



21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

电路与磁路

王敬谔 牛均莲 合 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

TM1
147

电路与磁路

王敬镨 牛均莲 合 编
黄益华 主 审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是 21 世纪高等学校规划教材。

全书知识结构精练简略,涵盖了电路与磁路的传统教学内容的主干部分,主要包括电路的基本概念和基本定律,直流电阻电路的分析,正弦交流电路、三相正弦交流电路,非正弦周期性电流电路、线性电路的过渡过程,磁路与铁芯线圈。

本书可作为普通高等院校相关专业的教材,还可作为考取电工类各工种职业资格证书的培训教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路与磁路/王敬镛,牛均莲合编. —北京:中国电力出版社, 2006

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 7-5083-4462-6

I. 电... II. ①王... ②牛... III. ①电路理论—高等学校—教材②磁路—高等学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 062810 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 7 月第一版 2006 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.25 印张 206 千字

印数 0001—3000 册 定价 13.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

本书是根据教育部高教司新近制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》的指导,结合学校(重庆电力高等专科学校)制定的电气、电子类《专业人才培养计划》及电气、电子类专业《电路与磁路课程教学大纲》编写的,供高等职业院校电气、电子和通信类各专业教学使用,参考学时为 70~80 学时(不含实践性教学环节)。

本书作为面向 21 世纪的基础课程教材,遵循“以应用为目的,以必需够用为度”的原则,不仅要注重素质教育,注重应用型人才“必需”能力的培养,而且要为后续课程提供“够用”的基础知识。因此,在教材编写中力求对内容删繁就简、削枝强干、突出主线,避免繁琐的数学分析,强化物理概念的阐释。在广泛听取了讲授后续课程的资深同行对本教材的编写指导思想、编写内容取舍及篇章结构的有益建议的基础上,结合编者的教学经验,删去了一些较为次要的非本源性的细枝末节,保留了传统教学内容中的主干部分。通过教学,使学生能够掌握电路的基本概念、基本定律和基本分析计算方法;掌握磁路的基本概念,会分析简单的磁路。这样以精练、简略为特色的知识结构更适应高等职业教育的特点,更具有专业的针对性。

书中还编入一些必要的典型例题、习题和思考题,以便通过练习,掌握课程的基本内容,提高分析问题和解决问题的能力。

本书的第 1、2、6 章由牛均莲编写,其余各章由王敬镛编写,全书由王敬镛统稿,本书所有插图由周新绘制。全书由黄益华副教授担任主审,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,得到了不少同行的大力支持和帮助,借鉴了许多现有的同类教材。在此,谨向这些同行及这些教材的作者诚挚地表示感谢。

由于编者水平有限,不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2005 年 8 月

目 录

前言

第1章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
思考题	2
1.2 电流、电压及其参考方向	2
思考题	4
1.3 电功率和电能	5
思考题	6
1.4 电阻元件	6
思考题	7
1.5 电压源和电流源	7
思考题	11
1.6 基尔霍夫定律	11
思考题	13
本章小结	14
习题	15
第2章 直流电阻电路的分析	18
2.1 电阻的串联和并联	18
思考题	21
2.2 电阻的星形网络与三角形网络的等效变换	21
思考题	23
2.3 支路电流法	23
思考题	24
2.4 节点电压法	24
思考题	27
2.5 叠加定理	27
思考题	29

2.6 戴维南定理	29
思考题	30
2.7 电路中的受控源及其四种基本形式	30
本章小结	32
习题	32
第3章 正弦交流电路	35
3.1 正弦量的基本概念	35
思考题	37
3.2 有效值	37
思考题	38
3.3 正弦量的相量表示法	38
思考题	41
3.4 正弦电路中的电阻元件	41
思考题	43
3.5 电感元件	43
思考题	45
3.6 正弦电路中的电感元件	45
思考题	46
3.7 电容元件	47
思考题	48
3.8 正弦电路中的电容元件	48
思考题	50
3.9 相量形式的基尔霍夫定律	50
思考题	52
3.10 RLC 串联电路	52
思考题	54
3.11 RLC 并联电路	54
思考题	55
3.12 阻抗和导纳	56
思考题	58
3.13 分析正弦交流电路的相量法	58
3.14 正弦交流电路的功率	60
思考题	64

