



高等职业技术教育机电类专业规划教材

电工技术

常晓玲 主编

赠电子教案和模拟试卷等



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等职业技术教育机电类专业规划教材

电 工 技 术

主 编 常晓玲

副主编 颜学定 蔡健沁

参 编 谭望平 梁惠诚

刘 鲁 王芳楷

主 审 宋书中



机 械 工 业 出 版 社

本书突出电工技术的新发展,在清晰表达电工技术中电路、磁路、变压器、电机及其控制的完整理论体系的同时,注意理论联系实际,利用大量图片,直观地描述了电力生产过程和各种电气元器件的应用,并介绍了变频器、交流伺服系统和光电检测装置等新型电机控制产品的综合应用。

本书主要内容分10章:电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、电路的过渡过程、磁路与变压器、异步电动机、直流电动机、控制电机和电动机的继电-接触器控制;附录分为三部分:电工仪表的分类、万用表的使用和电工实验指导书。各章均有本章小结、例题、思考题与习题和参考答案,有利于学生巩固概念,掌握方法。

本书可作为高职高专机电类专业和其他非电类专业的电工技术教材,也可作为职业大学、中等专业学校的电工技术教材,还可以供机电行业的工程技术人员用作参考书或培训教材。

为了便于教师教学,本书配有免费电子教案和模拟试卷等,凡选用本书作为教材的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/常晓玲主编. —北京:机械工业出版社,
2008.3

高等职业技术教育机电类专业规划教材
ISBN 978-7-111-23258-2

I. 电… II. 常… III. 电工技术—高等学校:技术学校—
教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 008197 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王玉鑫 责任编辑:王宗锋 版式设计:霍永明

责任校对:张玉琴 封面设计:鞠 杨 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 16.5 印张 · 406 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-23258-2

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379758

封面无防伪标均为盗版

前 言

电工技术是机电类专业重要的专业基础课程。近年来随着现代制造技术、计算机技术和自动控制技术的迅速发展,电工技术中信息控制的含量越来越大,为了适应新技术发展对高职高专机电类专业电工技术课程的教学需要,本着高职高专理论以够用为度,内容为应用服务的原则编写本书。本书选材广泛,深度适宜,基础知识层次清楚,技术应用注重图片和实例,在保持电工技术从电路、磁路、电机到电气控制的完整理论体系的前提下,增加了更多现代电气元器件和电动机控制的新技术内容,更新了电路、电动机的控制实例,简明扼要地介绍了编码器、变频器、交流伺服电动机产品的技术应用,力图符合现代技术发展方向,以加强与机电类后续专业课程的衔接。

全书共分10章,第一章介绍电路的基本概念与基本定律;第二章至第五章讲述电路的基本理论,包括电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路和电路的过渡过程,在正弦交流电路内容中增加了电力生产过程和交流供电配电的直观描述,对RC电路的过渡过程给出更适合现代电力电子产品的应用举例;第六章从电路内容过渡到磁路与变压器,为学习电机理论奠定基础;第七章至第九章讲述异步电动机、直流电动机及各种控制电机的基本理论,突出了编码器、变频器、交流伺服电动机产品的综合技术应用;第十章介绍电动机的电气控制电路。附录包括电工仪表的分类、万用表的应用和电工实验指导书。各章均有小结,并有足够数量的例题、思考题与习题和参考答案,有利于学生加强训练,巩固概念,掌握解题技巧。

本书由广东轻工职业技术学院常晓玲教授任主编,颜学定、蔡健沁任副主编。参加编写的人员有蔡健沁(第一章、第二章、第三章第一节和第二节、第六章第二节),颜学定(第三章第三节~第七节、第五章),梁惠诚(第四章),王芳楷(第六章第一节和第三节、第十章),刘鲁(第七章、第八章),常晓玲(第九章),谭望平(附录)。

全书由河南科技大学宋书中教授主审,审阅中提出了许多宝贵意见,特此致谢。在本书的编写过程中还参阅了很多同类教材和著作,在此向其编、著者致谢。

由于编者水平有限,书中的错误和不妥之处恳请使用本书的广大师生与读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 电路的基本概念与基本定律 1

