

高等学校电子信息类系列教材

电路与电子技术

赵桂钦 主编



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

高等学校电子信息类系列教材

电路与电子技术

清华大学出版社
北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

《电路与电子技术》包括两部分：电路理论基础、模拟电子技术基础。电路理论基础部分重点介绍电路的基本概念、基本原理和电路的分析方法，主要包括：电路模型、电路定理、电路的分析方法、暂态分析及正弦稳态电路的分析。模拟电子技术基础部分重点介绍构成模拟电路的核心部件及其电路分析，主要包括：晶体管、线性放大器、功率放大器、差动放大器、集成运算放大器和振荡器。例题和习题除围绕上述重点外，还注重思考性、启发性，使读者在获得知识的同时能增强分析问题和解决问题的能力。

本书适合电子、电气、计算机等各专业的本专科教学使用（可选择无*号的部分章节作为专科教学），也可以作为工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术/赵桂钦主编. —北京：清华大学出版社；北京交通大学出版社，2010.4

（高等学校电子信息类系列教材）

ISBN 978-7-5121-0090-9

I. ①电… II. ①赵… III. ①电子电路-高等学校-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第057222号

责任编辑：杨正泽

出版发行：清华大学出版社 邮编：100084 电话：010-62776969

北京交通大学出版社 邮编：100044 电话：010-51686414

印刷者：北京东光印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印张：18.5 字数：471千字

版 次：2010年4月第1版 2010年4月第1次印刷

书 号：ISBN 978-7-5121-0090-9/TN·71

印 数：1~4 000册 定价：28.00元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。

投诉电话：010-51686043, 51686008；传真：010-62225406；E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

《电路与电子技术》一书包括电路理论基础、模拟电子技术基础两部分,该课程是电子信息、电气工程、计算机类各专业必修的专业基础课程。随着电子技术在各领域的广泛应用,它也越来越多地成为非电类专业的重要课程。由于教学时数的限制,同时考虑到各个专业对电路和电子课程的不同教学要求,在编写中对有些章节做了相应的压缩。本书适于作为高等院校弱电类非电子信息专业的本科教材,也可选择部分章节作为专科或自学考试学生的教材。

本书第1篇为电路理论基础,共4章,主要介绍电路及电路模型、电路的分析方法、电路定理及其应用、动态电路分析及正弦稳态电路。该部分重点突出,内容紧凑,适合少学时的教学安排。

本书第2篇为模拟电子技术基础,共6章,主要介绍二极管及二极管电路、三极管及三极管放大器、场效应管及场效应管放大器、功率放大器、差动放大器、集成运算放大器及振荡器。这一部分提供了大量的例题和习题,并且许多问题都与实际应用相结合,使读者在学习和掌握原理的同时,对电子技术的应用有一定的了解,也希望在教学中能开拓学生的解题思路,提高学生分析解决问题的能力,多角度加深学生对所学知识的理解。

《电路与电子技术》的特点之一每一章都有一个概述,介绍该章的主要内容和重点,让读者能在开始学习之前有一个全局性的了解;特点之二是每章配有大量的例题和习题,这些题目都是由浅入深,循序渐进,由理论到实践,对基础欠缺或自学者有很好的引导作用。另外本书还尝试介绍了电路的设计或再设计,对读者的设计思路有一定的启发作用。因为电路设计不具有唯一性,因此也希望读者在研究这类例题时能找到自己的设计方案。

赵桂钦(上海交通大学)担任本书的主编,陈绍东、张淑苹为副主编,林昕、卜艳萍、王德俊等参与了部分工作,并对编写内容和章节顺序提出了许多宝贵意见。全书由赵桂钦统稿。本书编写过程中,得到了上海交通大学技术学院各位领导的大力支持,在此表示衷心的感谢。

相关教学课件可以从北京交通大学出版社网站(<http://press.bjtu.edu.cn>)下载,也可以发邮件至 cbssyz@jg.bjtu.edu.cn 索取。

