

“十三五”规划创新教材

电工学

基本原理及应用

• 主编 陈 颀



电子科技大学出版社

University of Electronic Science and Technology of China Press

内容简介

本书为理工类

专业基础课教材

ISBN 7-302-14217-9

前言

INTRODUCTION

电 工 学 基 本 原 理 及 应 用

主 编 陈 颀
 副主编 吕 英 英
 参 编 杨 琳 张家洪
 刑 孟 江 李 小 珍

本书共分10章。第1、2章主要讲述了直流电路和正弦电路的分析方法。第3章讲述交流电路的功率问题。第4章讲述三相电路和对称三相电路的分析方法。第5章讲述变压器和互感耦合电路的分析方法。第6章讲述异步电动机和同步电动机。第7章讲述继电接触器控制线路。第8章讲述可编程逻辑控制器。第9章讲述单片机应用系统。第10章讲述变频器应用系统。

本书可作为高等院校理工类专业的教材，也可供从事电气工程工作的工程技术人员参考。

本书由陈颀担任主编，吕英英担任副主编，杨琳、张家洪、刑孟江、李小珍担任参编。全书由吕英英统稿，陈颀审定。本书在编写过程中得到了许多老师和同学的帮助，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免出现一些错误，恳请广大读者批评指正。

 电子科技大学出版社
 University of Electronic Science and Technology of China Press

地址：成都，四川

图书在版编目(CIP)数据

电工学基本原理及应用 / 陈颀主编. — 成都 : 电子科技大学出版社, 2018.5
ISBN 978-7-5647-6473-9

I. ①电… II. ①陈… III. ①电工学 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 142132 号

本书是作者结合多年的教学、实践和科研经验编写而成,全面讲述了电工学的基本概念、常用器件、直流电路、交流电路、模拟电路和数字电路的基本原理、分析方法和实际应用。全书共分 10 章,第 1、2、3 章主要讲述了直流电路和交流电路的分析方法,三相异步电动机的继电控制;第 4、5、6 章主要讲述了分立元件构成的基本放大电路、集成运放构成的各种运算电路和直流稳压电源;第 7、8、9、10 章主要讲述了门电路的基本原理、组合逻辑电路的分析和设计、时序逻辑电路的分析和实际应用、A/D 与 D/A 转换器。

本书可作为高等学校工科非电类专业的教材,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

电工学基本原理及应用

DIANGONGXUE JIBEN YUANLI JI YINGYONG

陈 颀 主 编

策划编辑 曾 艺

责任编辑 曾 艺

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编 610051

主 页 www.uestp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 北京佳顺印务有限公司

成品尺寸 185mm×260mm

印 张 18.5

字 数 440 千字

版 次 2018 年 5 月第一版

印 次 2018 年 5 月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-6473-9

定 价 39.80 元

版权所有,侵权必究

前 言

本书是作者结合多年的教学、实践和科研经验编写而成,全面讲述了电工学的基本概念、常用器件、直流电路、交流电路、模拟电路和数字电路的基本原理、分析方法和实际应用。全书共分10章,第1、2、3章主要讲述了直流电路和交流电路的分析方法,三相异步电动机的继电控制;第4、5、6章主要讲述了分立元件构成的基本放大电路、集成运算放大器构成的各种运算电路和直流稳压电源;第7、8、9、10章主要讲述了门电路的基本原理、组合逻辑电路的分析和设计、时序逻辑电路的分析和实际应用、A/D与D/A转换器。

本书可作为高等学校工科非电类专业的教材,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。“电工学基本原理及应用”是工科非电类专业的一门学科基础课,是理、工、农、医等各类专业大学本科生素质教育中不可缺少的基础知识,它的主要任务是为学生学习专业知识和从事工程技术工作打好电工技术的理论基础,并使他们受到必要的基本技能训练,为继续学习与本专业有关的工程技术和科学研究工作打下一定的基础。

本书共分10章,详细讲述了直流电路和交流电路的基本原理和分析方法、三相异步电动机的原理及其继电控制、直流稳压电源、晶体管基本放大电路、集成运算放大电路、数字电路基础、组合逻辑电路分析和设计方法、时序逻辑电路的分析和实际应用、D/A和A/D转换器。每章都有摘要、小结和习题,供读者学习、总结和练习用。本书授课学时为48—80学时,在安排教学内容时可根据具体要求和学时的多少,作必要的增减。

本书编写原则是:(1)教材基本内容为教学的基本要求;(2)注重教材内容与电工技术和电子技术发展相适应;(3)全书顺序是按先讲基本电路理论知识,后讲模拟电子技术和数字电子技术,注重讲清楚基本概念、基本原理、分析方法和实际应用,注重学生工程素质培养,启发思维,激发创新能力;(4)注意文字通顺流畅,通俗易懂,便于阅读。

