化的 $u_S(t)$ (如正弦交流电压),而流过的电流取决于与它相连的外电路。图 1.3-1 为它的符号和外特性。

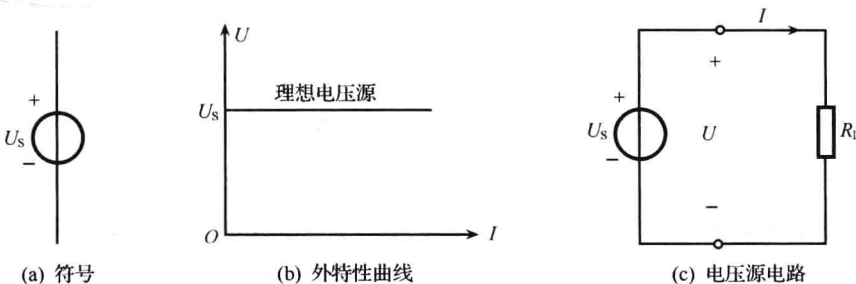


图 1.3-1 理想电压源的符号、外特性曲线

理想电流源简称电流源，它的输出电流是恒定值 I_s 或为随时间变化的 $i_s(t)$ (如正弦交流电流)，而它的端电压取决于与它相连的外电路。图 1.3-2 为它的符号和外特性。

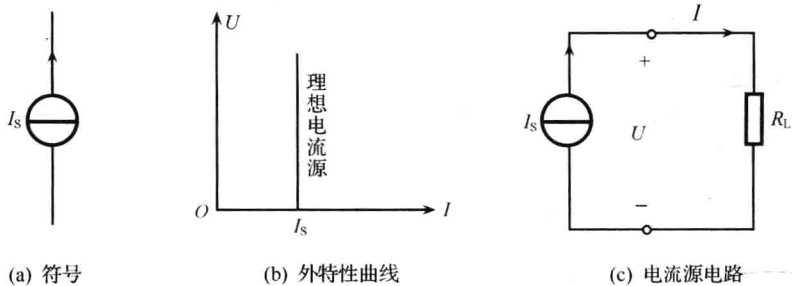


图 1.3-2 理想电流源的符号、外特性曲线

1.3.2 实际电源模型及其等效变换

一个实际的电源，其端电压往往会随电流的变化而变化。如电池接上负载后，其端电压会降低，这是因为电源内部存在内阻。所以，一个实际的电源可以用理想电压源与内阻相串联的形式来表示。这就是电压源模型，如图 1.3-3(a)所示。

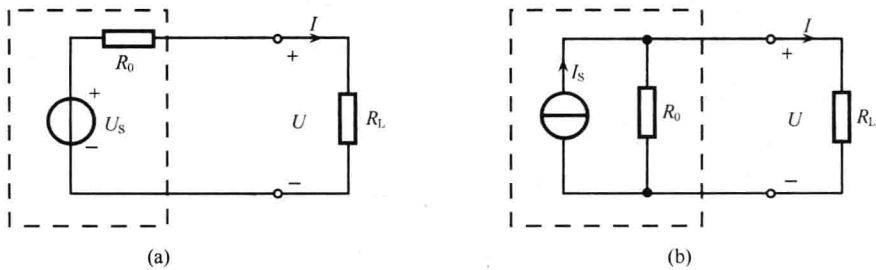


图 1.3-3 两种电源模型及等效互换

由图 1.3-3(a)所示的电压源模型得

$$U = U_s - R_0 I \tag{1.3-1}$$

一个实际的电源除用电压源表示外，还可由另一种电源模型来表示。如将式(1.3-1)两端同除 R_0 ，则得

$$\frac{U}{R_0} = \frac{U_s}{R_0} - I = I_s - I \tag{1.3-2}$$

即

$$I_s = \frac{U}{R_0} + I \tag{1.3-3}$$

这里， $I_s = \frac{U_s}{R_0}$ 为电源的短路电流， I 是负载电流，而 $\frac{U}{R_0}$ 是引出的另一个电流。如用电路图表示，则如图 1.3-3(b)所示，这就是电流源模型。

如果一个电压源模型与一个电流源模型对同一个负载能够提供等值的电压、电流和功率，则这两个电源对此负载是等效的；或者说，若两个电源的外特性(伏安特性)相同，则对任何外电路都是等效的。具备这个条件的电源互为等效电源，而等效互换的条件可由式(1.3-3)得出，即

$$U_s = R_0 I_s \quad \text{或} \quad I_s = \frac{U_s}{R_0} \quad (1.3-4)$$

必须注意的是,两种电源模型的内阻均为 R_0 。

例 1.3-1 有一实际电源给负载 R_L 供电,如图 1.3-4(a) 所示,当 $R_L \rightarrow \infty$ 时,测得 $U = 4\text{V}$;当 $R_L = 3\Omega$ 时,测得 $U = 3\text{V}$ 。