3.15 电路的谐振	64
思考题	67
本章小结	68
习题	69
第4章 三相正弦交流电路	75
4.1 三相电源的连接	75
思考题	77
4.2 三相负载的连接	77
思考题	80
4.3 对称三相电路的分析	81
思考题	83
4.4 不对称三相电路的分析	83
思考题	86
4.5 三相电路的功率	86
思考题	88
本章小结	88
习题	89
第5章 非正弦周期性电流电路	91
5.1 周期量及其傅里叶级数	91
思考题	92
5.2 非正弦周期性电流电路中的有效值和平均功率	94
思考题	96
5.3 非正弦周期性电流电路的计算	96
思考题	99
本章小结	99
习题	99
第6章 线性电路的过渡过程	102
6.1 换路定律	102
思考题	103
6.2 一阶电路的零输入响应	103
思考题	106
6.3 一阶电路的零状态响应	106
思考题	109

6.4 一阶电路的全响应	109
思考题	111
本章小结	112
习题	112
第7章 磁路和铁芯线圈	115
7.1 磁场及其基本物理量	115
思考题	117
7.2 铁磁性物质的磁性质	117
思考题	119
7.3 磁路及其基本定律	119
思考题	123
7.4 交流铁芯线圈	123
思考题	129
7.5 电磁铁	129
思考题	130
本章小结	130
习题	131
部分习题答案	133
参考文献	138

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是指把一些电气器件按照一定的方式连接起来所构成的电流的通路。复杂的电路呈网状, 又叫网络。其实, 电路和网络这两个名称是通用的。

实际应用的电路组成方式很多, 功能也各不相同, 但它们的作用可归结为两个。其中一个作用是实现电能的传输和转换。典型的例子是电力系统, 如图 1-1 所示, 发电厂的发电机把机械能转换为电能, 通过变压器、输电线路送

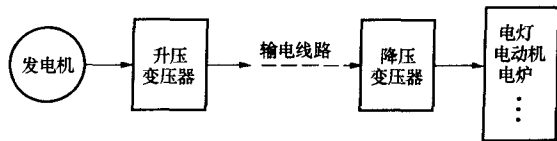


图 1-1 电力系统

给用户, 然后又通过电动机把电能转换为机械能, 通过电灯把电能转换为光能、热能等等。将其他形式能量转换为电能的设备或器件称为电源, 如发电机、干电池等; 而将电能转换为其他形式能量的设备或器件称为负载, 如电动机、电炉、电灯等; 另外把连接电源和负载的部分称为中间环节, 它起传输和分配电能的作用, 如变压器、输电线路等。

电路的另一作用是实现信号的传递和处理, 常见的例子如扩音机, 传声器 (话筒) 将声音变成电信号, 经过放大器的放大, 送到扬声器再变成声音输出。话筒是输出信号的设备, 称为信号源, 相当于电源; 扬声器是接受和转换信号的设备, 也就是负载。

不论电能的传输和转换, 还是信号的传递和处理, 其中电源或信号源的电压或电流称为激励, 由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。

由此可见, 电路主要由电源、负载和中间环节三部分组成。

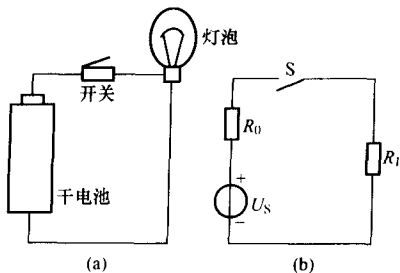


图 1-2 电路

(a) 实际电路; (b) 电路模型

在电视机、音响设备、通信系统、计算机和电力网络中可以看到各种各样的电路, 它们都是物理实体, 称为实际电路, 如图 1-2 (a) 所示。

1.1.2 理想电路元件

由于组成电路的实际电气器件往往比较复杂, 为了能对实际电路进行定量的分析, 我们必须把其中的部件加以近似化、理想化, 只考虑起主要作用的某些电磁现象, 而忽略其次要因素, 把它近似地看作理想电路元件。例如在图 1-2 (a) 中, 小灯泡 (电阻器)