本书由陈颀担任主编,负责全书的组织、修改和定稿,吕英英担任副主编,同时参加编写的还有杨琳、张家洪、邢孟江和李小珍;其中第1章和第2章由杨琳编写,第3章由吕英英编写,第4章由李小珍和邢孟江编写,第5章由陈颀和吕英英编写,第6章由陈颀编写,第7章由吕英英编写,第8章由张家洪编写,第9章由陈颀编写,第10章由张家洪编写。全书由沈韬主审。本书在编写过程中得到了昆明理工大学领导与老师的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免出现不妥之处,诚恳希望读者提出宝贵意见。

陈 颀

2018年5月于昆明



目 录

第 1 章 电路与电路基本分析方法	(1)
1.1 电路的基本概念	(1)
1.2 电路的基本定律及分析方法	(13)
1.3 电路的暂态分析	(22)
第 2 章 正弦交流电路	(33)
2.1 正弦交流电的的相量计算法	(33)
2.2 单一参数的交流电路	(38)
2.3 串并联交流电路的分析	(46)
2.4 三相正弦交流电路	(57)
第 3 章 三相异步电动机及其继电控制	(70)
3.1 磁路与电磁铁	(70)
3.2 变压器的工作原理及应用	(75)
3.3 三相异步电动机	(78)
3.4 三相异步电动机的继电控制	(88)
第 4 章 直流稳压电源	(98)
4.1 半导体基础	(98)
4.2 PN 结与二极管	(100)
4.3 直流稳压电源	(105)
第 5 章 双极型晶体管放大电路	(115)
5.1 三极管	(115)
5.2 放大的概念和放大电路的主要性能指标	(122)
5.3 基本共射放大电路的工作原理	(124)
5.4 放大电路的分析方法	(127)
5.5 分压偏置共射放大电路	(140)
5.6 共集放大电路	(143)
5.7 多级放大电路	(146)
5.8 差分放大电路	(148)
5.9 互补对称功率放大电路	(150)
第 6 章 集成运算放大器及其应用	(156)
6.1 集成运算放大器	(156)
6.2 集成运算放大器的线性应用	(159)
6.3 集成运算放大器的非线性应用	(170)



第 7 章 数字电路基础	(189)
7.1 模拟信号与数字信号	(189)
7.2 数制与编码	(190)
7.3 逻辑代数基础	(192)
7.4 脉冲信号	(193)
第 8 章 门电路与组合逻辑电路	(195)
8.1 基本门电路	(195)
8.2 组合逻辑电路的分析和设计	(204)
8.3 常用的组合逻辑电路	(216)
8.4 组合逻辑电路的应用	(226)
第 9 章 时序逻辑电路的分析和应用	(232)
9.1 触发器的电路结构和工作原理	(232)
9.2 触发器的逻辑功能	(241)
9.3 时序逻辑电路的分析方法	(246)
9.4 常用时序逻辑电路	(250)
9.5 时序逻辑电路的应用	(257)
第 10 章 D/A 与 A/D 转换器	(275)
10.1 D/A 转换器	(275)
10.2 A/D 转换器	(281)
10.3 D/A 与 A/D 转换器的应用	(287)



第1章 电路与电路基本分析方法

摘要：本章的主要内容是以直流电路为主要研究对象，首先讲述了电路的基本概念和基本定律，讨论电路中电压和电流的参考方向，介绍了电路模型和理想电路元件；然后介绍电路的基本定理和分析计算的基本方法，电源的工作状态及电位的概念及计算；最后简单介绍了电路的暂态过程。其中，重点讲述了基尔霍夫定律以及利用支路电流法、叠加定律和戴维南定理分析电路的方法。这些内容都是分析与计算电路的基础。