编写过程中,由于时间仓促,加之水平有限,书中错误和不妥之处,敬请读者予以批评指正,以便今后不断改进。

编 者
于上海交通大学

目 录

第1篇 电路理论基础

第1章 电路的基本概念和基本定律	(3)
1.1 电路和电路模型	(3)
1.2 元件的电流、电压及功率	(4)
1.2.1 电流及其参考方向	(4)
1.2.2 电压及其参考方向	(5)
1.2.3 电压、电流的关联参考方向	(6)
1.2.4 电功率和能量	(6)
1.3 电路元件	(7)
1.3.1 电阻元件	(7)
1.3.2 电感元件	(8)
1.3.3 电容元件	(9)
1.3.4 独立电源	(10)
1.3.5 受控源	(13)
1.4 基尔霍夫定律	(13)
1.4.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	(14)
1.4.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	(15)
习题	(17)
第2章 电阻电路的分析方法	(21)
2.1 简单电路的分析	(21)
2.1.1 电阻的串联和并联	(21)
2.1.2 理想电源的串联和并联	(23)
2.1.3 非理想独立电源的串并联	(25)
2.2 电阻电路的 Y - Δ 等效变换	(27)
2.2.1 Δ 形电路等效为 Y 形电路	(28)
2.2.2 Y 形电路等效为 Δ 形电路	(29)
2.3 复杂电路的一般分析方法	(30)
2.3.1 KCL 和 KVL 方程的独立性	(30)
2.3.2 支路电流法	(31)
2.3.3 节点电压法	(32)

2.3.4 网孔电流法	(35)
2.3.5 含受控源的电阻电路	(38)
2.4 叠加定理和替代定理	(39)
2.4.1 叠加定理	(39)
2.4.2 替代定理	(42)
2.5 戴维南定理和诺顿定理	(43)
2.5.1 戴维南定理	(44)
2.5.2 诺顿定理	(47)
2.5.3 最大功率传输条件	(49)
习题	(51)
第3章 动态电路	(58)
3.1 动态电路的过渡过程及初始条件	(58)
3.1.1 电容电感的串联和并联	(58)
3.1.2 换路定理	(61)
3.2 一阶电路的零输入响应	(62)
3.2.1 一阶 RC 电路的零输入响应	(62)
3.2.2 一阶 RL 电路的零输入响应	(64)
3.3 一阶电路的零状态响应	(65)
3.3.1 直流激励时一阶 RC 电路的零状态响应	(66)
3.3.2 直流激励时一阶 RL 电路的零状态响应	(67)
3.4 一阶电路的全响应及三要素法	(69)
3.5* 二阶电路的零输入响应	(71)
3.5.1 二阶 RLC 串联电路的零输入响应	(71)
3.5.2 二阶 GLC 并联电路的零输入响应	(78)
3.6* 二阶电路的全响应	(80)
习题	(81)
第4章 正弦稳态电路	(87)
4.1 正弦量及其相量	(87)
4.1.1 正弦量	(87)
4.1.2 正弦量的相量	(89)
4.2 电路定理的相量形式	(91)
4.2.1 电路元件伏安特性的相量形式	(91)
4.2.2 欧姆定律和基尔霍夫定律的相量形式	(95)
4.3 阻抗和导纳	(96)
4.3.1 阻抗和导纳的定义	(96)
4.3.2 阻抗及导纳的串联和并联	(98)
4.4 正弦稳态电路的分析方法	(100)
4.4.1 电路的相量模型	(100)
4.4.2 正弦稳态电路的分析方法	(103)

4.5	正弦交流电路中的功率	(106)
4.5.1	正弦稳态电路中各种功率的定义	(106)
4.5.2	最大功率传输的条件	(111)
4.6	谐振电路	(116)
4.6.1	RLC 串联谐振电路	(116)
4.6.2	RLC 并联谐振电路	(119)
4.7	含耦合电感电路的计算	(122)
4.7.1	互感的定义	(123)
4.7.2	耦合电感的去耦	(124)
4.7.3	含耦合电感电路的计算	(127)
4.8	变压器	(128)
4.8.1	空芯变压器	(128)
4.8.2	理想变压器	(129)
4.9*	非正弦周期电流电路	(130)
4.9.1	非正弦周期信号	(130)
4.9.2	有功功率	(131)
4.10*	三相电路	(131)
4.10.1	对称三相电路	(131)
4.10.2	对称三相电路中的电流和电压	(133)
4.10.3	对称三相电路中的功率	(134)
习题		(135)

第 2 篇 模拟电子技术基础

第 5 章	半导体及半导体器件	(143)
5.1	半导体材料及 PN 结	(143)
5.1.1	本征半导体	(143)
5.1.2	杂质半导体	(144)
5.1.3	漂移电流和扩散电流	(144)
5.1.4	PN 结的形成	(145)
5.1.5	PN 结的单向导电性	(146)
5.2	二极管	(147)
5.2.1	二极管的主要特性	(147)
5.2.2	特殊二极管	(150)
5.3	双极型晶体管	(153)
5.3.1	BJT 的结构	(153)
5.3.2	BJT 的电流分配	(154)
5.3.3	BJT 的伏安特性	(155)
5.3.4	BJT 的主要参数	(157)
5.4	场效应管	(158)

5.4.1	绝缘栅型场效应管 (MOSFET)	(159)
5.4.2	结型场效应管 (JFET)	(163)
5.4.3	FET 的主要参数	(166)
5.4.4	FET 与 BJT 的比较	(167)
习题		(168)
第 6 章	BJT 放大器和 FET 放大器	(171)
6.1	放大器概述	(171)
6.1.1	电子电路中电压和电流的表示方法	(171)
6.1.2	放大器的组态	(171)
6.1.3	放大器的重要技术指标	(172)
6.2	BJT 放大器	(174)
6.2.1	图解法	(175)
6.2.2	解析法	(178)
6.2.3	BJT 放大器的直流偏置电路	(179)
6.2.4	含射极电阻的共射极放大器	(181)
6.2.5	共集电极放大器	(183)
6.2.6	共基极放大器	(185)
6.3	FET 放大器	(186)
6.3.1	直流偏置电路	(187)
6.3.2	图解法	(187)
6.3.3	解析法	(188)
6.3.4	共漏极放大器	(192)
6.3.5	共栅极放大器	(193)
6.4*	阻容耦合多级放大器	(195)
6.5	放大器中的负反馈	(199)
6.5.1	电路中的负反馈	(200)
6.5.2	反馈的分类	(201)
6.5.3	负反馈对放大器性能的影响	(203)
6.6	负反馈放大电路的近似计算	(204)
6.6.1	电压串联负反馈	(204)
6.6.2	电流并流负反馈	(205)
6.6.3	电压并联负反馈	(207)
6.6.4	电流串流负反馈	(208)
6.7*	反馈放大器的自激	(209)
6.7.1	放大器的自激问题	(209)
6.7.2	反馈放大器的稳定性	(209)
6.7.3	稳定裕量	(210)
习题		(211)
第 7 章	低频功率放大器	(219)

7.1 功率放大器的分类	(219)
7.1.1 甲类功率放大器	(220)
7.1.2 乙类功率放大器	(221)
7.1.3 甲乙类功率放大器	(224)
7.1.4 丙类功率放大器	(226)
7.2 甲乙类功率放大器	(226)
7.2.1 具有二极管偏置的甲乙类功率放大器	(227)
7.2.2 用 U_{BE} 倍增器提供偏置的甲乙类功率放大器	(228)
7.2.3 具有输入缓冲器的甲乙类功率放大器	(229)
7.2.4 使用 Darlington 管的甲乙类功率放大器	(230)
7.3 其他形式的功率放大器	(231)
7.3.1 具有变压器耦合的甲类功率放大器	(231)
7.3.2 单电源互补对称功率放大器	(233)
7.3.3 场效应管功率放大器	(234)
7.3.4 集成功率放大器	(235)
习题	(236)
第8章 差动放大器	(239)
8.1 直接耦合多级放大器	(239)
8.2 基本差动放大器	(240)
8.2.1 基本 BJT 差动放大器的结构及工作原理	(240)
8.2.2 基本 BJT 差动放大器的分析计算	(240)
8.2.3 基本 BJT 差动放大器的传输特性	(243)
8.3 电流源电路	(244)
8.3.1 镜像电流源	(245)
8.3.2 Wilson 电流源	(245)
8.3.3 Widlar 电流源	(246)
8.3.4 具有多路输出的电流源	(247)
8.4 含电流源的差动放大器	(248)
习题	(250)
第9章 集成运算放大器应用	(253)
9.1 集成运算放大器简介	(253)
9.1.1 集成运算放大器的组成	(253)
9.1.2 实际集成运算放大器的参数	(253)
9.1.3 理想集成运算放大器	(254)
9.2 运算电路	(255)
9.2.1 比例运算	(255)
9.2.2 加法运算	(256)
9.2.3 减法运算	(258)
9.2.4 积分运算	(260)

9.2.5	微分运算	(260)
9.2.6	对数运算	(261)
9.2.7	指数运算	(261)
9.3	比较器与信号发生器	(262)
9.3.1	单限比较器	(262)
9.3.2	迟滞比较器	(262)
9.3.3	RC 桥式振荡器	(263)
9.3.4	方波发生器	(264)
9.4	有源滤波器	(265)
9.4.1	低通滤波器	(265)
9.4.2	高通滤波器	(266)
	习题	(266)
第 10 章	正弦波振荡器	(270)
10.1	反馈振荡原理	(270)
10.1.1	反馈振荡过程	(270)
10.1.2	反馈振荡电路的判断方法	(271)
10.1.3	振荡器的频率稳定度	(272)
10.2	LC 振荡器	(273)
10.2.1	互感耦合振荡器	(273)
10.2.2	三点式振荡器	(273)
10.3	石英晶体振荡器	(277)
10.3.1	石英晶体的特性	(277)
10.3.2	石英晶体振荡器	(278)
10.4	压控振荡器	(280)
	习题	(281)
	参考文献	(283)

第 1 篇

电路理论基础

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

第 2 章 电阻电路的分析方法

第 3 章 动态电路

第 4 章 正弦稳态电路

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

在电路分析中,需要将实际电路等效为电路模型,以便于分析和计算,因此本章首先介绍电路模型,然后介绍电路中的理想化元器件:电阻、电容、电感和电源,以及两个基本定律:欧姆定律和基尔霍夫定律。

1.1 电路和电路模型

实际电路是由电气器件相互连接而构成的。这里的电气器件泛指实际的电路部件,如电阻、变压器、电容、电感线圈、晶体管等等。随着电流的流过,电路将其他形式的能量转换成了电能,或者完成了电能的传输和分配,或者把电能转换成所需要的其他形式的能量。以电力系统为例,发电厂的发电机组把热能或原子能或机械能等转换成电能,通过变压器、输电线等输送给各用户终端,用户端又把电能转换成机械能、光能、热能等。这就构成了一个极为复杂的电路或系统。人们把供给电能的设备称为电源,而把用电设备称为负载。

电路的另一个重要作用是信号处理。例如,收音机或电视机的调谐电路用来选择所需要的信号。由于通过调谐电路直接收到的信号很微弱,所以需要在调谐电路后面加入放大电路来放大信号。调谐电路和放大电路的作用就是处理输入信号使之成为所需要的输出信号。

电路理论主要研究电路中发生的电磁现象,而用电流、电荷、电压或磁通等物理量来描述其中的过程。电路理论的目标是计算电路中各器件的端电流和端子间的电压,而一般不涉及器件内部发生的物理过程。电路理论中有一个重要的假设:当构成电路的器件以及电路本身的尺寸远小于电路工作的电磁波的波长,或者说电磁波通过电路的时间可以认为是瞬时的,则电磁场理论和实践均证明在任意时刻流入各器件任一端子的电流和任两个端子间的电压都是单值的量。在这种近似条件下,可用足以反映其电磁性质的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。这种理想电路元件称为集总参数元件。理想电路元件是具有某种确定的电磁性质的假象元件。它是一种理想化的模型并具有精确的数学意义。在电路理论中人们用抽象的理想元件及其组合近似地代替实际的器件,从而构成了与实际电路相对的电路模型。实际电路中各器件的端子是通过导线相互连接起来的,而在电路模型中各理想元件的端子是用“理想导线”联系起来的。通常所说的电路分析就是对理想元件构成的电路模型进行分析。

日常生活中的照明电路、手机电路、数码相机电路及电脑电路,都是实际电路。它由 3 部分组成:①提供电能的能源,简称电源;②用电装置,统称其为负载,它将电能转换为其他形式的能量;③中间环节,即连接电源和负载的部分。最简单的中间环节就是导线和开关,起到传输和分配电能或对电信号进行传递和处理的作用。电源、负载、中间环节是任何实际电路都不可缺少的 3 个组成部分。

实验室或电子仪器中使用的各式各样的电阻、电容、线圈、晶体管等,一般都可以用电

路元件及它们的组合来模拟，但两者之间不完全等同。通常在特定工作条件下，根据实际器件的主要物理功能，可按不同的精确度用电路元件及它们的组合来予以模拟。例如人们通常将一个非理想的电感等效为一个理想电感和一个电阻的串联，而把一个非理想的电容等效为一个理想电容和一个电阻的并联。

将实际电路中各个部件用其模型符号表示而画出的图形称电路模型图。图 1-1 (a) 是一个简化的照明电路，图 1-1 (b) 是其电路模型图。

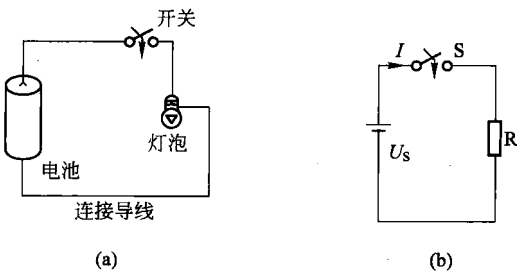


图 1-1 实际电路与电路模型的图

电路中常用的电路元件符号如表 1-1 所示。

表 1-1 常用电路符号

名称	符号	名称	符号
交叉并连接		电容	
理想开关		电感	
接地点		独立电压源	
电阻		独立电流源	
可变电阻		受控电压源	
非线性电阻		受控电流源	

本书中所说的电路在没有特别说明的情况下，均指由理想电路元件构成的电路模型，同时将理想电路元件一律简称为电路元件。

1.2 元件的电流、电压及功率

1.2.1 电流及其参考方向

在电场作用下，带电粒子有规则的运动形成电流，电流的方向规定为正电荷运动的方向，电流的大小用 i 表示。电流定义为单位时间内通过导体横截面的电量。即

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

式中, dq 是时间 dt 内通过导体横截面的电荷量。当电荷量的单位为 C (库仑), 时间的单位为 s (秒) 时, 电流 i 的单位为 A (安)。常用的电流的单位还有 mA (毫安)、 μA (微安), 它们之间的关系是

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

如果电流的大小和方向均不随时间变化而变化, 这种电流称为恒定电流, 简称直流电流。直流电流通常用大写字母 I 表示, 此时式 (1-1) 可改写为

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

式中, q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

电路中的电流既有大小又有方向。有时对某段电路中电流的实际方向很难预先判断出来, 有时电流的实际方向是不断变化的, 因此很难在电路中标明电流的实际方向。由于这些原因, 引入了电流“参考方向”的概念。即在电路选定某一个方向作为电流的方向, 这个方向叫做电流的参考方向。若电流的参考方向与其实际方向一致, 则电流为正, 即 $i > 0$; 若电流的参考方向与其实际方向相反, 则电流为负, 即 $i < 0$ 。这样在指定的电流参考方向下, 电流的正和负, 就可以反映出电流的实际方向。

电流的参考方向是任意指定的, 在电路用箭头表示。也有用下标表示的, 如 i_{AB} , 其参考方向是由 A 指向 B。图 1-2 中流过电阻 R 的电流方向即可用箭头表示也可用 i 的下标表示。



图 1-2 电流方向的表示

1.2.2 电压及其参考方向

在电场力的作用下, 单位正电荷由 a 点移动到 b 点电场力所做的功就是 a 、 b 两点之间的电压, 即

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

式中, w 为正电荷 q 由 a 点移动到 b 点电场力所做的功, 单位为 J (焦耳), 电压 u_{ab} 的单位为 V (伏特)。在弱电电路中, 电压的电位也常用 mV (毫伏) 和 μV (微伏) 表示, 它们之间的换算关系为

$$1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \mu\text{V}$$

直流电压通常用大写字母 U 来表示。

电场力将单位正电荷从电场内的 a 点移动至无穷远处所做的功, 称为 a 点的电位 u_a 。由于无穷远处的电场为零, 所以无穷远点的电位也为零。因此, 电场内 a 、 b 两点之间的电位差, 也就是 a 、 b 两点间的电压。即

$$u_{ab} = u_a - u_b \quad (1-4)$$

为分析方便起见, 可在电路中任选一点为参考点, 令参考点电位为零, 则电路中某点相对于参考点的电压就是该点的电位。

两点之间的电压的方向可任意指定, 指定的电压方向称为参考方向。当电压的参考方向

与实际方向一致时,电压为正,即 $u > 0$; 当电压的参考方向与实际方向相反时,电压为负,即 $u < 0$ 。

电压的参考方向可以用正“+”、负“-”极性来表示,正极指向负极的方向就是电压的参考方向,如图 1-3 所示;有时为了图示方便,也用箭头来表示电压的参考方向,如图 1-3 中实线箭头所示;还可以双下标表示,如 u_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压的参考方向由 A 指向 B,如图 1-3 中虚线箭头所示。

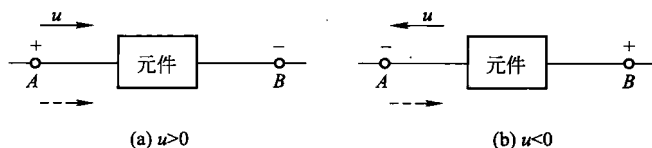


图 1-3 电压的参考方向

1.2.3 电压、电流的关联参考方向

在分析电路时,既要为通过元件的电流假设参考方向,也要为元件两端的电压假设参考方向,彼此间可以是无关地任意假定。但为了方便起见,通常会采用关联参考方向,即电流从电压的“+”极流向“-”极,如图 1-4 所示;反之为非关联参考方向,即电流从电压的“-”极流向“+”极,如图 1-5 所示。

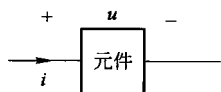


图 1-4 u 、 i 关联参考方向

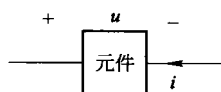


图 1-5 u 、 i 非关联参考方向

1.2.4 电功率和能量

电路在工作状况下伴随有电能与其他形式能量的相互交换。另外,电气设备、电路部件本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流或电压是否超过额定值,过载会使设备或部件损坏,或是不能正常工作。因此,除了电压和电流两个基本物理量外,还需要知道电路元件的功率。电路中,单位时间内电路元件的能量变化用功率表示,即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-5)$$

功率 p 单位为 W (瓦特)。将式 (1-5) 等号右边分子、分母同乘以 dq 后,变为

$$p = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} \quad (1-6)$$

将式 (1-1) 和式 (1-3) 代入式 (1-6), 得

$$p = ui \quad (1-7)$$

即元件吸收或发出的功率等于元件上的电压与电流之积,式 (1-7) 中电压 u 和电流 i 为关联参考方向。对直流电路,上式可表示为

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

注意：当 u 、 i 为关联参考方向时， $p=ui$ ；当 u 、 i 为非关联参考方向时， $p=-ui$ 。若计算结果 $p>0$ ，说明该元件吸收或消耗功率；若计算结果 $p<0$ ，说明该元件发出功率。

当已知元件的功率为 p 时，其 t 秒内消耗的电能为

$$W(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^t u(\tau) i(\tau) d\tau \quad (1-9)$$

电能 W 的单位为 J (焦耳)。在电工中，直接用瓦特秒 ($W \cdot s$) 作单位。在实际中，常用千瓦时 ($kW \cdot h$) 作单位。 $1 kW \cdot h = 3\,600\,000 W \cdot s$ 。

【例 1-1】 已知图 1-4 中元件两端的电压为 $U=10 V$ ， $I=-1 A$ ；图 1-5 中元件两端的电压为 $U=-10 V$ ， $I=1 A$ 。试确定元件是吸收功率还是发出功率。

解：

(1) 对于图 1-4， U 和 I 为关联参考方向，因此

$$P=UI=10 \times (-1) = -10(W) < 0$$

即元件发出功率，且发出的功率为 $10 W$ 。

(2) 对于图 1-5， U 和 I 为非关联参考方向，因此

$$P=-UI=-(-10) \times 1 = 10(W) > 0$$

即元件吸收功率，且吸收的功率为 $10 W$ 。

1.3 电路元件

如前所述，实际电路通常用电路模型来表示。因此，对电路进行分析和计算，首先必须掌握这些元件模型的性质。本节将介绍几种常见的理想元件。

1.3.1 电阻元件

在金属导体中，自由电子在向前运动时，会与形成晶格的正离子发生碰撞，使电子运动受到阻碍，即导体对电流呈现一定的阻碍作用。这种阻碍作用称为电阻，用字母 R 来表示。

导体的电阻值 R 与导体的长度 l 成正比，与导体的横截面积 S 成反比，并与材料的导电性能有关，用公式表示为

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (1-10)$$

其中 ρ 是电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ ， l 是导体的长度，单位为 m ， S 是导体的横截面积，单位为 m^2 。

电阻率 ρ 是单位长度单位截面积的导体的电阻值。 ρ 越大，物质的导电能力就越差。另外，金属导体的电阻率还受温度的影响，一般的金属导体，温度越高，电阻率越大。不同的材料，有不同的电阻率。例如，银的电阻率较小，是最好的导电材料之一，其次是铜和铝，但银的价格昂贵，因此除非必要，否则采用铜和铝作为导线或构成其他导电元件。

电阻的倒数称为电导，用 G 表示，单位为 S (西 [门子])

$$G = \sigma \cdot \frac{S}{l} \quad (1-11)$$