不但发热消耗电能,而且在其周围还会产生一定的磁场。在允许的误差范围内,可以不考虑小灯泡产生的磁场作用,而只考虑小灯泡发热并且消耗电能的作用。所以,电阻元件是一种只表示消耗电能的元件,电感元件是反映可以储存磁场能量的元件,电容元件是反映可以储存电场能量的元件。

上述这些电路元件通过引出端钮互相连接。有两个端钮的元件称为二端元件,有三个及三个以上端钮的元件称为多端元件。

1.1.3 电路模型

如果将实际电路用一个或很多个理想电路元件经理想导线连接起来模拟,就构成了实际电路的电路模型。图 1-2 (b) 便是图 1-2 (a) 的电路模型。

用理想电路元件建立的电路模型将使电路的分析大大简化。建立电路模型时应使其外特性与实际器件和实际电路的外特性尽量接近。同一器件或电路在不同的条件下应以不同的电路模型表示。例如,一个线圈在频率较低时可以只考虑其中的磁场和耗能,但当频率较高时则应考虑电场的影响,频率很低时或通过定值电流时就只需考虑耗能。当然,要使电路模型更能表征实际电路的电磁性能,那电路模型也就越复杂。所以,建立电路模型一般应指明它们的工作条件(如频率、电压、电流等)。

电路可分为集中参数电路和分布参数电路。集中参数电路就是把电路中的电场和磁场分开,磁场只与电感元件相关,电场只与电容元件相关,两种场之间不存在相互作用。本书研究的都是集中参数电路,以后不另加说明。

思考题

1. 什么是电路?电路的作用有哪些?电路由哪些部分组成?
2. 什么叫理想电路元件和电路模型?

1.2 电流、电压及其参考方向

1.2.1 电流及其参考方向

1. 电流

电荷(正电荷、负电荷)的定向移动形成电流,电流的大小或强弱用电流强度来衡量,简称电流。所以电流既是一种物理现象,又是一个物理量。电流在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。设在 dt 时间内通过导体某一横截面的电荷量为 dq ,则通过该截面的电流为

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

习惯上规定,电流的方向(实际方向)为正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向。大小和方向都不随时间改变的电流,称为直流电流,简称直流,用大写字母 I 表示,即

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

式中, q 是在时间 T 内通过某处的电荷量。

大小和方向随时间周期性变化的电流, 称为交变电流, 简称交流, 用小写字母 i 表示。

在国际单位制 (SI) 中, 电流的单位是安 [培], 符号为 A; 电荷量的单位是库 [仑], 符号为 C。另外, 电流常用的单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA) 等。当每秒均匀通过导体横截面的电荷量为 1C 时, 电流大小为 1A。

2. 电流的参考方向

在简单的直流电路中, 我们不难判断电流的实际方向, 但在复杂的直流电路以及交流电路中, 就很难判断电流的实际方向。因为在交流电路中, 电流的大小和方向不断随时间变化; 在复杂的直流电路中, 还必须经过计算或实测才能确定电流的大小和方向。为此, 在分析与计算电路时, 由于电流只有两个可能的方向, 于是可以随便规定某一方向作为电流数值为正的方向, 称为参考方向, 用箭头表示在电路图上, 如图 1-3 (a)