1.1 电路的基本概念

电路是电流的通路，它是为了某种需要由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。

1.1.1 电路的组成及作用

电路是由电源、导线、开关、负载等电器设备或元器件组成使电流流通的整体。也就是电流流通的路径。通常电路还可称为电网络。如图 1-1-1 所示的是电力系统实物图。

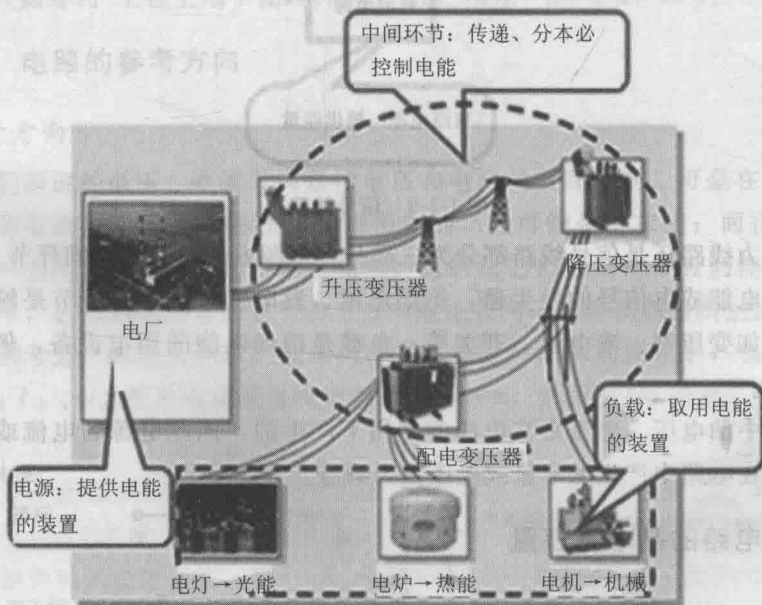


图 1-1-1 电力系统实物图

电路的形式和作用是多种多样的，实际电路的主要作用有两个：一是实现电能的传输和转换，称为电力线路，如图 1-1-2 所示。常见的电力线路有发电、供电系统、电气照明等。二是实现信号的传递和处理，称为信号线路，如图 1-1-3 所示。常见的信号线路有



各种电信号的产生、放大、整形、数字信号的运算和处理、存储等。

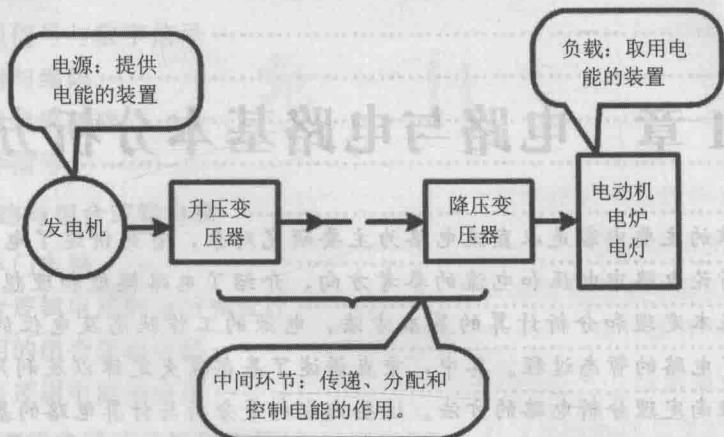


图 1-1-2 电力线路

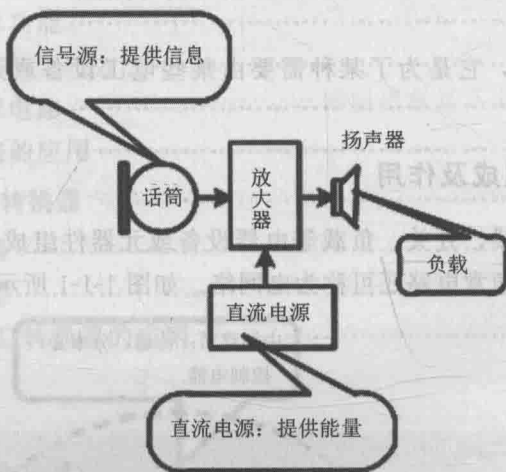


图 1-1-3 信号线路

无论是电力线路还是信号线路都分为三部分：电源或信号源、中间环节、负载。

电源包括电能或电信号的发生器，例如电池、发电机等；中间环节是输送和分配电能的设备，例如变压器、输电线、开关等；负载是消耗电能的用电设备，例如电灯、电动机、电炉等。

由于电路中的电压、电流是在电源的作用下产生的，因此电源的电流或电压称为激励，由激励而在电路中产生的电流或电压称为响应。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

单位时间内通过导体横截面的电荷量。用 $I(i)$ 表示。

$$I = \frac{Q}{t} \quad i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

单位：A(安培)。电流方向：规定为正电荷运动的方向。



2. 电压

电场力将单位正电荷从电路某一点移至另一点所做的功，也就是两点之间的电位差。用 U 表示。单位：V(伏特)。电压方向：规定高电位→低电位，即电位降低方向。

3. 电位

选择电路中的一点为参考点，某一点和参考点之间的电压即为这一点的电位。用 V 表示。单位：V(伏特)。某一点电位的值是一个相对的量，随着参考点的不同而发生变化。参考点也称接地，用 \perp 表示，其电位为零。

4. 电动势

电源中的局外力(非电场力)将单位正电荷从电源的负极移至正极所转换而来的电能。用 E 表示。单位：V(伏特)。电动势方向：电源负极→正极，即电位升高方向。

5. 电功率

电流在单位时间内做的功叫做电功率。是用来表示消耗电能的快慢的物理量，用 P 表示，单位：W(瓦特)和 mW(毫瓦)，较大的单位用 kW(千瓦)。1kW=10³W，1mW=10⁻³W。