(1) 试用电压源模型表示电路;并求负载消耗的功率,以及电压源产生的功率与内部损耗功率。

(2) 试用电流源模型表示电路;并求电流源产生的电功率、内部损耗功率,以及负载 R_L 消耗的功率。

解 (1) 用电压源模型表示电路:

电压源电路模型和电压、电流参考方向示于图 1.3-4(b)。

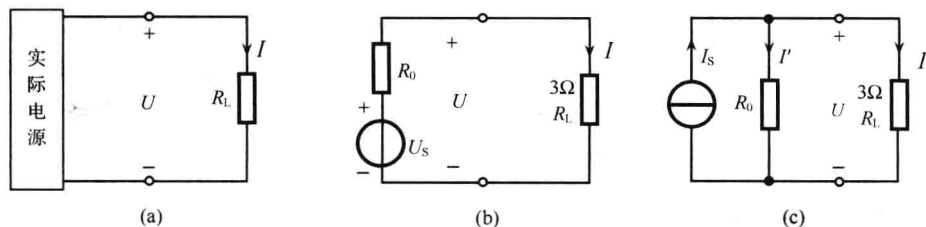


图 1.3-4 例 1.3-1 图

当 $R_L \rightarrow \infty$ 时, $U_s = U = 4\text{V}$

当 $R_L = 3\Omega$ 时, $I = \frac{U}{R_L} = \frac{3}{3}\text{A} = 1\text{A}$

又因为 $I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} = \frac{4}{R_0 + 3}$

故 $R_0 = 1\Omega$

负载消耗的功率 $P_L = UI = 3 \times 1\text{W} = 3\text{W}$

电压源产生的功率 $P_{U_s} = U_s I = 4 \times 1\text{W} = 4\text{W}$

电压源内部损耗功率 $P_0 = I^2 R_0 = 1^2 \times 1\text{W} = 1\text{W}$

(2) 用等效电流源表示电路:

理想电流源的电流 $I_s = \frac{U_s}{R_0} = \frac{4}{1}\text{A} = 4\text{A}$

电流源模型和电压、电流的参考方向示于图 1.3-4(c)。

负载的端电压 $U = I_s (R_0 // R_L) = 4 \times \frac{1 \times 3}{1 + 3}\text{V} = 3\text{V}$

电流源产生的功率 $P_{I_s} = I_s U = 4 \times 3\text{W} = 12\text{W}$

电流源内阻损耗的功率 $P_0 = \frac{U^2}{R_0} = \frac{3^2}{1}\text{W} = 9\text{W}$

负载 R_L 消耗的功率 $P_L = IU = I^2 R_L = 1^2 \times 3\text{W} = 3\text{W}$

由此可见,电压源和电流源的等效仅仅是指外电路而言的,至于电源内部的电压、电流和功率一般并不相等。

最后应指出,理想的电压源和理想电流源之间不能等效互换,因为根据定义,这是两种性质完全不同的电源模型。

1.4 基尔霍夫定律

分析与计算电路的基本定律,除了欧姆定律外,还有基尔霍夫电流定律和电压定律。基尔霍夫电流定律应用于节点,电压定律应用于回路。

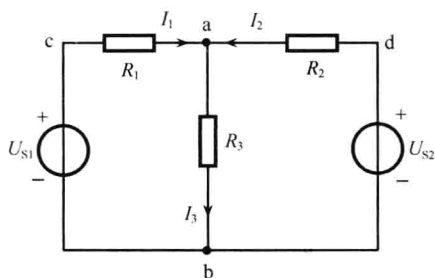


图 1.4-1 电路举例

在讨论基尔霍夫定律之前,结合图 1.4-1 介绍几个描述电路结构的术语。

节点: 3 个或 3 个以上电路元件的连接点,称为节点。图 1.4-1 中有 a、b 共两个节点。

支路: 连接两个节点之间的通路,称为支路。图 1.4-1 中有 acb、ab 和 adb 共 3 条支路。

回路: 电路中的任一闭合路径,称为回路。图 1.4-1 中有回路 adbca、abca 和 abda 共 3 个回路。

每两个节点之间的电压,称为支路电压。每一条支路所流过的电流,称为支路电流。

1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律:在任一时刻,对任一节点,流进某一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。即

$$\sum i_{\text{in}} = \sum i_{\text{out}} \quad (1.4-1)$$

在图 1.4-1 所示的电路中,对节点 a 可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或将上式改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0$$

就是在任一时刻,任一节点上电流的代数和恒等于零。如果规定参考方向流向节点的电流为正号,则流出节点的就取负号。

基尔霍夫电流定律通常应用于节点,也可以把它推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。例如,图 1.4-2 所示的闭合面包围的是一个三角形电路,它有三个节点。应用 KCL 可列出

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

上列三相式相加,使得

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

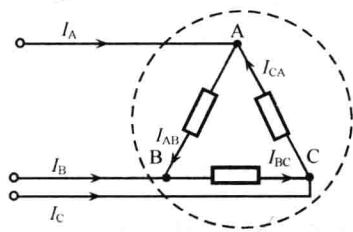


图 1.4-2 基尔霍夫电流定律的推广应用