所示。电流参考方向并不一定和电流的实际方向一致, 而是以它作为决定电流正负的标准。如果电流为正值,

则电流的实际方向和所选的参考方向相同; 如果电流为负值, 则电流的实际方向和所选的参考方向相反。参考方向的选择有任意性, 但未规定参考方向的情况下, 电流的正负号是没有意义的。

电流的参考方向除了用箭头在电路图上表示外, 还可用双下标表示。如图 1-3 (b) 所示, 用 i_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b; 如图 1-3 (c) 所示, 用 i_{ba} 表示其参考方向由 b 指向 a, 显然

$$i_{ab} = -i_{ba} \quad (1-3)$$

1.2.2 电压及其参考方向

1. 电压

电路中任意两点 a、b 间的电压, 表明了电场力把单位正电荷由 a 点移到 b 点所做的功。设正电荷 dq 由 a 点移到 b 点所做的功为 dW , 则 a、b 两点间的电压为

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

2. 电压的参考方向

与电流相同, 在分析计算电路时, 把电压看作是一个具有正负值的代数量, 也必须先规定某一方向作为其数值为正的方向, 称为参考方向。电压参考方向可任意规定, 表示形式一般有以下三种:

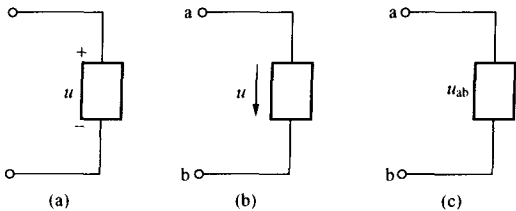


图 1-4 电压的参考方向

(1) 采用参考极性表示。在电路图上标出正 (+)、负 (-) 极性, 如图 1-4 (a) 所示, 正极指向负极的方向就是电压的参考

方向。

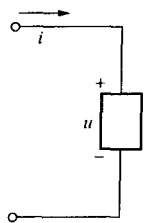


图 1-5 电压和电流的关联参考方向

(2) 采用箭头表示。用箭头表示在电路图上,如图 1-4 (b) 所示,由 a 至 b 的方向就是电压的参考方向。

(3) 采用双下标表示。如图 1-4 (c) 所示, u_{ab} 表示电压的参考方向由 a 至 b。

电流的参考方向和电压的参考方向可以分别独立设定。但为了分析方便,常使同一个元件的电流参考方向与电压参考方向一致,如图 1-5 所示。这种元件的电压、电流参考方向一致的称为关联参考方向,相反为非关联参考方向。

【例 1-1】 图 1-6 (a) 中 $u=4\text{V}$, 图 1-6 (b) 中 $u_{ab}=-7\text{V}$, 试分别比较 a、b 两点的电位。

解 图 1-6 (a) 中参考极性 a 点为高电位端, b 点为低电位端, 所以 a 点电位比 b 点电位高 4V。图 1-6 (b) 中, u_{ab} 为 a 点到 b 点的电位差, 所以 a 点电位比 b 点电位低 7V。

1.2.3 电位及电动势

1. 电位

在电路中任意选一点作为参考点, 把其他各点到参考点的电压称为各点的电位, 用 φ 表示。参考点可以任意选择, 常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点。一个电路只能选一个参考点, 并规定参考点电位为零。

电压与电位的关系: 一个是 a、b 两点之间的电压等于对应两点电位之差, 即

$$u_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-5)$$

式中, φ_a 为 a 点电位, φ_b 为 b 点电位; 另一个是电位的大小与参考点的选择有关, 而电压与参考点的选择无关。

2. 电动势

电磁学中电动势的实际方向规定为电位升高的方向, 用符号 e 表示电动势, 则电动势的参考方向与电压的参考方向之间的关系如图 1-7 所示, 即 $u=e$ 。

图 1-7 电压和电动势的参考方向

电压、电位、电动势的 SI 单位都是伏 [特], 符号为 V。常用的单位还有 kV (千伏)、mV (毫伏) 和 μV (微伏) 等。

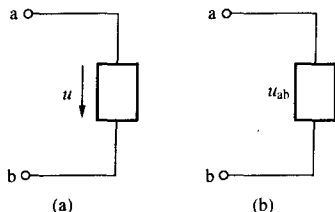
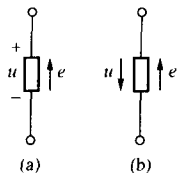


图 1-6 例 1-1 图



思考题

1. 什么是电流、电压、电位? 如何计算它们的大小?
2. 为什么在电路图上要规定电流的参考方向? 如果电流为负值, 试说明电流的实际方向与参考方向的关系。

1.3 电功率和电能

1.3.1 电功率

传送转换电能的速率叫电功率,简称功率。功率 p 、电能 W 和电路中电压、电流的关系是(电压、电流为关联参考方向)

$$p = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-6)$$

直流时,

$$P = UI \quad (1-7)$$

功率的 SI 单位为瓦 [特], 符号为 W。常用的功率单位还有 kW (千瓦)、MW (兆瓦)。计算功率时, 如果电压、电流为关联参考方向, 则上两式带正号, 即

$$p = ui \quad \text{或} \quad P = UI \quad (1-8)$$

如果电压、电流为非关联参考方向, 则两式带负号, 即

$$p = -ui \quad \text{或} \quad P = -UI \quad (1-9)$$

由式 (1-8) 和式 (1-9) 得到的功率为正值时, 说明这部分电路吸收 (消耗) 功率; 若为负值时, 则说明这部分电路提供 (产生) 功率。

1.3.2 电能

从 t_1 到 t_2 时间内, 电路吸收 (消耗) 的电能为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt \quad (1-10)$$

直流时,

$$W = P(t_2 - t_1) \quad (1-11)$$

电能的 SI 单位为焦 [耳], 符号为 J。在实际中还采用 kWh (千瓦·时) 作为电能的单位。

$$1\text{kWh} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J} = 3.6\text{MJ}$$

一般说来, 每一电气设备或器件在工作时都有一定的使用限额, 这种限额称为额定值, 包括额定电压、额定电流和额定功率。这些电气设备或器件在额定电压下才能正常、合理、可靠地工作, 电压过高会损坏设备或器件, 过低则功率不足 (如电灯变暗等)。

【例 1-2】 图 1-8 所示为直流电路, $U_1 = -8\text{V}$, $U_2 = 4\text{V}$, $U_3 = -3\text{V}$, $I = 1\text{A}$, 求各元件的功率 P_1 、 P_2 、 P_3 , 并求整个电路的功率 P 。

解 元件 1 的电压、电流为关联参考方向, 则

$$P_1 = U_1 I = (-8) \times 1 = -8\text{W} \quad (\text{提供 } 8\text{W})$$

元件 2 和元件 3 的电压、电流为非关联参考方向, 则

$$P_2 = -U_2 I = -4 \times 1 = -4\text{W} \quad (\text{提供 } 4\text{W})$$

$$P_3 = -U_3 I = -(-3) \times 1 = 3\text{W} \quad (\text{吸收 } 3\text{W})$$

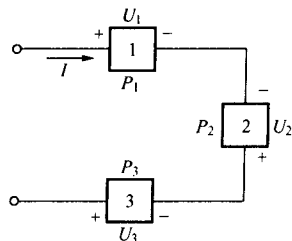


图 1-8 例 1-2 电路

整个电路的功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = -8 + (-4) + 3 = -9\text{W} \quad (\text{提供 } 9\text{W})$$

思考题

1. 电流从一个二端元件的 a 端流入, b 端流出, 当 (1) a 端电位比 b 端电位高 10V 时; (2) a 端电位比 b 端电位低 20V 时, 该元件是提供还是吸收功率? 功率数值为多少?
2. 试写出电阻元件消耗功率的各种计算公式, 功率与电阻成正比还是成反比? 如何理解?

1.4 电阻元件

导体或半导体对电流的阻碍作用叫做电阻作用。电阻作用使得导体或半导体通过电流时进行着把电能转换成热能或其他形式能量的不可逆过程。电炉、电烙铁等就是利用电阻作用而发热发光的。如果一个元件通过电流总是消耗能量, 那么其电压的方向总是和电流的方向一致的。电阻元件的定义是用来反映能量消耗的。电阻元件是一个二端元件, 它的电压和电流的方向总是一致的, 其电压、电流的大小成代数关系。电阻元件的特性可以用电压、电流的代数关系表示。由于电压、电流的 SI 单位是伏 [特]、安 [培], 所以电压电流关系也叫伏安特性。在 $u-i$ 坐标平面上表示元件电压电流关系的曲线称为伏安特性曲线。

如果伏安特性曲线是通过坐标原点的直线, 这种电阻元件就称为线性电阻元件, 简称电阻, 不符合这个要求的电阻元件就称为非线性电阻元件, 本章只讨论线性电阻元件。

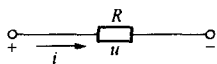


图 1-9 线性电阻元件的符号

线性电阻元件是一种理想电路元件, 它的符号如图 1-9 所示。线性电阻元件的电压、电流为关联参考方向, 其伏安特性曲线如图 1-10 所示, 且表达式为

$$u = Ri \quad (1-12)$$

这就是我们熟悉的欧姆定律。式 (1-12) 中 u 、 i 为电路的变量, R 为元件的电阻, 是一个常量, 其定义为

$$R = \frac{u}{i} \quad (1-13)$$

电阻的 SI 单位是欧 [姆], 符号为 Ω 。常用的单位还有 $\text{k}\Omega$ (千欧)、 $\text{M}\Omega$ (兆欧) 等。线性电阻元件也可用电导表征, 电导用符号 G 表示, 其定义为

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-14)$$

电导的 SI 单位为西 [门子], 符号为 S。用电导表征线性电阻元件时, 欧姆定律可表示为

$$i = Gu \quad (1-15)$$

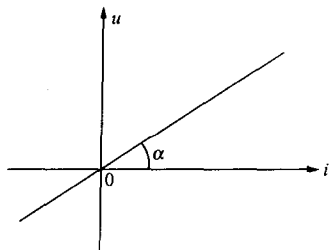


图 1-10 线性电阻元件的伏安特性

当电压、电流为非关联参考方向时, 欧姆定律应写成

$$u = -Ri \quad \text{或} \quad i = -Gu \quad (1-16)$$

无论电阻元件的电压、电流是否为关联参考方向, 都可以得到电阻元件吸收(消耗)功率的另外两个计算式, 即

$$p = Ri^2 = \frac{i^2}{G} \quad \text{或} \quad p = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1-17)$$

可见, 电阻元件总是吸收(消耗)功率, 是一种耗能元件。

如果电阻元件把吸收的电能转换成热能, 依照式(1-10), 从 t_1 到 t_2 时间内, 电阻元件在这段时间内吸收(消耗)的电能 W 为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt = \int_{t_1}^{t_2} Ri^2 dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{u^2}{R} dt \quad (1-18)$$

直流时

$$W = P(t_2 - t_1) = PT = RI^2T = \frac{U^2}{R}T \quad (1-19)$$

式中, $T = t_2 - t_1$ 是电流通过电阻的总时间。

【例 1-3】 有一个 1000Ω 的电阻, 流过它的直流电流为 100mA , 试求电阻电压是多少? 消耗的功率是多少? 每分钟产生的热量是多少?

解 电阻电压为 $U = RI = 1000 \times 100 \times 10^{-3} = 100\text{V}$

消耗的功率为 $P = UI = 100 \times 100 \times 10^{-3} = 10\text{W}$

每分钟(60s)产生的热量为 $W = PT = 10 \times 60 = 600\text{J}$

思考题

1. 线性电阻元件的伏安关系是怎样的?
2. 线性电阻元件接受功率的计算公式有哪些?