6. 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，也是时间 t 内所转换的电功率。

$$W = Pt = UIt \quad (1.1.2)$$

单位：J(焦耳)。工程上用千瓦时(kW·h)，1kW·h=3.6×10⁶J。

1.1.3 电路的参考方向

1. 参考方向

之前我们所说的电压、电流方向是指电压和电流的实际方向，可是在复杂的直流电路中，电压和电流的实际方向往往是无法预知的，且可能是待求的；而在交流电路中，电压和电流的实际方向是随时间不断变化的。这时给它们假定一个方向作为电路分析和计算时的参考，这些假定的方向称为参考方向或正方向，标注在电路图上。

电流的参考方向用箭头表示，电压的参考方向采用高低电位表示，也可采用双下标表示。例如： I_{ab} 、 U_{ab} 表示电流或电压方向是从 a 到 b ，如图 1-1-4 所示。

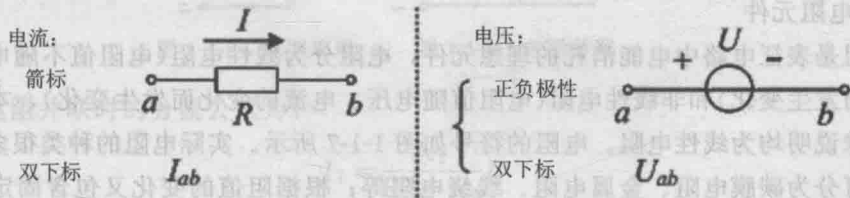


图 1-1-4 参考方向

2. 关联参考方向

原则上电压和电流的参考方向的假设是任意的，根据参考方向计算的电流或电压的



值有正也有负，若计算值为正，表明所假设的参考方向与实际方向相同；若计算值为负，表明所假设的参考方向与实际方向相反。有时为了计算方便把某些元件(如电阻、电感、电容)的电压和电流标成相同方向，称为关联参考方向，如图 1-1-5 所示。

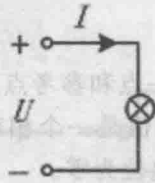


图 1-1-5 关联参考方向

1.1.4 电路模型与理想电路元件

1. 实际电路是由电器件构成的整体，电流流过的通路。

2. 电路模型是为了便于用数学方法分析电路，把实际电路改为由理想电路元件构成的模型。

理想电路元件(如电阻、电容、电感、电压源、电流源等)构成的电路模型和实际电路的区别为：模型是一个抽象概念，有严格的数学定义(如欧姆定律)，实际电路是具体的，但没有严格的数学定义。电路实际的元器件用以反映其电磁性质的理想电路元件或其组合来模拟，模型逼近实物的特性，但和实物不会完全重合。如图 1-1-6 所示为手电筒电路的模型。

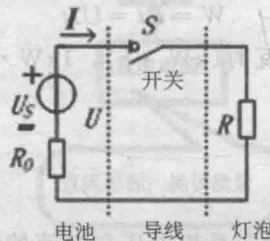


图 1-1-6 手电筒模型

3. 理想电路元件

组成电路模型的理想电路元件主要分有源元件和无源元件两种。

无源元件主要包括电阻元件、电容元件和电感元件；有源元件是指能够提供能量的元件，包括电压源和电流源两种。

(1) 电阻元件

电阻是表征电路中电能消耗的理想元件，电阻分为线性电阻(电阻值不随电压、电流的变化而发生变化)和非线性电阻(电阻值随电压、电流的变化而发生变化)，本书中的电阻无特殊说明均为线性电阻。电阻的符号如图 1-1-7 所示。实际电阻的种类很多，通常根据材料可分为碳膜电阻、金属电阻、线绕电阻等；根据阻值的变化又包含固定电阻与可变电阻、光敏电阻、压敏电阻、热敏电阻等。电阻的单位是： Ω (欧姆)。

在交流电路中：

$$R = \frac{u}{i} \quad (1.1.3)$$

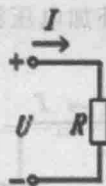


图 1-1-7 电阻元件

在直流电路中:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.1.4)$$

在交流电路中电阻的功率为:

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1.1.5)$$

在直流电路中电阻的功率为:

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1.1.6)$$

电阻的连接方式有串联、并联等。电阻的串联如图 1-1-8 所示,是指各个电阻顺序相连,每个电阻中流过相同的电流。等效电阻的值等于串联各个电阻的阻值之和。串联电阻上的电压和各电阻的阻值成正比。

两个电阻串联时的分压公式为:

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1.1.7)$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1.1.8)$$

电阻的并联如图 1-1-9 所示,是指各个电阻都连接在两个公共结点之间,每个电阻两端的电压相同。等效电阻的倒数等于并联各个电阻的阻值的倒数之和。并联电阻上的电流和各电阻的阻值成反比。

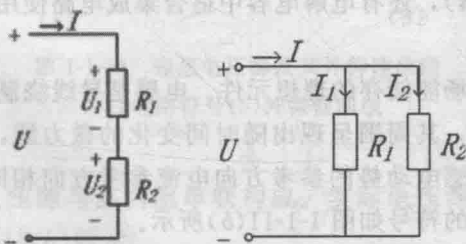


图 1-1-8 电阻串联 + 图 1-1-9 电阻并联

两个电阻并联时的分流公式为:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1.1.9)$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1.1.10)$$

(2) 电容元件

电容是表征电路中电场能储存的理想元件。电容的构成原理是两个极板之间加上一



定的介质，两个金属极板由端子引出，外加电压源在极板上产生正负电荷，两极板之间形成电场。电容的符号如图 1-1-10 所示。

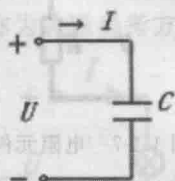


图 1-1-10 电容元件

电容的单位是 F(法拉)，由于 F 这个单位太大，所以常用的电容单位有 mF(毫法)、 μF (微法)、nF(纳法)和 pF(皮法)等，换算关系是：

$$1F(\text{法拉}) = 1000mF(\text{毫法}) = 1000000\mu F(\text{微法})$$

$$1\mu F(\text{微法}) = 1000nF(\text{纳法}) = 1000000pF(\text{皮法})$$

在电容两端加上电压 u 时，极板上聚集的电荷 q 与电压 u 的比值为 C ，即电容为：

$$C = \frac{q}{u} \quad (1.1.11)$$

电容元件上电压与电流的关系：

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1.1.12)$$

电容元件储存的电场能量：将式(1.1.12)两边同乘上 u ，并积分，则得：

$$\int_0^t ui \, dt = \int_0^u Cu \, du = \frac{1}{2}Cu^2 \Rightarrow W = \frac{1}{2}Cu^2 \quad (1.1.13)$$

电容元件本身并不消耗能量，当电压增大时电容将电能转换为电场能储存在电容中，电容元件从电源取用电能；当电压减小时，电场能减小，电容元件将电场能转换为电能，向电源放还能量。实际的电容根据介质的不同分为陶瓷、云母、纸质、薄膜、电解电容。采用双电层原理和活性炭多孔化电极制作的一种电容量可达数千法拉的极大容量的电化学电容(也称为超级电容器)，还有电解电容中适合集成电路使用的贴片钽电容等。

(3)电感元件

电感是表征电路中磁场能储存的理想元件。电感是导线绕制而成，如图 1-1-11(a)所示。导线流过交流电流时，其周围呈现出随时间变化的磁力线，变化的磁力线在线圈两端会产生感应电动势。自感电动势的参考方向电流参考方向相同，或与磁通的参考方向符合右手螺旋定则。电感的符号如图 1-1-11(b)所示。

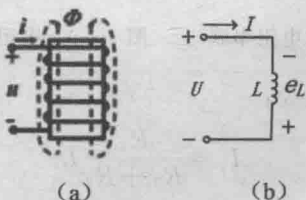


图 1-1-11 电感元件

(a)实物图(b)图形符号

电感的量值为磁链与电流之比，线性的电感 L 是正常数。电感单位有亨利(H)，毫



亨(mH)。1亨利=1000毫亨。

电感上的电压电流关系:

$$e_L = -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{d(N\Phi)}{dt} = -d\frac{(Li)}{dt} = -L\frac{di}{dt} \quad (1.1.14)$$

$$u = -e_L = L\frac{di}{dt} \quad (1.1.15)$$

电感元件储存的磁场能量,将式(1.1.15)两边同乘上 i ,并积分,则得:

$$\int_0^i ui \, dt = \int_0^i Li \, di = \frac{1}{2}Li^2 \Rightarrow W = \frac{1}{2}Li^2 \quad (1.1.16)$$

电感元件本身并不消耗能量,当电流增大时电感将电能转换为磁场能储存在电感中,电感元件从电源取用能量;当电流减小时,磁场能减小,电感元件将磁场能转换为电能,向电源放还能量。实际的电感元件有固定电感器、阻流圈、电视机永行线性线圈、行帧振荡线圈、偏转线圈、录音机上的磁头、延迟线等。随着电子产品的小型化、高性能,电感也朝着小型化、高精度、高频化方向发展,出现了片式电感、陶瓷电感等新型电感。

