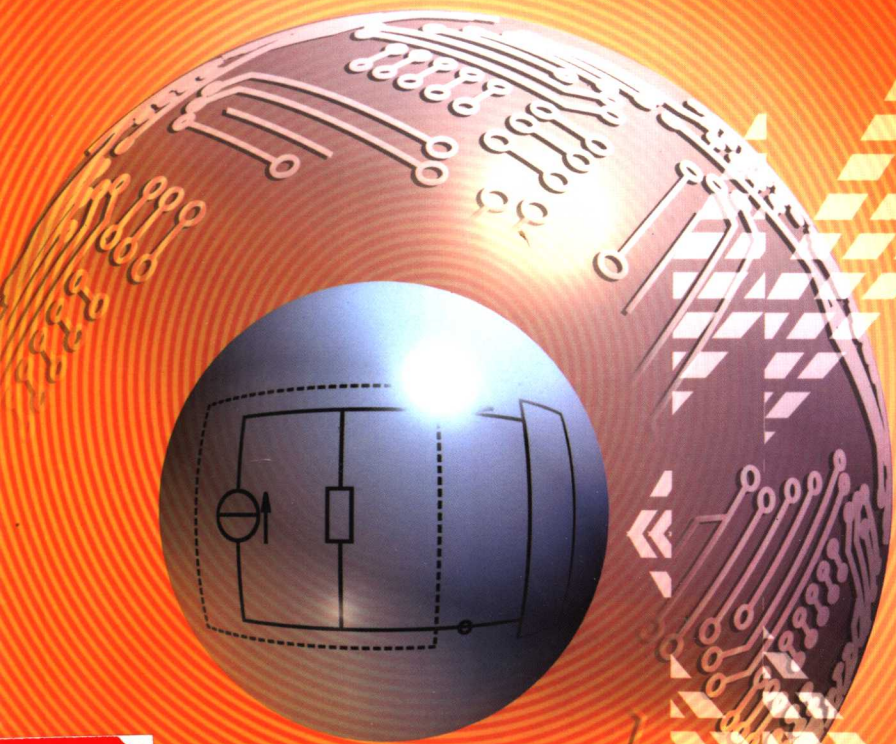


电路基础

Education
教育

刘南平 齐兆艺 主编



科学出版社

www.sciencep.com

电路基础

刘南平 齐兆艺 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书依据电路基础课程的教学大纲,由多位学科教授审定内容结构,并结合作者多年的一线教学经验编写而成,是一本适合高职高专使用的配套教材。

本书基础理论篇系统地介绍了电路分析的基本内容,重点放在电子电路有关的基本理论与基本运算方法上,对电力专业涉及到的电路、磁路基础做了必要的介绍。实验实训篇编写了两部分:第一部分是基础实验,培养学生的实际技能,提高学生分析问题的能力,解决问题的能力。如戴维南定理、电路中各点电位及每两点间电压的测量,谐振电路的实验等。第二部分是实验设计,培养学生初步设计、安装实物、调测能力,分析和解决实验设计过程中出现问题能力。编者根据多年教学实践,在编写的过程中,辅以大量的课内、外的例题、思考题、练习题、综合性题,以便学生能较好地、系统地掌握所学的理论基础及其内容。

本书内容精炼,突出重点,论述条理清晰,深入浅出。

本书可作为高等职业、专科院校的自动化、电子、通信、计算机等相关专业的课程教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/刘南平,齐兆艺主编. —北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-015811-3

I. 电… II. 刘… III. 电路教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 074006 号

责任编辑:赵方青 崔炳哲/责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平/封面设计:朱平
北京东方科龙图文有限公司制作
<http://www.cookbook.com.cn>

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年9月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005年9月第一次印刷 印张: 18 1/4

印数: 1—4 000 字数: 362 600

定 价: 28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

为满足全国高等职业院校强、弱电类专业的教学要求,加快我国应用型人才培养的步伐,科学出版社组织策划、出版了强、弱电类专业课程系列教材。本书即是该系列教材之一。

本书系统地介绍了电路分析的基本内容,重点放在与电子电路有关的基本理论和基本方法上,对强电专业所涉及的电路、磁路等只给予简单介绍(如三相交流电路只作为一节,对变压器只简要介绍单相变压器原理,把磁路和铁芯线圈的内容安排在附录中)。