第一节 电路与电路模型 1

第二节 电路的主要物理量 2

第三节 电路的三种状态 7

第四节 电压源和电流源及其等效
变换 9

第五节 基尔霍夫定律 11

本章小结 15

思考题与习题 15

第二章 电路的分析方法 19

第一节 支路电流法 19

第二节 叠加定理 21

第三节 等效电源定理 23

本章小结 27

思考题与习题 27

第三章 正弦交流电路 30

第一节 正弦交流电的基本概念 30

第二节 正弦量的相量表示法 36

第三节 单一参数电路元件的交流
电路 39

第四节 正弦交流电路的一般分析
方法 46

第五节 电阻、电感、电容串联电路 50

第六节 电路的谐振 55

第七节 功率因数的提高 61

本章小结 64

思考题与习题 65

第四章 三相交流电路 69

第一节 三相交流电源 69

第二节 三相负载的星形联结 72

第三节 三相负载的三角形联结 75

第四节 三相电路的功率 76

第五节 导线截面积的选择 78

第六节 交流变电和配电 81

第七节 照明电路与安全用电 83

本章小结 86

思考题与习题 88

第五章 电路的过渡过程 90

第一节 过渡过程的产生和换路定律 90

第二节 RC 电路过渡过程及三要素法 95

第三节 RL 电路的过渡过程 103

第四节 过渡过程的利用 110

本章小结 114

思考题与习题 115

第六章 磁路与变压器 119

第一节 磁路的基本知识 119

第二节 交流铁心线圈与电磁铁 125

第三节 变压器 128

本章小结 136

思考题与习题 136

第七章 异步电动机 138

第一节 三相异步电动机的结构和
工作原理 138

第二节 三相异步电动机的电磁转矩与
机械特性 145

第三节 三相异步电动机的起动 150

第四节 三相异步电动机的调速 154

第五节 三相异步电动机的制动 156

第六节 三相异步电动机的选择 157

第七节 单相异步电动机 158

本章小结 161

思考题与习题 162

第八章 直流电动机 165

第一节 直流电动机的结构与工作
原理 165

第二节 直流电动机的机械特性 170

第三节 他励直流电动机的起动、



制动和调速	172	控制	222
本章小结	177	第三节 笼型异步电动机的正反转	
思考题与习题	178	控制	223
第九章 控制电机	180	第四节 限位控制	225
第一节 控制电机概述	180	第五节 时间控制	226
第二节 步进电动机	182	第六节 速度控制	227
第三节 伺服电动机	190	第七节 触头的联锁	228
第四节 永磁同步电动机与交流伺服		第八节 电气原理图的阅读	230
系统	196	本章小结	234
第五节 测速发电机与光电编码器	202	思考题与习题	235
本章小结	208	附录	237
思考题与习题	208	附录 A 电工仪表的分类	237
第十章 电动机的继电-接触器控制 ...	210	附录 B 万用表的使用	238
第一节 几种常用低压电器	210	附录 C 电工实验指导书	241
第二节 笼型异步电动机的直接起动		参考文献	257

第一章 电路的基本概念与基本定律

第一节 电路与电路模型

一、电路

电路是人们在生产、生活中为了实现某种需求，把各种电气元器件按一定的方式连接起来，所构成的电流流通路径。

电路由三部分组成：电源、负载和中间环节，如图 1-1 所示。图中电路以干电池为电源，电灯为负载，开关、导线为中间环节。

电源：电源是把其他形式能量转换成电能的装置，如蓄电池、各种发电机等。

负载：所有的用电设备都可以被称为负载，它将电能转换成其他形式的能量，如电灯、电风扇和电动机等。

中间环节：是指连接电源和负载的部分，如输电线、开关等。

电路的主要作用有两个方面：第一方面是实现能量的转换、传输和分配，最典型的例子是电力系统，庞大的电网从发电、输电、变电到配电，将电能送到不同用户所在地；第二方面是实现信号的传递和处理，输入的信号叫激励(或信号源)，输出的信号叫响应，如电视机能通过有线或无线的方式接收电视信号，然后进行转换处理并输出图像和声音。

二、电路模型

1. 实际电路

实际电路有的较简单，有的相当复杂，影响电路的内外界因素很多。对实际电路进行分析时，常采用模型化的方法，即首先建立实际电路的理想化电路模型，然后对此电路模型进行定量分析，从而得到与实际电路对应的结论。

2. 电路模型

在电路的分析计算时，通常要用一个假定的二端元件(如电阻元件)来代替实际元件(如电灯)，这个二端元件的电磁性质可以反映实际元件的电磁性质，这个假定的二端元件称为理想电路元件。

理想电路元件简称电路元件，常用的电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。电阻元件、电感元件和电容元件均不产生能量，称为无源元件；理想电压源和理想电流源是电路中提供能量的元件，称为有源元件。

由理想电路元件组成的电路称为理想电路模型，简称电路模型。将实际电路中的各种元件设备按其主要物理性质分别用一些理想电路元件来表示，构成的电路图就是电路模型。例如，图 1-2 就是图 1-1 所示实际电路的电路模型，图中 E 、 R_0 分别为电源电动势和内阻， R_L 为负载电阻。

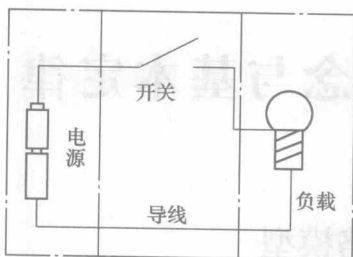


图 1-1 电路的组成

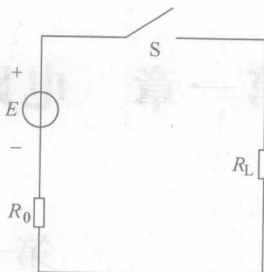


图 1-2 电路模型

第二节 电路的主要物理量

一、电流

1. 电流的定义

在电场的作用下，电荷有规则的定向移动就形成电流。当电荷做规则的定向运动时，我们虽然看不见，但可以感觉到电流的存在。例如：电灯的亮灭，电动机的启动和停止。

2. 电流的大小

电流的大小以单位时间内通过导体横截面的电荷量来衡量，用 i 表示。

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

如果电流不随时间变化，即 $dq/dt = \text{常数}$ ，则这种电流称为恒定电流，简称直流(DC)。当电压、电流不随时间变化时，可用大写字母如 U 、 I 表示，一般称作直流电压、直流电流。电流的单位有安培(A)、千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA)，它们的换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

3. 电流的方向

电流不仅有大小而且有方向，我们规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。在简单电路中，电流的实际方向容易判断，但在复杂电路中，往往很难判断某支路中电流的实际方向。为此，在进行电路分析与计算前，需要假定某一方向作为电流的正方向，称为参考方向，并用箭头表示。需要注意的是所选的电流参考方向是任意设定的，与电流的实际方向无关。当选定了电流的参考方向后便可以进行分析计算，当电流实际方向与参考方向一致时，计算出来的电流值为正；如果两者相反，则电流值为负。如图 1-3 所示。

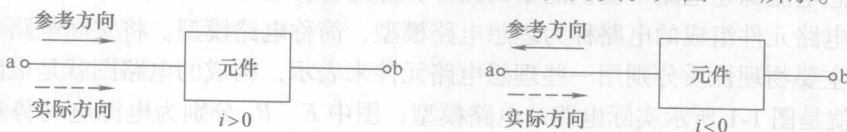


图 1-3 电流的实际方向与参考方向

二、电压

1. 电压的定义

电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功定义为 a、b 两点间的电压，用 u_{ab} (U_{ab}) 表示。

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

2. 电压的方向

电压是指两点之间而言，所以可以用双下标表示，例如 u_{ab} 前一个下标 a 代表起点，后一个下标 b 代表终点。电压的方向则是由起点指向终点，也可用正负号表示或以箭头标明。如图 1-4 所示。

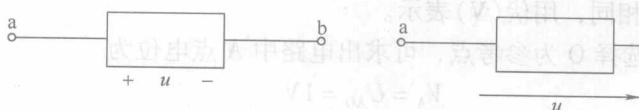


图 1-4 电压的方向

3. 电压的单位

在国际单位制中，规定电场力把 1C 的正电荷从电场内一点移动到另一点所做的功为 1J 时，该两点间的电压为 1V。就是说，电场力将 1C 的正电荷从电场内一点移动到另一点做多少焦耳的功，则这两点间的电压就为多少伏。电压的单位有伏(V)、毫伏(mV)、微伏(μV)和千伏(kV)，它们的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

$$1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

4. 电压、电流的关联参考方向

关联参考方向是指对某个具体元件的电压参考极性和电流的参考方向取为一致的情况，在分析电路和电功率的计算中很有意义。如图 1-5 所示。

若电压与电流参考方向不一致，则称为非关联参考方向。如图 1-6 所示。

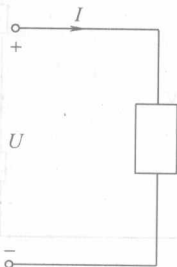


图 1-5 电压、电流的关联参考方向

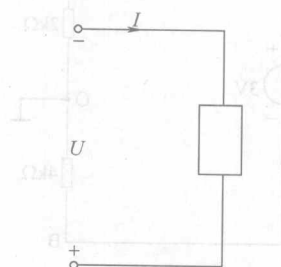


图 1-6 电压、电流的非关联参考方向

采用关联参考方向时，两个参考方向中只需标出任一个即可。注意：虽然电压、电流的参考方向可以任意假定，互不相关，但为了分析电路的方便，常常采用关联参考方向。例如，我们熟知的欧姆定律表达式为

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR$$

这是以 U 、 I 为关联参考方向为前提得到的结论。

如果 U 、 I 为非关联参考方向，则欧姆定律的表达式会变为

$$I = -\frac{U}{R} \text{ 或 } U = -IR$$

三、电位

1. 电位的定义

在电路中选定一个参考点(注意每次计算只能选一个相对的参考点)，取参考点的电位为零电位，则电路中某一点与参考点之间的电压就被称为这一点的电位。

电位的单位与电压相同，用伏(V)表示。

如图 1-7 电路中，选择 O 为参考点，可求出电路中 A 点电位为

$$V_A = U_{AO} = 1V$$

B 点电位为

$$V_B = U_{BO} = -2V$$

2. 关于电位与电压关系的结论

1) 如果已知 A、B 两点的电位分别为 V_A 、 V_B ，则此两点间的电压等于它们的电位之差。可证明如下

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B$$

图 1-7 中，电压 $U_{AB} = V_A - V_B = 1V - (-2V) = 3V$ 。

2) 电路中某一点的电位随参考点(零电位点)选择的不同而不同。但两点间的电压(电位差)不变。

在图 1-7 电路中，如选择 A 为参考点，如图 1-8 所示，则 A 点、B 点电位分别变为

$$V_A = 0V$$

$$V_B = U_{BA} = -3V$$

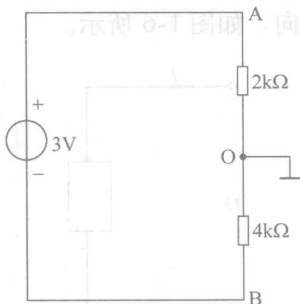


图 1-7 以 O 为参考点的电路

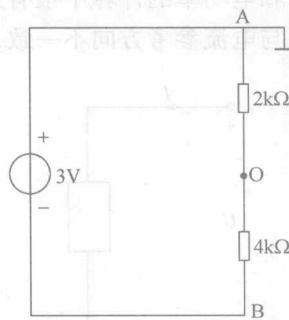


图 1-8 以 A 为参考点的电路

$U_{AB} = V_A - V_B = 0V - (-3V) = 3V$ ，即 U_{AB} 仍然为 $3V$ 。

3. 电位概念在电子线路中的应用

利用电位的概念，可以简化电子线路的作图。在一个直流电路中，习惯于选择直流电源的一端为参考点，这样电源另一端的电位就是一个确定值，作图时可以不画电源，只在简化

电路中标出参考点和已经确定的电位值即可。图 1-9 给出了两个电子电路及其习惯画法。

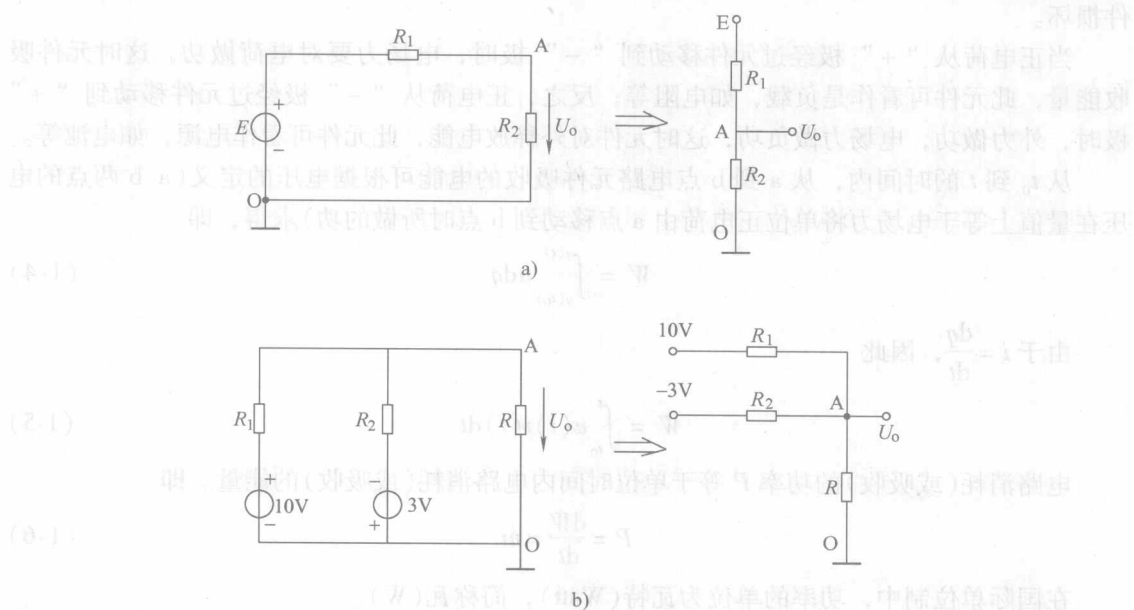


图 1-9 电子电路及其习惯画法

四、电动势

电动势是衡量外力即非电场力做功能力的物理量，电动势越大，电源的能力越强。外力克服电场力把单位正电荷从电源的负极(b点)搬运到正极(a点)所做的功，称为a与b两点间的电动势，用 $e(E)$ 表示，即

$$e = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

得到电动势的方法多种多样，例如在发电机中，通过外力(由原动机如内燃机、水轮机、气轮机提供)推动发电机转子切割磁力线产生电动势；在电池中，由电极与电解液接触处的化学反应而产生电动势。外力克服电场力做功，就把非电能转化为电荷的电能，电荷在电源中得到能量，再通过电路提供给负载。

在电源内部，电动势的实际方向是正电荷所受外力的方向，因此是从低电位指向高电位。而电压的实际方向是正电荷所受电场力的方向，所以是从高电位指向低电位，就是说，在电源内部，电动势与电压方向相反。电动势的单位与电压相同，也用伏(V)表示。

电源电动势与电压的方向如图 1-10 所示。

五、电能和电功率

在电路的分析和计算中，电能和电功率的计算是十分重要的。原因有两个：一方面，电路在工作时总伴随着各种形式能量的相互转换；另一方面，用电设备和线路连接件本身都有功率的限制，在使用时要注

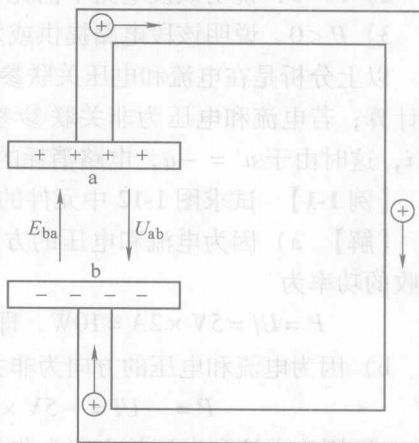


图 1-10 电动势与电压的方向

意其电流值或电压值是否超过额定值, 发生过载会使电路不能正常工作, 甚至造成设备或部件损坏。

当正电荷从“+”极经过元件移动到“-”极时, 电场力要对电荷做功, 这时元件吸收能量, 此元件可看作是负载, 如电阻等; 反之, 正电荷从“-”极经过元件移动到“+”极时, 外力做功, 电场力做负功, 这时元件对外释放电能, 此元件可看作电源, 如电池等。

从 t_0 到 t 的时间内, 从 a 到 b 点电路元件吸收的电功可根据电压的定义(a 、 b 两点的电压在量值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功)求得, 即

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq \quad (1-4)$$

由于 $i = \frac{dq}{dt}$, 因此

$$W = \int_{t_0}^t u(t) i(t) dt \quad (1-5)$$

电路消耗(或吸收)的功率 P 等于单位时间内电路消耗(或吸收)的能量。即

$$P = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-6)$$

在国际单位制中, 功率的单位为瓦特(Watt), 简称瓦(W)。

对直流电路, 电流、电压均为恒定值, 在时间 $0 \sim t$ 内电路消耗的电功以及电路的功率为

$$W = UQ = Ut \quad (1-7)$$

$$P = UI \quad (1-8)$$

对电阻负载, 功率的计算公式变为

$$W = Ut = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-9)$$

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (1-10)$$

在关联参考方向下, 电路中的功率有以下几种情况:

1) $P > 0$, 说明该段电路消耗或吸收功率为 P 。

2) $P = 0$, 说明该段电路不消耗功率。

3) $P < 0$, 说明该段电路提供或发出功率为 P 。

以上分析是在电流和电压关联参考方向前提下消耗或吸收的功率计算; 若电流和电压为非关联参考方向, 如图 1-11 中所示的 u' 和 i , 这时由于 $u' = -u$, 电路消耗的功率为 $P = ui = -u'i$ 。

【例 1-1】试求图 1-12 中元件的功率。

【解】 a) 因为电流和电压的方向为关联参考方向, 所以元件吸收的功率为

$$P = UI = 5V \times 2A = 10W, \text{ 即元件消耗功率 } 10W。$$

b) 因为电流和电压的方向为非关联参考方向, 所以元件吸收的功率为

$$P = -UI = -5V \times 2A = -10W, \text{ 即元件发出功率 } 10W。$$

c) 因为电流和电压的方向为非关联参考方向, 所以元件吸收的功率为

$$P = -UI = -(-2V) \times 2A = 4W, \text{ 即元件消耗功率 } 4W。$$

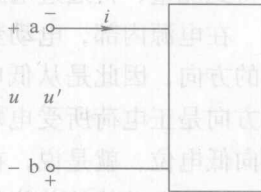


图 1-11 关联或非关联参考方向的功率计算

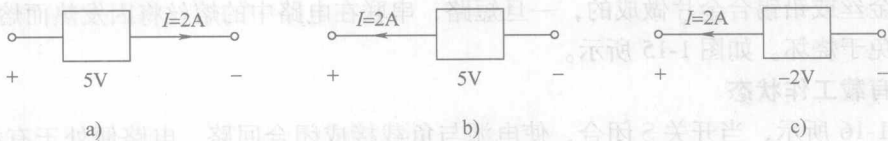


图 1-12 例 1-1 的电路

第三节 电路的三种状态

电路在工作时有三种状态，分别是空载(断路)状态、短路状态和有载(通路)工作状态。

一、空载状态

空载状态，就是电源与负载没有构成闭合回路。在图 1-13 所示电路中，当开关 S 断开时，电路即处于空载(断路)状态。在实际电路中，负载可能是由多种电气元件构成的串并联电路，图中 R_L 表示全部负载的等效负载电阻。