(4)电压源

①理想电压源

理想电压源是从实际电源抽象出来的一种模型,指输出电压 U 是由它本身确定的定值,与输出电流和外电路情况无关,而输出电流 I 不是由它本身确定的值,与输出电压和外电路情况有关。由于输出电压 U 与外电路无关,那么和电压源的并联的元件称为多余元件或虚元件,它们不影响外电路。理想电压源的符号如图1-1-12(a)所示。外特性曲线如图1-1-12(b)所示。

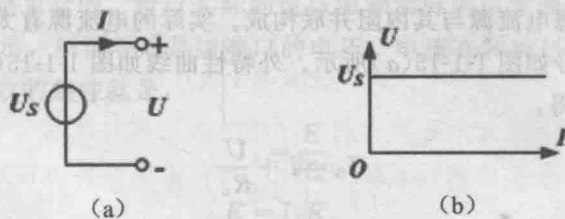


图1-1-12 理想电压源及其外特性曲线

(a)电路符号(b)外特性曲线

②实际电压源

实际电压源由理想电压源与其内阻串联构成。实际电压源的符号如图1-1-13(a)所示。外特性曲线如图1-1-13(b)所示。

根据图1-1-13可得:

$$U_s = E - R_0 I \quad (1.1.17)$$

实际的电压源包括发电机、蓄电池、干电池等。

(4)电流源

①理想电流源

理想电流源是从实际电源抽象出来的一种模型,指输出电流 I 是由它本身确定的定值,与输出电压和外电路情况无关,而输出电压 U 不是由它本身确定的值,与输出电流和外电路情况有关。由于输出电流 I 与外电路无关,那么和电流源的串联的元件称为多