1.5 电压源和电流源

1.5.1 电压源

向电路供给能量或提供信号的设备叫电源。理想电压源简称电压源, 是一个二端元件。它的电压总保持为给定值或给定的时间函数, 与通过它的电流无关。所以, 理想电压源也叫作独立电压源, 如干电池等。

电压源的符号如图 1-11 (a) 所示, 其中 u_s 为电压源电压, “+”、“-” 是参考极性。图 1-11 (b) 为直流电压源的符号, 其电压 U_s 等于定值。图 1-11 (c) 表示直流电压源的伏安特性曲线, 它是一条平行电流轴且纵

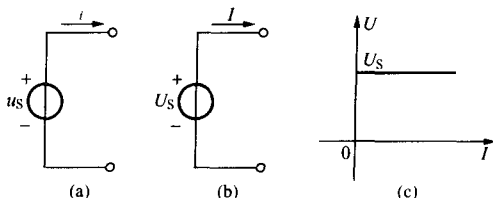


图 1-11 电压源

坐标为 U_s 的直线。

电压源有两个基本性质：①它的电压是给定值或给定的时间函数，与通过它的电流无关；②它的电流由电压源本身和与它相连接的外电路共同决定。

如果电压源的电压 $u_s = 0$ ，它相当于短路。一般说来，电压源在电路中产生功率，但有时也从电路中消耗功率。

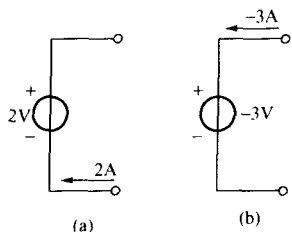


图 1-12 例 1.4 图

【例 1-4】 已知电压源的电压、电流参考方向如图 1-12 所示，求电压源的功率，并说明功率的性质。

解 图 1-12 (a) 中电压、电流为非关联参考方向，则

$$p = -ui = -2 \times 2 = -4\text{W}$$

可见电压源产生功率。

图 1-12 (b) 中电压、电流为关联参考方向，则

$$p = ui = (-3) \times (-3) = 9\text{W}$$

可见电压源消耗功率。

1.5.2 电流源

理想电流源简称电流源，是一个二端元件。它的电流总保持为给定值或给定的时间函数，与它两端的电压无关。所以理想电流源也叫独立电流源，如光电池等。

电流源的符号如图 1-13 (a) 所示，其中 i_s 为电流源电流，箭头是其参考方向。图 1-13

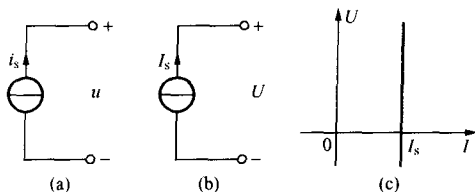


图 1-13 电流源

(b) 为直流电流源的符号，其电流 I_s 等于定值。图 1-13 (c) 表示直流电流源的伏安特性曲线，它是一条平行电压轴且横坐标为 I_s 的直线。

电流源有两个基本性质：①它的电流是给定值或给定的时间函数，与它两端的电压无关；②它两端的电压由电流源本身和与它相连接的外电路共同决定。

如果电流源的电流 $i_s = 0$ ，它相当于开路。一般说来，电流源在电路中产生功率，但有时也从电路中消耗功率。

1.5.3 实际直流电源的电路模型

1. 实际直流电源的电压源模型

实际上理想的电压源是不存在的。比如，以常用的干电池为例，它除了两端有电压以外，还有一定的内阻，一旦接上负载，就有电流流过内阻，进而产生电位降，于是电源电压不再保持为给定值。且流过电源的电流越大，电压降低越多，因此可用电压源和电阻串联来作为实际电源的电压源模型。如图 1-14 (a) 所示， U_s 为电压源的电压， R_s 为实际直流电源的内阻， R 为负载电阻， U 为实际直流电源的电压， I 为实际直流电源的电流。在图 1-14 (a) 中，根据 KVL，有

$$U + U_1 - U_s = 0$$

由欧姆定律

$$U_1 = R_s I$$

于是

$$U = U_s - R_s I \quad (1-20)$$

式(1-20)为实际直流电源的电压电流关系,即伏安特性,如图1-14(b)所示为一条直线。

在式(1-20)中,当 $I=0$ 时,即a、b端开路时,如图1-14(c)所示,则 $U=U_S=U_{OC}$, U_{OC} 为开路电压;当 $U=0$ 时,即a、b端短路时,如图1-14(d)所示,则 $I=\frac{U_S}{R_S}=I_{SC}$, I_{SC} 为短路电流。

显然,实际电源的内阻越小,内阻上产生的电位降就越低,实际电源就越接近于理想电压源。

2. 实际直流电源的电流源模型

同样,理想的电流源也是不存在的。可以用电流源和电阻并联来作为实际电源的电流源

模型,如图1-15(a)所示, I_S 为电流源产生的定值电流, G_S 为实际电源内电导, R 为负载电阻, U 、 I 为实际电源的电压、电流。在图1-15(a)中,根据KCL,有

$$I + I_1 - I_S = 0$$

由欧姆定律

$$I_1 = G_S U$$

所以

$$I = I_S - G_S U \quad (1-21)$$

式(1-21)为实际直流电源的电压电流关系,也称伏安特性,如图1-15(b)所示为一条直线。

在式(1-21)中,当 $U=0$ 时,即a、b端短路时, $I=I_S=I_{SC}$;当 $I=0$ 时,即a、b端开路时, $U=\frac{I_S}{G_S}=U_{OC}$ 。

显然,实际电源的内电导越小,内部的分流就越小,就越接近于理想电流源。

【例1-5】 如图1-16所示,计算直流电源电路在开关S断开与闭合两种情况下的电压 U_{ab} 、 U_{cd} 。

解 当S断开时,电流 $I=0$,各电阻电压均为零,则a、b两端电压就等于电源电压,即 $U_{ab}=6V$ 。

当S闭合时, $U_{ab}=0$, 电路中电流为

$$I = \frac{6}{5.5 + 0.5} = 1A$$

$$U_{cd} = 1 \times 5.5 = 5.5V$$

【例1-6】 如图1-17所示,计算直流电路中 10Ω 电阻的电压 U_2 和电流源的电压 U_1 。

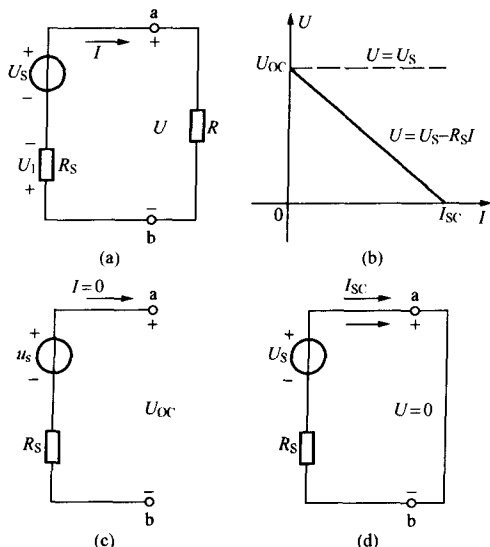


图1-14 电压源构成的实际直流电源模型

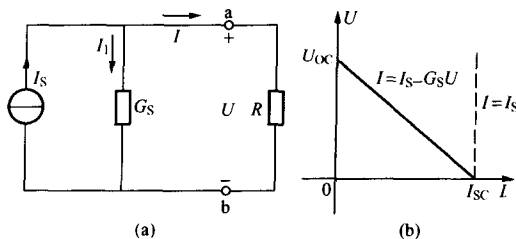


图1-15 电流源构成的实际直流电源模型