图 1-13 所示电路中，当开关 S 断开时，电路即处于空载(断路)状态。图 1-13 所示电路中，当开关 S 断开时，电路即处于空载(断路)状态。

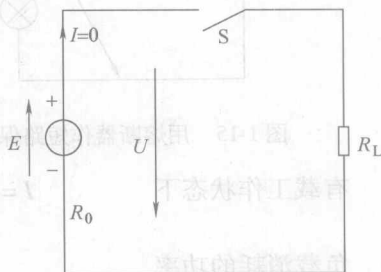


图 1-13 电路的空载状态

断路状态的特征： $R_L = \infty$ ， $I = 0$

电源内阻消耗功率： $I^2 R_0 = 0$

负载消耗功率： $P_L = I^2 R_L = 0$

电源端电压： $U = E$

电源吸收功率：非关联参考方向，电源的吸收功率为 $-UI = 0$ 。

在电路计算中，对电源通常直接计算发出功率：

$$P_E = UI = EI \quad (1-11)$$

二、短路状态

所谓短路，就是电源未经负载而直接连通成闭合回路的情况，如图 1-14 所示。图中折线是指明短路位置的符号。

短路的特征： $R_L = 0$ ， $U = 0$

负载消耗功率 $P_L = I_s^2 R_L = 0$ ， $I_s = \frac{E}{R_0}$ 为短路电流

电源内阻消耗功率： $I_s^2 R_0 = \frac{E^2}{R_0}$

电源发出功率： $P_E = EI_s = \frac{E^2}{R_0}$

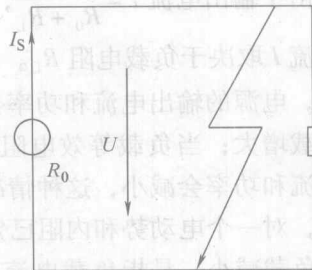


图 1-14 电路的短路状态

因为电源内阻 R_0 一般都很小，所以短路电流 I_s 很大，电源内阻消耗的功率也很大，这时电源发出功率全部消耗在内阻上，如果电源短路事故不能迅速排除，将会烧毁电源、导线及电气设备，所以，电源短路是一种严重事故，应严加防止。

为了防止发生短路事故，常在电路中串接熔断器。熔断器中装有熔丝，熔丝是由低熔点

的铅锡合金丝或铅锡合金片做成的，一旦短路，串联在电路中的熔丝将因发热而熔断，从而保护电源免于烧坏。如图 1-15 所示。

三、有载工作状态

如图 1-16 所示，当开关 S 闭合，使电源与负载接成闭合回路，电路便处于有载(通路)工作状态。

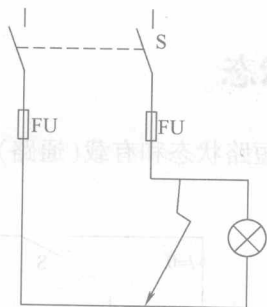


图 1-15 用熔断器作短路保护

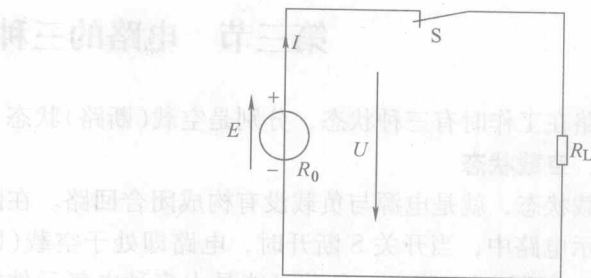


图 1-16 电路的有载工作状态

有载工作状态下

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}, \quad U = IR_L = \frac{E}{R_0 + R_L} R_L$$

负载消耗的功率

$$P_L = UI = \frac{E^2}{(R_0 + R_L)^2} R_L$$

电源内阻消耗功率

$$I^2 R_0 = \frac{E^2}{(R_0 + R_L)^2} R_0$$

电源发出功率

$$P_E = EI = \frac{E^2}{(R_0 + R_L)}$$

显然，电源发出的功率等于负载和电源内阻消耗的功率之和，符合能量守恒定律。

有载工作状态下，电源的端电压 U 随输出电流 I 的变化关系 $U = f(I)$ 称为电源的外特性，外特性方程为

$$U = E - IR_0 \quad (1-12)$$

外特性曲线如图 1-17 所示，电压随电流直线下降，斜率与内阻有关。

由于输出电流 $I = \frac{E}{R_0 + R_L}$ ，电源电动势 E 和内阻 R_0 通常为比较固定的数值，故电源输出

电流 I 取决于负载电阻 R_L 。电路中负载的使用情况是经常变化的，当负载等效电阻 R_L 减小时，电源的输出电流和功率会增大，这时称为电路的负载增大；当负载等效电阻 R_L 增大时，电源的输出电流和功率会减小，这种情况称为负载减小。由此可见，对一个电动势和内阻已定的电源来说，负载增大或负载减小，是指负载电流和功率的增大或减小，而不是指电阻值的增大或减小。

显然，曲线右端电流很大为短路状态，曲线左端无输出电流为开路状态，在开路和短路之间为通路状态。

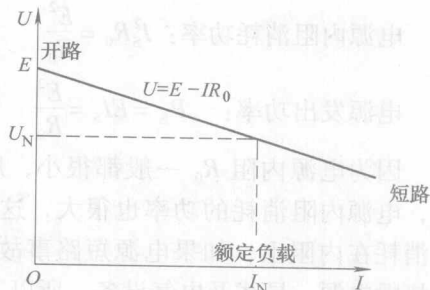


图 1-17 电源的外特性曲线



为了使电器设备能安全可靠运行,引入电器设备额定值的概念,额定值就是电器设备在电路的正常运行状态下,所能承受的最大电压、最大电流以及允许功率,额定电压、额定电流、额定功率分别用 U_N 、 I_N 、 P_N 来表示。当一个灯泡上标明“220V、40W”,这说明这个灯泡的额定电压为 220V,在此额定电压下消耗的功率为 40W。

根据负载大小,电路在通路时有三种工作状态:当电气设备的实际电流等于额定电流时称为满载工作状态;小于额定电流时称为轻载工作状态;大于额定电流时称为过载工作状态。电器设备运行时的电流、电压和功率一般均不允许超过额定值,满载工作状态为最佳运行状态。

第四节 电压源和电流源及其等效变换

电源是电路中提供能量的元件,电压源和电流源是实际电源的两种电路模型。

一、电压源

将实际电源用一个电动势 E 串联一个电阻 R_0 来表示,被称为电压源,如图 1-18a 所示。电压源的外特性如式(1-12)所述,为

$$U = E - IR_0$$

电压源的外特性曲线在图 1-17 中已经作出,电压源的主要特征是:开路电压等于电动势,输出端电压随着电流的增大而降低,内阻越大,输出电压下降越快。在 $R_0 = 0$ 的理想情况下,电压源的外特性曲线平行于横轴。

$R_0 = 0$ 的理想情况是不存在的,实际电源都会有内阻,但如果电源内阻 R_0 远小于负载等效电阻 R_L ,在电路运算中,通常近似认为 $R_0 = 0$,于是电压源的外特性变为

$$U = E$$

这时的电压源被称为恒压源或理想电压源,如图 1-18b 所示。电压源和理想电压源的伏安特性曲线如图 1-19 所示,图中的 I_s 为电压源的短路电流。

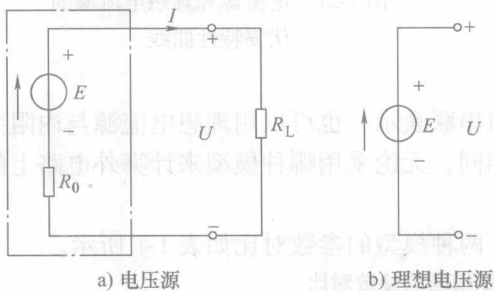


图 1-18 电压源和理想电压源

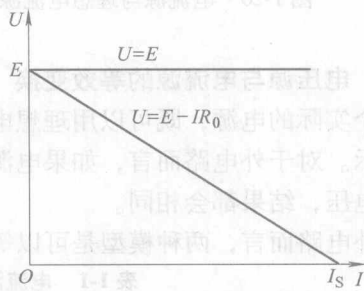


图 1-19 电压源和理想电压源的伏安特性曲线

二、电流源

将电压源的的外特性由电压方程 $U = E - IR_0$ 变形为电流方程

$$I = \frac{E}{R_0} - \frac{U}{R_0} = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-13)$$

可以发现, 电源的输出电流等于一个恒定电流 $\frac{E}{R_0}$ 与一个可变电流 $\frac{U}{R_0}$ 的差, 恒定电流部分等于电源的短路电流 I_s , 可变电流部分可想象成输出电压在内阻上引起的电流。将实际电源用一个恒定电流 I_s 并联一个电阻 R_0 来表示, 被称为电流源。电流源与负载的连接如图 1-20a 所示。

由电流源的外特性方程 $I = I_s - \frac{U}{R_0}$ 可知, 电流源的输出电流是小于 I_s 的。电流源的内阻越大, 分流越小, 输出的电流就越大, 在 $R_0 = \infty$ 的理想情况下, 电流源的外特性平行于纵轴。

$R_0 = \infty$ 的理想情况也是不存在的, 实际电源都会有一定内阻, 但如果电源内阻 R_0 远大于负载等效电阻 R_L , 在电路运算中, 通常近似认为 $R_0 = \infty$ (开路), 于是电流源的外特性变为

$$I = I_s$$

这时的电流源被称为恒流源或理想电流源, 如图 1-20b 所示。电流源和理想电流源的伏安特性曲线如图 1-21 所示。图中的 $I_s R_0$ 为电流源的开路电压。

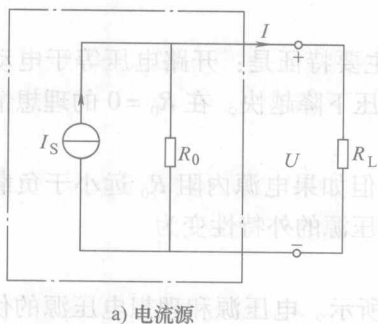


图 1-20 电流源与理想电流源

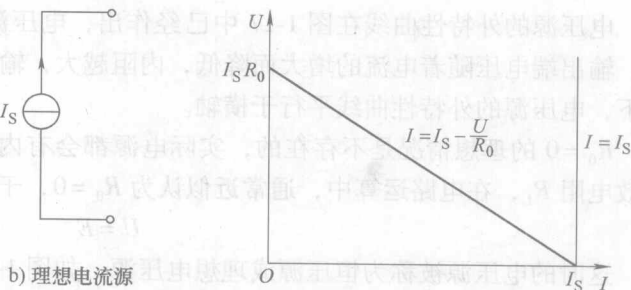


图 1-21 电流源和理想电流源的伏安特性曲线

三、电压源与电流源的等效变换

一个实际的电源, 既可以用理想电压源与内阻串联表示, 也可以用理想电流源与内阻并联来表示。对于外电路而言, 如果电源的外特性相同, 无论采用哪种模型来计算外电路上的电流、电压, 结果都会相同。

对外电路而言, 两种模型是可以等效变换的。两种模型的参数对比如表 1-1 所示。

表 1-1 电流源模型与电压源模型的参数对比

电压源模型	电流源模型
$U = E - IR_0$	$U = (I_s - I) R_0$
$I = \frac{E - U}{R_0}$	$I = I_s - \frac{U}{R_0}$

由表可知, 等效变换条件为: R_0 内阻不变, 电流源变电压源时, $E = I_s R_0$; 电压源变电流源时 $I_s = \frac{E}{R_0}$ 。

利用电流源和电压源的等效变换,可以很方便地化简和求解电路。进行等效变换,需要注意如下几个问题:

1) 将电压源变换为电流源时,电流源中 I_s 的大小等于原电压源的短路电流 $\frac{E}{R_0}$,方向与原电压源的电动势方向相同(低电位指向高电位),电路形式由串联改并联,内阻大小不变。

2) 将电流源变换为电压源时,电压源中 E 的大小等于原电流源的开路电压 $I_s R_0$,电动势方向与原电流源中 I_s 方向相同,电路形式由并联改串联,内阻大小不变。

3) 电压源与电流源的等效变换只能对外电路等效,对内电路则不等效。例如,当电流源开路时,其内阻上有电流流过,内阻两端有电压,内阻上还有功率损耗,而当电压源开路时,其内阻上没有电流流过,内阻两端也没有电压,内阻上更没有功率损耗,故等效变换对电源内电阻上的电流、电压及功率计算都不等效。同样,电压源中的电动势 E (恒压源)和电流源中的 I_s (恒流源)也没有电流、电压及功率的对应关系。

4) 理想电压源与理想电流源之间不能进行等效变换。

【例 1-2】如图 1-22 所示,已知两个电压源, $E_1 = 24\text{V}$, $R_{01} = 5\Omega$, $E_2 = 30\text{V}$, $R_{02} = 6\Omega$,将它们同极性相并联,试求其等效电压源的电动势和内电阻 R_0 。

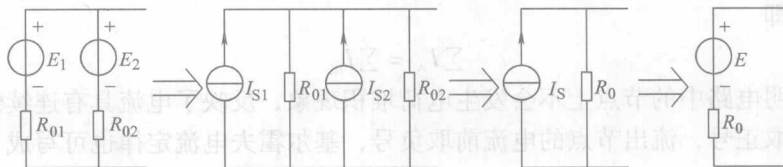


图 1-22 例 1-2 电路图

【解】第一步,将两个电压源分别等效变换为电流源

$$I_{s1} = \frac{E_1}{R_{01}} = \frac{24\text{V}}{5\Omega} = 4.8\text{A}$$

$$I_{s2} = \frac{E_2}{R_{02}} = \frac{30\text{V}}{6\Omega} = 5\text{A}$$

第二步,将两个电流源合并为一个等效电流源

$$I_s = I_{s1} + I_{s2} = 4.8\text{A} + 5\text{A} = 9.8\text{A}$$

$$R_0 = \frac{R_{01} R_{02}}{R_{01} + R_{02}} = 2.73\Omega$$

第三步,将电流源变成电压源

$$E = I_s R_0 = 9.8\text{A} \times 2.73\Omega = 26.75\text{V}$$

$$R_0 = 2.73\Omega$$

第五节 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包含基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律,是分析电路的最基本的定律,反映了元件相互连接成为电路之后的电压、电流客观规律。在介绍基尔霍夫定律之前,