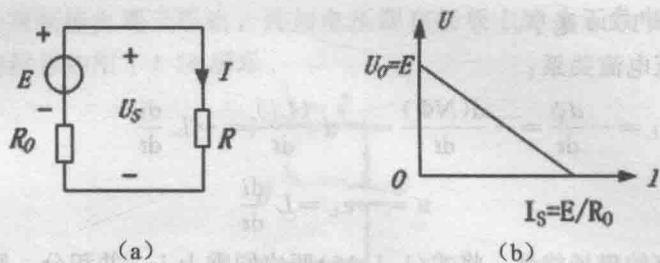


图 1-1-13 实际电压源及其外特性

(a) 电路符号 (b) 外特性曲线

余元件或虚元件，它们不影响外电路。理想电流源的符号如图 1-1-14(a) 所示。外特性曲线如图 1-1-14(b) 所示。

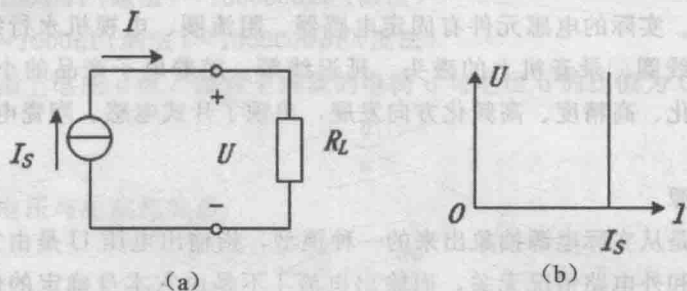


图 1-1-14 理想电流源及其外特性

(a) 电路符号 (b) 外特性曲线

② 实际电流源

实际电流源由理想电流源与其内阻并联构成。实际的电流源有太阳能电池等。

实际电流源的符号如图 1-1-15(a) 所示。外特性曲线如图 1-1-15(b) 所示。

根据图 1-1-15 可得：

$$I_s = I + \frac{U}{R_0} \quad (1.1.18)$$

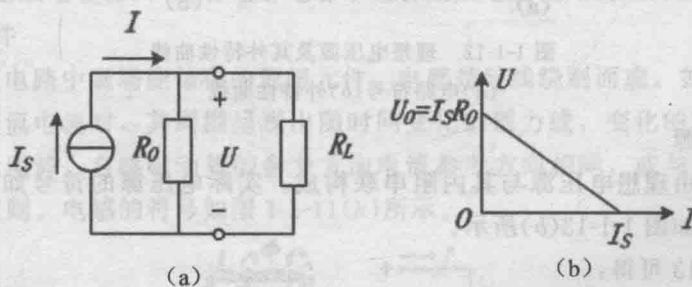


图 1-1-15 实际电流源及其外特性

(a) 电路符号 (b) 外特性曲线

【例 1-1-1】把图 1-1-16 中图 1 所示的电路改为图 2 的电路，其负载电流 I_1 和 I_2 将()。

- A. 增加 B. 不变 C. 减小

解：和电流源串联的元件为多余元件或虚元件，它们不影响外电路，因此 2V 电源对外不起作用。所以答案为(B)。

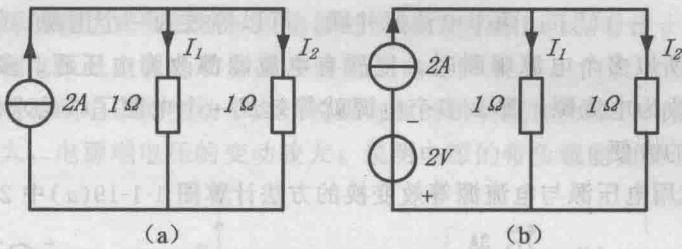


图 1-1-16 例 1-1-1 的图

(a)图 1(b)图 2

③实际两种电源的等效变换

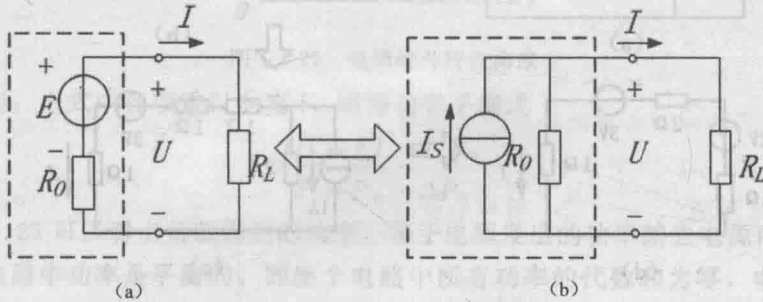


图 1-1-17 两种电源的等效变换

(a)实际电压源(b)实际电流源

通过比较实际电压源和实际电流源的外特性曲线,我们发现当 $I_s = \frac{E}{R_0}$, $E = I_s R_0$ 时,两条外特性曲线是重合的。所以实际的电压源和实际的电流源两种模型可以进行等效变换如图 1-1-17 所示,所谓等效是指端口的电压、电流在转换过程中保持不变,即对外电路是等效的。等效的条件就是:

$$I_s = \frac{E}{R_0} \quad (1.1.19)$$

$$E = I_s R_0 \quad (1.1.20)$$

等效变换时,两电源的参考方向要一一对应,即电流源的电流方向和电压源的电动势方向保持一致,如图 1-1-18 所示。

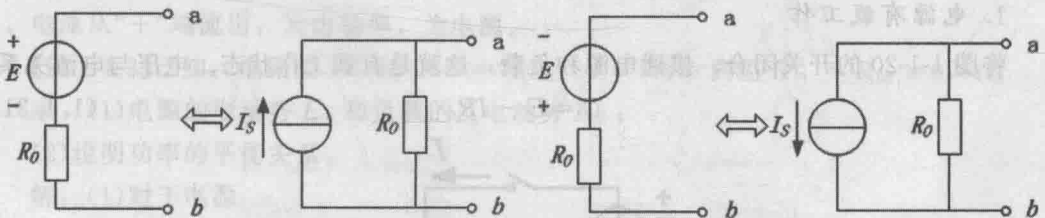


图 1-1-18 电源等效变换中电流源方向确定

等效变换时需要注意:

- (1) 电压源和电流源的等效关系只对外电路而言,对电源内部则是不等效的;
- (2) 理想电压源与理想电流源之间无等效关系。

电源等效变换是为了简化电路,因为两个电压源串联,可以等效为一个电源,等效



条件为 $U_s = U_{s1} + (-)U_{s2}$ ；两个电流源并联，可以等效为一个电源，等效条件为 $I_s = I_{s1} + (-)I_{s2}$ 。所以多个电源串联时，把所有电流源都改为电压源，多个电源并联时，把所有电压源都改为电流源，那么多个电源就等效成一个电源了，给求解电路当中的物理量带来了很大的方便。