考虑到高职特点之一是实际操作能力的培养,全书分为基础理论篇和实验实训篇。

实验实训篇中的基础实验,注重培养学生的实验能力和实际操作技能,如戴维南定理,电路中各点电位及每两点间电压的测量,谐振电路的实验等;综合实训,注重培养学生初步设计、安装实物、调试和测试能力,分析和解决实验设计过程中出现问题的能力。

通过实践环节能使学生对基础理论知识的理解,逐步养成严谨求实的工作作风;培养了学生独立分析问题、解决问题和设计创新的能力。

考虑到高职特点之二是既要加强理论基础,又要加强基本运算和分析问题、解决问题的能力。为此,根据多年教学实践,在编写中作如下安排:

(1)编写了较多的例题、思考题与练习题,以便学生能系统地掌握所学的基础理论知识。

(2)精简内容、突出重点。例如,在电路的分析方法一章中,重点讲授支路电流法、节点电压法及几种重要的电路等效变换,删去以往教材中的回路电流法等较难理解的内容。

(3)采取学生易于接受的分析和解决问题的方法进行讲授,如在讲清楚电动势与电压的概念之后,对电路分析和计算时一律不用电动势;讲解 KVL 时,只讲 $\sum U=0$,而不讲解另一种形式 $\sum IR=\sum E$,这样,学生易于掌握而不易混淆;讲授电路暂态分析时,在讲换路定律、时间常数概念基础上,用拉普拉斯变换的方法求解电路响应,而不用经典法,学生易于掌握并能顺利求解。

书中带“*”号的章节是在教学基本要求的基础上加深(或加宽)的内容,可根据专业需要和学时多少选择使用。

本书第1、2、3章由刘南平老师编写,第4、6章由河北工业大学齐兆艺老师编写,第5章及实验实训篇由天津职业大学李新老师编写。刘南平负责全书的统稿工作并担任主编,齐兆艺任副主编。全书由河北工业大学刘锡安教授主审;天津工业大学信息学院多位教授对初稿提出了宝贵的意见和建议。编审过程中得到了李雅轩教授、科学出版社刘晓融编审和崔炳哲、赵方青编辑的大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间紧迫,书中难免存在问题或错误,敬请各位读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 篇 基础理论

第 1 章 电路中基本物理量和基本定律	3
1.1 电路的组成与作用、电路模型	3
1.2 电路的基本物理量及其正方向	4
1.3 欧姆定律和电功率	7
思考与练习题	11
1.4 电路的工作状态	12
思考与练习题	13
1.5 基尔霍夫定律	14
思考与练习题	17
1.6 本章小结	18
本章习题	20
第 2 章 电路的分析方法	24
2.1 电阻串、并联连接的等效变换	24
思考与练习题	28
* 2.2 电阻星形连接(丫形)与三角形连接(△形)的等效变换	30
思考与练习题	31
* 2.3 独立电压源与独立电流源及其等效变换	32
思考与练习题	36
2.4 支路电流法	37
思考与练习题	38
2.5 节点电压法	38
思考与练习题	40
2.6 叠加原理	40
2.7 戴维南定理与诺顿定理	41
思考与练习题	45
2.8 含受控源电路的分析	46

2.9 非线性电阻电路的分析	50
2.10 本章小结	53
本章习题	56
第3章 正弦交流电路	62
3.1 正弦电压与电流	62
思考与练习题	66
3.2 正弦量的四种表示方法	67
思考与练习题	70
3.3 电阻元件的正弦交流电路	71
3.4 电感元件的正弦交流电路	73
思考与练习题	77
3.5 电容元件的正弦交流电路	77
思考与练习题	80
3.6 RLC 串联的正弦交流电路	81
思考与练习题	85
3.7 正弦交流电路的分析和计算方法	86
思考与练习题	89
3.8 交流电路的频率特性	91
3.9 谐振电路	93
思考与练习题	98
3.10 功率因数的提高	99
3.11 三相电路	101
思考与练习题	111
3.12 本章小结	112
本章习题	115
第4章 非正弦周期电流的电路	122
4.1 非正弦周期量的分解	122
4.2 非正弦周期的有效值	126
思考与练习题	128
4.3 非正弦周期电流的线性电路计算	128
4.4 非正弦周期电流电路中的平均功率	133
4.5 滤波器	135
4.6 本章小结	139
本章习题	140
第5章 互感电路及变压器	143

5.1 磁场的基本物理量	143
5.2 互感与互感电压	144
思考与练习题	147
5.3 互感线圈的连接及等效电路	148
思考与练习题	152
5.4 空芯变压器电路	152
思考与练习题	154
5.5 理想变压器	154
5.6 本章小结	158
本章习题	160
第 6 章 电路的暂态分析	163
6.1 换路定律与电压、电流初始值确定	163
思考与练习题	168
6.2 拉普拉斯变换定义及其性质	168
6.3 一阶 RC 电路的响应	172
思考与练习题	182
* 6.4 RL 电路的响应	183
思考与练习题	187
* 6.5 一阶线性电路暂态分析的三要素法	188
* 6.6 RLC 电路的暂态过程分析	190
6.7 本章小结	191
本章习题	193

第 2 篇 实验实训

第 1 章 基础实验	201
实验 1 电路的电位图	201
实验 2 受控源实验	206
实验 3 叠加原理的验证	211
实验 4 有源二端电路等效参数的测定	213
实验 5 交流电路参数的测定	217
实验 6 交流电路的功率因数及其提高	221
实验 7 互感实验	226
实验 8 RLC 串联谐振电路	229

实验 9 小型电源变压器实验	232
实验 10 用二瓦特计法测三相功率	238
实验 11 一阶、二阶网络接通和断开直流电源的过渡过程	241
实验 12 有源滤波器实验	244
第 2 章 综合实训	250
综合实训 1 万用表的设计、安装和校准	250
综合实训 2 小容量变压器的设计	253
综合实训 3 全波交/直流变换器的设计与测试	257
附 录	260
参考文献	282

第

1

篇

基础理论

第1章 电路中基本物理量和基本定律

第2章 电路的分析方法

第3章 正弦交流电路

第4章 非正弦周期电流的电路

第5章 互感电路及变压器

第6章 电路的暂态分析

第 1 章 电路中基本物理量和基本定律

本章主要讲解电路中一些基本物理量和电路中两大基本定律:欧姆定律(Ohm's law)和基尔霍夫定律(Kirchhoff's law)。后续章节的各种电路都要用本章所讲的一些基本物理量和两大基本定律进行分析计算,因此对本章所讲的内容必须牢记、掌握。

- 重点: 欧姆定律和基尔霍夫定律,以及电压、电流正方向。
- 难点: 基本物理量的概念,特别是电动势、电压、电位三者的区别。

1 电路的组成与作用、电路模型

1 电路的组成与作用

电路是电流的流通路径,是由电路元(器)件按一定要求连接而成,为电流的流通提供路径的集合体。电路的结构形成是多种多样的,主要作用有以下两种。

第一种作用是实现电能的传输和转换,如图 1.1 所示的电力系统。

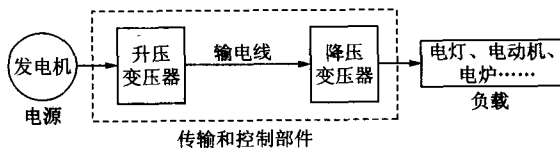


图 1.1 电力系统

电路中提供电能或信号的器件,称为电源(图 1.1 中发电机)。电路中吸收电能或输出信号的器件,称为负载(图 1.1 中电灯、电动机和电炉等)。在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等是传输和控制部件(中间环节)。

第二种作用是实现信号传递和处理,如图 1.2 所示的扩音机系统。

图 1.2 中话筒是输出信号的设备,叫做信号源,其作用是把语言或音乐(常称为信息),转换为相应的电压和电流(非电信号转换为电信号)。

扬声器是接受和转换信号的设备,叫做负载,其作用是把电信号再还原为语言

或音乐(非电信号)。

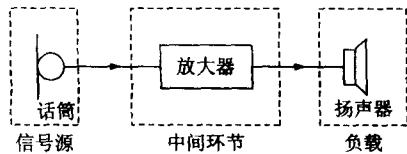


图 1.2 扩音机系统

放大器是中间环节,其作用是把话筒输出的微弱信号放大成推动扬声器发出较强的信号。信号的这种转换和放大叫做信号处理。信号传输和处理的例子较多,如收音机、电视机,通过接收天线(信号源)把载有语言、音乐和图像信息的电磁波接收后转换成相应的电信号再通过电路对信号处理(调

谐、变频、放大等)后,送到扬声器和显像管(负载)还原为原来的信息。

综上所述,电路由电源(或信号源)、中间部分和负载三个部分组成。

2 电路模型

实际电路都是由一些根据实际需要起不同作用的电路元件或器件组成的。每一个电路元件的电磁性质较复杂。

在一定条件下对实际器件加以理想化,只考虑其中起主要作用的某些电磁现象。如认为电阻元件是一种只表示消耗电能的元件;电感元件是表示其周围空间存在着磁场而可以储存磁场能量的元件;电容元件是表示其周围空间存在着电场而可以储存电场能量的元件。

例如,一个白炽灯泡,它除了具有消耗电能的电阻性外,当有电流通过灯泡时,还要产生磁场,即它还有电感性,只是电感很微小,可略去不计。于是将白炽灯理想化为电阻元件。因此,在一定条件下,突出其主要电磁性质,忽略其次要因素,叫做将实际元件模型化(或叫做理想化),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。

在理想电路元件中,主要有电阻元件(参数为 R)、电感元件(参数为 L)、电容元件(参数为 C)、电源元件(参数为电动势 E 和内电阻 R_0)。

以后分析电路时,所画电路图上的电路元件都是理想电路元件(并将“理想”二字略去)。

2 电路的基本物理量及其正方向

1 电 流

电流是电荷(带电粒子)有规则的定向运动,电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面积的电荷量。

在图 1.3 中,设在 dt 时间内通过导体横截面积 S 的电荷量为 dq ,则在导体 AB 中的电流 i 为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

实际上,在导体中电流流动的方向是由电子流动的方向,但习惯规定电流的真实方向为正电荷流动的方向。

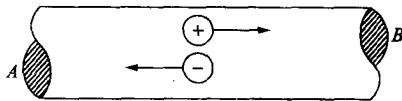


图 1.3 导体中的电流

电流的大小,方向都随时间而变化时,称为交变电流,简称交流(AC: alternating current),通常用 i 表示;电流的大小、方向都不随时间而变化时,称为直流(DC: direct current),通常用 I 表示。

在分析复杂的直流电路时,很难事先判断电路中某支路中电流的真实方向,对交流电路来说,电流的方向则时刻改变着,更无法用一个箭头来表示其真实方向。因此,在分析与计算电路前,常任意标出各支路电流流动正方向,称为电流正方向,或称为电流参考方向。正方向就是电流为正值时的方向,按所选定的正方向进行分析和计算后,所得某支路中电流值为正值时,则支路中所选定的电流正方向,就是其电流的真实方向;若为负值时,则支路中的电流真实方向和所选定的电流正方向相反。

需要注意的是:在分析、计算电路前,必须选定各支路电流正方向,且一旦选定,若计算结果为负值,也不能再改变原来选定的正方向。

本书各物理量的单位都采用国际单位制:电流的单位为 A(安[培])。

由 $i = \frac{dq}{dt}$ 知,1s(1 秒钟)内通过导体横截面积的电荷量为 1C(1 库[仑])时的电流为 1A(1 安[培])。单位的换算关系如下:

$$1\text{A} = 10^3 \text{mA} \text{ (毫安)}$$

$$1\text{mA} = 10^3 \mu\text{A} \text{ (微安)}$$

$$1\mu\text{A} = 10^3 \text{nA} \text{ (纳安)}$$

2 电压、电动势、电位

1. 电 压

电场力把单位正电荷从电场中点 A 移到点 B 所做的功 W_{AB} 称为 A、B 间的电压,用 U_{AB} 表示,即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1.2)$$

电压的单位为 V(伏[特])。如果电场力把 1C 电量从点 A 移到点 B 所做的功是 1J(焦[耳]),则 A 与 B 两点间的电压就是 1V。

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点,即由“+”极指向“-”极,因此,在电压的方向上电位是逐渐降低的。

电压总是相对两点之间的电位而言的,所以用双下标表示,一个下标(如 A)代

表起点,后一个下标(如 B)代表终点。电压的方向则由起点指向终点,有时用箭头在图上标明。当标定的参考方向与电压的实际方向相同时(图 1.4(a)),电压为正值;当标定的参考方向与实际电压方向相反时(图 1.4(b)),电压为负值。

2. 电动势

为了维持电路中有持续不断的电流,必须有一种外力把正电荷从低电位处(如负极 B)移到高电位处(如正极 A),在电源内部就存在着这种外力。

如图 1.5 所示,外力克服电场力把单位正电荷由低电位 B 端移到高电位 A 端,所做的功称为电动势,用 E 表示。电动势的单位也是 V 。如果外力把 $1C$ 的电量从点 B 移到点 A ,所做的功是 $1J$,则电动势就等于 $1V$ 。

电动势的方向规定为从低电位指向高电位,即由“ $-$ ”极指向“ $+$ ”极。

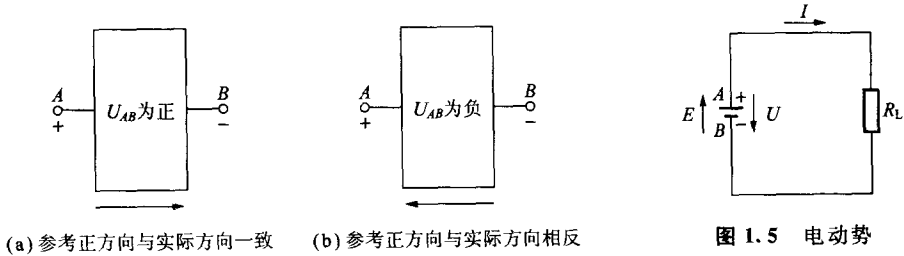


图 1.4 电压的正负与实际方向

图 1.5 电动势

3. 电位

电荷在导体中运动是因为受到存在于导体中电场力的作用,显然,电场力要对电荷做功。如果在电路中任意选定一个电位参考点 0 (其电位为 0 电位),人们定义空间某点 A 的电位 V_A 在量值上等于将单位正电荷从 A 点移到 0 点电场力所做的功。在国际单位制中,电位的单位为 V (伏[特])。

显然, V_A 是一个相对的量,它的量值与所选取的参考点有关。如果已知 a 、 b 两点的电位各为 V_a 、 V_b ,则此两点间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.3)$$

电子线路中,电路习惯画法如图 1.6 所示,不画电源,只标出电源一个极板上的电位。

电动势、电压、电位的单位全为 V (伏[特])。

$$(\text{伏}[\text{特}]) = \frac{\text{功}(\text{焦}[\text{尔}])}{\text{电荷量}(\text{库}[\text{仑}])} \quad (1.4)$$

单位的换算关系如下:

$$1\text{kV} (1 \text{ 千伏}) = 10^3 \text{ V} (\text{伏})$$

$$1\text{V} (1 \text{ 伏}) = 10^3 \text{ mV} (\text{毫伏})$$

$$1\text{mV} (1 \text{ 毫伏}) = 10^3 \mu\text{V} (\text{微伏})$$

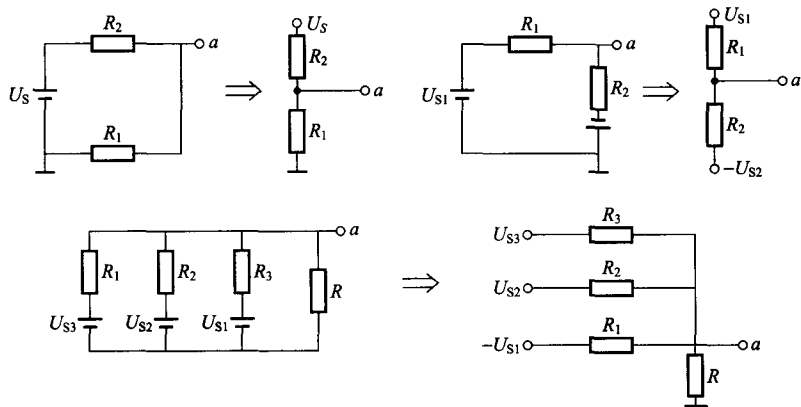


图 1.6 电子线路的习惯画法

电动势只在电源内存在,其真实方向为电位升的方向(即由电源负极指向正极)。电压存在电源外部和流有电流的电阻(阻抗)两端,其真实方向为电位降的方向。在没有内阻(内阻很小,可忽略)的情况下,电源的电动势和其端电压数值相等,方向相反。在电路中选定不同的电位参考点,其他点电位值不同,但每两点间电压值不因所选电位参考点不同而改变。

电流、电动势、电压和电位都为标量。

3 欧姆定律和电功率

1 欧姆定律

欧姆定律:导体中的电流 I 与加在导体两端的电压 U 成正比,与导体的电阻 R 成反比。

当电压和电流的正方向一致时(图 1.7(a)),有

$$U = IR \quad (1.5 a)$$

当电压和电流的正方向相反时(图 1.7(b)),有

$$U = -IR \quad (1.5 b)$$

由式(1.5)可以看出,当所加电压 U 一定时,电阻 R 越大,则电流越小,这说明电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质。

电阻的单位是 Ω (欧[姆])。当电阻两端电压为 1V,通过电阻中电流为 1A 时,则其电

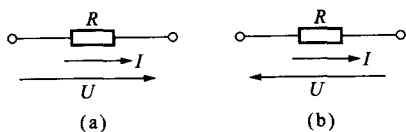


图 1.7 欧姆定律

阻为 1Ω , 但电阻值与是否加电压(电流)及所加电压(电流)大小无关。

2 电功率

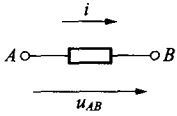


图 1.8 电功率

如图 1.8 所示, 在一段电路 AB 中若通过的电流为 i , AB 两点间电压为 U_{AB} , 则

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq}$$

$$u_{AB} \cdot i = \frac{dW_{AB}}{dq} \times \frac{dq}{dt} = \frac{dW_{AB}}{dt}$$

由上式得知, $\frac{dW_{AB}}{dt}$ 是电流通过 AB 段电路时, 单位时间所做的功, 即功率。因此, 电功率 p 为

$$p = \frac{dW_{AB}}{dt} = u_{AB} \cdot i \quad (1.6 a)$$

在图 1.9 所示电路中

$$U_s = IR + IR_0$$

上式两边都乘以 I , 得

$$U_s I = I^2 R + I^2 R_0 \quad (1.6 b)$$

式中, $U_s I$ 表示电源输出的功率; $I^2 R$ 表示负载电阻 R 所消耗的功率; $I^2 R_0$ 表示电源内阻 R_0 所消耗的功率。

式(1.6b)是功率平衡式, 表示电源输出的功率和电路中电阻所消耗的功率相平衡。

把图 1.9(a)改画为图 1.9(b)所示形式, 可知: 对于电源, U_s 和 I 的实际方向相反; 对于负载, U_s 和 I 的实际方向相同。因此, 可根据电压和电流的实际方向来确定某一电路元件是电源(产生功率), 还是负载(吸收功率)。或者, 如果电路中某一电路元件电压 U 和流过电流 I 的正方向为一致时: 当功率 $P = UI < 0$ 时, 该元件起电源作用; 当功率 $P = UI > 0$ 时, 该元件起负载作用。

注意: ① 电池被充电时, 电池是负载。② 电阻元件的负载大小, 是指电阻中的电流大小, 而不是电阻值大小。

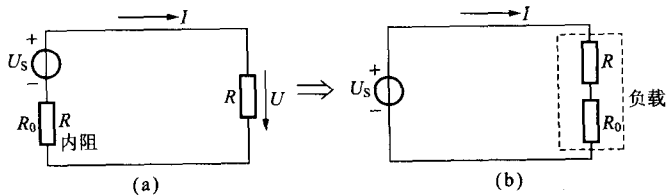


图 1.9 功率平衡