【例 1-1-2】试用电压源与电流源等效变换的方法计算图 1-1-19(a) 中 2Ω 电阻的电流。

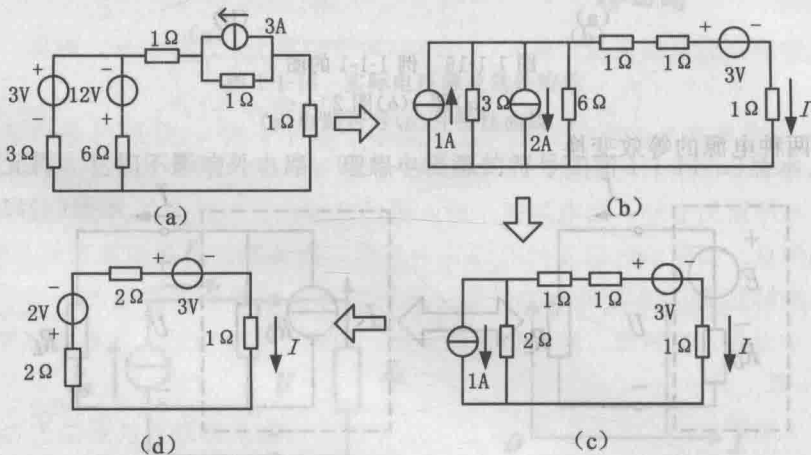


图 1-1-19 例 1-1-2 的电路图

(a)原图 (b)电压源改为电流源，电流源改为电压源
(c)两个电流源合为一个电流源 (d)电流源改为电压源

解：根据图 1-1-19(a) 可以看出图中有两个电压源并联，又串联了一个电流源，所以将两个电压源都改为电流源，将电流源改为电压源，如图 1-1-19(b) 所示。这时，有两个电流源并联，可以合并为一个电流源，图中是一个电压源和一个电流源串联，如图 1-1-19(c) 所示。可以将电流源改为电压源，变成两个电压源串联，如图 1-1-19(d) 所示。

由图 1-1-19(d) 可得：

$$I = \frac{2+3}{2+2+1} = 1 \text{ A}$$

1.1.5 电路的三种工作状态

1. 电源有载工作

将图 1-1-20 的开关闭合，接通电源和负载，这就是有载工作状态。电压与电流关系：

$$U = E - IR_0 \tag{1.1.21}$$

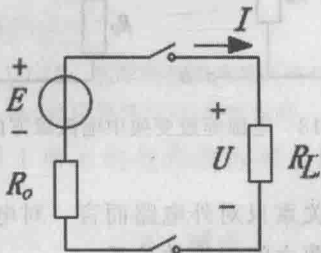


图 1-1-20 电路的有载工作状态



从电源端电压的表达式和图 1-1-21 电源的外特性曲线上可以看出, 因为有电源内阻的存在, 电源的端电压是电源电动势减去内阻上电压降 $R_0 I$, 内阻 R_0 越小, 外特性曲线的斜率越小, 电源端电压的变动不大, 说明电源的带负载能力强; 内阻 R_0 越大, 外特性曲线的斜率越大, 电源端电压的变动较大, 说明电源的带负载能力弱。

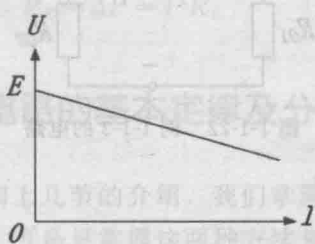


图 1-1-21 电源的外特性曲线

功率平衡: 上式中各项乘以电流 I , 则得功率平衡式

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1.1.22)$$

$$P = P_E - \Delta P_0 \quad (1.1.23)$$

由式 1.1.25 可以看出负载得到的功率, 等于电源发出的功率减去电源内阻上损耗的功率, 整个电路中功率是平衡的, 即整个电路中所有功率的代数和为零, 电源发出的功率和负载消耗的功率是相等的。

电源与负载的判别:

(1) 根据电压、电流参考方向判断:

在直流电路中, 若电路元件上 U 、 I 的参考方向相同时, 则电路元件的功率为:

$$P = +UI \quad (1.1.24)$$

若电路元件上 U 、 I 的参考方向相反时, 则电路元件的功率为:

$$P = -UI \quad (1.1.25)$$

在上述两种情况下, 如果计算出的功率为正值, 则表示该元件消耗功率, 在电路中的作用为负载, 如果计算出的功率为负值, 则表示该元件输出功率, 在电路中的作用为电源。

(2) 根据电压、电流实际方向判断:

U 和 I 实际方向相同, 电流从“+”端流入, 取用功率, 为负载; U 和 I 实际方向相反, 电流从“+”端流出, 发出功率, 为电源。

【例 1-1-3】已知: 电路图 1-1-22 中 $U = 220\text{V}$, $I = 5\text{A}$, 内阻 $R_{01} = R_{02} = 0.6\Omega$ 。

求: (1) 电源的电动势 E_1 和负载的反电动势 E_2 ;

(2) 说明功率的平衡关系。

解: (1) 对于电源

$$U = E_1 - \Delta U_{01} = E_1 - IR_{01}$$

$$\text{即 } E_1 = U + IR_{01} = 220 + 5 \times 0.6 = 223\text{V}$$

$$U = E_2 + \Delta U_{02} = E_2 + IR_{02} \Rightarrow E_2 = U - IR_{02} = 220 - 5 \times 0.6 = 217\text{V}$$

(3) 由上面可得:

$$E_1 = E_2 + IR_{01} + IR_{02}$$

等号两边同时乘以 I , 则得: