

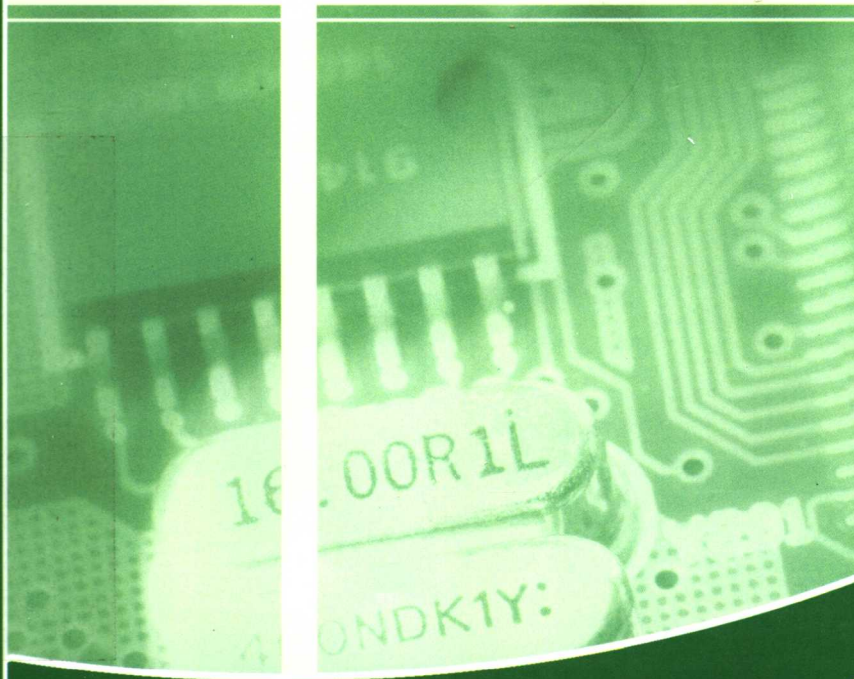
· 高等院校技术基础课系列教材 ·



电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

◎ 刘建萍 / 高玉良 / 黄元峰 主编 吴麟章 主审



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

TM/119

2007

高等院校技术基础课系列教材

电工电子技术

主 编	刘建萍	高玉良	黄元峰
副主编	刘晓静	李继林	刘 焰
参 编	林双喜	常秀莲	
主 审	吴麟章		

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/刘建萍 高玉良 黄元峰 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2007 年 8 月

ISBN 978-7-5609-4141-7

I. 电… II. ①刘… ②高… ③黄… III. ①电工技术-高等学校-教材 ②电子技术-高等学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 130888 号

电工电子技术

刘建萍 高玉良 黄元峰 主编

责任编辑:张毅 曾光

封面设计:刘卉

责任校对:陈骏

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:荆州市今印印务有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:23

字数:512 000

版次:2007 年 8 月第 1 版

印次:2007 年 8 月第 1 次印刷

定价:32.50 元

ISBN 978-7-5609-4141-7/TM·90

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

本书是依据教育部电工学课程指导组拟定的电工、电子技术系列课程教学基本要求,从21世纪人才培养的要求出发,结合多所高校教师多年的教学改革成果编写而成的。

电工电子学(电工学)是高等院校工科重要的技术基础课,随着科学技术的不断发展,课程教学内容的不断扩大,各学校教学计划和培养计划的修订,课程的学时也在不断压缩,造成了内容多与学时少之间矛盾的加剧。另一方面,由于电工电子技术教学对象的多样化,各个专业在教学中的要求不尽相同。为解决上述问题,在编写过程中,编者认真总结多年教学经验,学习参考了国内外同类和相关教材和著作,以培养学生分析问题和解决问题能力,提高学生素质为目标,注重基本概念、基本原理、基本方法的论述,使学生既能掌握好基础,又能启发思考、开拓视野。

与本书配套的有《电工电子技术疑难指导与习题全解》、《电工电子技术实验指导》。

本书的第1、2章由刘晓静编写,第3、4章由刘建萍编写,第5章由林双喜编写,第9、10章由李继林编写,第6、7章由高玉良编写,第8章由刘焰、常秀莲编写,第11、12章由黄元峰编写。

本书由湖北工业大学吴麟章教授审阅,并提出了宝贵的修改意见。在此向吴麟章教授表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编者

2007年6月于武汉

目 录

第 1 章 电路的基本定律与基本分析方法	(1)
1.1 电路的组成及基本物理量	(1)
电路的基本物理量及其参考方向	(2)
1.2 电路的基本元件	(5)
1.2.1 电阻、电容和电感元件	(5)
1.2.2 电压源	(8)
1.2.3 电流源	(8)
1.3 电路的基本定律	(10)
1.3.1 欧姆定律	(10)
1.3.2 基尔霍夫定律	(10)
1.4 基本元件的串联与并联	(13)
1.4.1 R 、 C 、 L 的串联、并联	(13)
1.4.2 电压源、电流源的串联、并联	(15)
1.5 电路的三种基本工作状态	(17)
1.5.1 有载工作状态	(17)
1.5.2 开路状态	(18)
1.5.3 短路状态	(18)
1.5.4 电位的计算	(18)
1.6 电路的基本分析方法	(20)
1.6.1 支路电流法	(21)
1.6.2 结点电压法	(22)
1.6.3 叠加原理	(24)
1.6.4 电压源与电流源的等效转换	(26)
1.6.5 等效电源定理	(26)
1.6.6 非线性电阻电路的分析	(29)
1.6.7 受控源*	(31)
习题 1	(32)
第 2 章 正弦交流电路	(35)
2.1 正弦交流电的基本概念	(35)
2.1.1 正弦交流电的概念	(35)
2.1.2 正弦量的三要素	(35)
2.2 正弦量的相量表示法	(38)

2 电工电子技术

2.2.1 复数及四则运算	(38)
2.2.2 正弦量的相量表示法	(41)
2.3 单一参数的正弦交流电路	(43)
2.3.1 电阻元件的正弦交流电路	(43)
2.3.2 电感元件的正弦交流电路	(44)
2.3.3 电容元件的正弦交流电路	(47)
2.4 RLC 串联、并联交流电路	(49)
2.4.1 基尔霍夫定律的相量形式	(49)
2.4.2 RLC 串联交流电路	(50)
2.4.3 RLC 并联交流电路	(53)
2.5 阻抗的串联与并联	(54)
2.5.1 阻抗的串联	(54)
2.5.2 阻抗的并联	(55)
2.6 电路中的谐振	(57)
2.6.1 串联谐振	(57)
2.6.2 并联谐振	(60)
2.7 功率因数的提高	(62)
2.7.1 提高功率因数的意义	(62)
2.7.2 提高功率因数的方法	(62)
2.8 正弦交流电路的频率特性	(64)
2.8.1 低通滤波电路	(65)
2.8.2 高通滤波电路	(66)
2.8.3 带通滤波电路	(66)
习题 2	(68)
第 3 章 三相电路	(70)
3.1 三相电源	(70)
3.1.1 三相电压的产生	(70)
3.1.2 三相对称电源的主要特征	(71)
3.2 三相对称负载电路	(73)
3.2.1 负载作星形联结的三相四线制电路(Y_0-Y_0)	(73)
3.2.2 负载作三角形联结的三相三线制电路($Y-\Delta$)	(75)
3.3 三相不对称负载电路	(77)
3.3.1 三相不对称负载作“ Δ ”联结的三相电路	(77)
3.3.2 三相不对称负载作“Y”联结的三相电路	(78)
3.3.3 三相不对称负载作“ Y_0 ”联结的三相电路	(78)
3.4 安全用电	(79)
3.4.1 电流对人体的危害	(79)
3.4.2 常见的触电方式	(80)
3.4.3 常用的安全措施	(80)

习题 3	(81)
第 4 章 线性电路的暂态分析	(83)
4.1 暂态分析的基本概念	(83)
4.2 换路定则	(85)
4.3 一阶线性电路的响应	(87)
4.3.1 一阶线性电路的零输入响应	(88)
4.3.2 一阶线性电路的零状态响应	(91)
4.3.3 一阶电路的全响应	(95)
4.4 一阶线性电路暂态分析的三要素法	(97)
4.5 微分电路与积分电路	(100)
4.5.1 矩形脉冲信号	(100)
4.5.2 微分电路	(100)
4.5.3 积分电路	(101)
习题 4	(103)
第 5 章 磁路及基本应用	(106)
5.1 磁路的基本概念	(106)
5.1.1 磁场的基本物理量	(106)
5.1.2 磁性材料的主要性能	(107)
5.1.3 磁路基本定律	(109)
5.1.4 交流磁路	(111)
5.2 变压器	(113)
5.2.1 变压器基本结构	(113)
5.2.2 变压器的工作原理	(114)
5.2.3 变压器的基本应用	(117)
5.3 电动机	(120)
5.3.1 三相异步电动机	(120)
5.3.2 单相异步电动机	(126)
5.4 继电接触控制系统	(128)
5.4.1 基本控制器件	(128)
5.4.2 基本控制电路	(132)
习题 5	(137)
第 6 章 半导体二极管与直流稳压电源	(139)
6.1 半导体基础知识	(139)
6.1.1 本征半导体	(139)
6.1.2 杂质半导体	(140)
6.1.3 PN 结	(141)
6.2 半导体二极管	(143)
6.2.1 二极管的结构与特性	(143)
6.2.2 二极管的主要参数	(144)

6.3 二极管应用电路	(145)
6.3.1 开关电路	(145)
6.3.2 限幅电路	(146)
6.3.3 整流电路	(147)
6.4 特殊二极管	(148)
6.4.1 稳压二极管	(148)
6.4.2 变容二极管	(150)
6.4.3 光电二极管	(150)
6.4.4 发光二极管	(150)
6.5 直流稳压电源	(151)
6.5.1 滤波电路	(151)
6.5.2 稳压电路	(153)
习题6	(155)
第7章 三极管与交流放大电路	(157)
7.1 三极管	(157)
7.1.1 三极管的结构与电流放大原理	(157)
7.1.2 三极管的特性曲线	(159)
7.1.3 三极管的微变等效电路	(161)
7.1.4 三极管的主要参数	(163)
7.2 共射放大电路	(164)
7.2.1 放大电路的基本概念	(164)
7.2.2 共射放大电路的组成及工作原理	(165)
7.3 放大电路的基本分析法	(166)
7.3.1 放大电路的静态分析	(167)
7.3.2 放大电路的动态分析	(168)
7.4 静态工作点的稳定	(173)
7.5 共集放大电路	(176)
7.6 功率放大电路	(178)
7.6.1 功率放大电路概述	(178)
7.6.2 互补对称放大电路	(180)
7.6.3 集成功率放大器	(182)
7.7 多级放大电路	(183)
7.7.1 多级放大电路的耦合	(184)
7.7.2 多级放大电路的动态分析	(185)
7.8 差动放大电路	(187)
7.8.1 差动放大电路的工作原理	(187)
7.8.2 典型差动放大电路	(188)
7.8.3 恒流源式的差动放大电路	(190)
7.9 场效应晶体管及其放大电路	(192)

7.9.1 绝缘栅场效应晶体管	(192)
7.9.2 场效应晶体管的主要参数及微变等效电路	(194)
7.9.3 场效应晶体管放大电路	(195)
习题 7	(199)
第 8 章 集成运算放大电路及其应用	(202)
8.1 集成运算放大电路	(202)
8.1.1 集成运放的组成	(202)
8.1.2 集成运放的主要参数与分类	(203)
8.1.3 理想运放及特点	(206)
8.2 放大电路中的负反馈	(208)
8.2.1 反馈的基本概念和分类	(208)
8.2.2 负反馈对放大电路性能的影响	(210)
8.3 集成运放在信号运算方面的应用	(213)
8.3.1 比例运算电路	(214)
8.3.2 加法运算电路	(215)
8.3.3 减法运算电路	(215)
8.3.4 积分和微分运算电路	(217)
8.4 集成运放在信号处理电路中的应用	(219)
8.4.1 有源滤波器	(219)
8.4.2 电压比较器	(223)
8.5 集成运放在信号产生电路中的应用	(227)
8.5.1 产生正弦振荡的条件	(227)
8.5.2 RC 正弦振荡电路	(228)
8.5.3 矩形波产生电路	(230)
8.5.4 三角波产生电路	(231)
习题 8	(232)
第 9 章 门电路和组合逻辑电路	(236)
9.1 基本门电路及其组合	(236)
9.1.1 逻辑状态的表示	(237)
9.1.2 基本逻辑门电路	(237)
9.1.3 基本逻辑门电路的组合	(240)
9.2 TTL 门电路	(242)
9.2.1 TTL 与非门电路	(242)
9.2.2 三态输出与非门电路	(244)
9.2.3 集电极开路与非门电路	(245)
9.3 CMOS 门电路	(246)
9.3.1 CMOS 非门电路	(247)
9.3.2 CMOS 与非门电路	(247)
9.3.3 CMOS 或非门电路	(248)

6 电工电子技术

9.3.4 CMOS 传输门电路 *	(248)
9.4 逻辑代数	(249)
9.4.1 逻辑代数的基本定律	(249)
9.4.2 逻辑函数的表示方法	(250)
9.4.3 逻辑函数的化简	(252)
9.5 组合逻辑电路的分析和设计	(254)
9.5.1 组合逻辑电路的分析	(254)
9.5.2 组合逻辑电路的设计	(256)
9.6 常用组合逻辑功能器件	(258)
9.6.1 加法器	(258)
9.6.2 编码器	(261)
9.6.3 译码器和数字显示电路	(264)
9.6.4 数据选择器和数据分配器	(269)
习题 9	(272)
第 10 章 触发器和时序逻辑电路	(275)
10.1 双稳态触发器	(275)
10.1.1 RS 触发器	(275)
10.1.2 JK 触发器	(278)
10.1.3 D 触发器	(281)
10.1.4 T 触发器	(282)
10.2 寄存器	(284)
10.2.1 数码寄存器	(284)
10.2.2 移位寄存器	(285)
10.3 计数器	(287)
10.3.1 二进制计数器	(287)
10.3.2 十进制计数器	(291)
10.3.3 任意进制计数器	(294)
10.4 555 定时器及其应用	(295)
10.4.1 555 定时器	(296)
10.4.2 555 定时器的应用	(297)
习题 10	(301)
第 11 章 存储器和可编程逻辑器件	(305)
11.1 只读存储器	(305)
11.1.1 ROM 的结构	(305)
11.1.2 ROM 的工作原理	(306)
11.1.3 ROM 的分类	(308)
11.1.4 ROM 的应用	(309)
11.2 随机存取存储器	(311)
11.2.1 RAM 的结构	(311)

11.2.2 RAM 容量的扩展	(313)
11.3 可编程逻辑器件	(314)
11.3.1 PLD 的结构、内部电路表示方法	(315)
11.3.2 PLD 的分类及特点	(316)
11.3.3 PROM 及其应用	(317)
11.3.4 PLA 及其应用	(318)
11.3.5 PAL 及其应用	(319)
11.3.6 GAL 及其应用	(321)
习题 11	(323)
第 12 章 模/数和数/模转换技术	(325)
12.1 数/模转换器	(325)
12.1.1 倒 T 型电阻网络数/模转换器	(325)
12.1.2 数/模转换器的主要技术指标	(327)
12.1.3 集成数/模转换器及其应用	(328)
12.2 模/数转换器	(331)
12.2.1 模/数转换的一般步骤及采样定理	(331)
12.2.2 逐次逼近型模/数转换器	(332)
12.2.3 模/数转换器的主要技术指标	(334)
12.2.4 集成模/数转换器及其应用	(335)
习题 12	(337)
参考答案	(339)
参考文献	(357)

第 1 章

电路的基本定律与基本分析方法

本章首先讨论电路中的物理量及其参考方向、基尔霍夫定律、电路的三种基本工作状态以及电路基本器件,这些内容是分析与计算电路的基础。其次讨论电路的基本原理和分析方法。通过上述内容的学习,学生应能根据电路的结构特点,运用这些定理简化电路,分析与计算电路中的有关物理量。

1.1 电路的组成及基本物理量

电路,简单地说就是电流流通的路径。它是由某些电气设备、元件按一定方式用导线联结而成的。电路的作用是实现能量的输送与转换,或者信号的传递和处理。组成电路的元器件及其联结方式虽然多种多样,但都包含电源(信号源)、负载和中间环节这三个基本组成部分。

电源是将其他形式能量转换为电能的装置,例如,蓄电池、发电机和信号源。它们可将化学能、机械能、水能、原子能等能量转换为电能。

负载是将电能转换成非电形态能量的用电设备,例如,电动机、照明灯、电炉等。它们可将电能转换成机械能、光能和热能。

中间环节包括联结导线、控制开关和保护装置等,主要起传输、控制、分配与保护作用。

例如,一种最简单的电路——手电筒电路就由这三部分构成,电池是电源部分,灯泡就是负载,手电筒的金属外壳和按键就是中间环节。

再举一个常见的例子——扩音机,其电路示意图如图 1-1-1 所示。先由话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流,它们就是电信号。而后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于话筒输出的电信



图 1-1-1 扩音机电路示意图

号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间还要用放大器来放大电信号。在图 1-1-1 中,话筒是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与上述的发电机、电池等电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律取决于所加的信息。扬声器是接受和转换信号的设备,也就是负载。

电路的基本物理量及其参考方向

电路中涉及的物理量主要有电流、电压、电动势、电位和功率,在进行电路的分析和计算时,需要知道电压和电流的方向。关于电压和电流的方向,有实际方向和参考方向之分,要加以区别。

1. 电流

电流是由带电粒子有规则的定向运动而形成的,其大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。随时间的变化而变化的电流是交流电,用小写字母 i 表示;不随时间的变化而变化的电流是直流电,用大写字母 I 表示。

在国际单位制中,电流这个物理量的单位是安培(库仑/秒),简称安,用大写字母 A 表示。另外还有毫安(mA)、微安(μA),它们的换算关系如下。

$$1 A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

既然电流是由带电粒子有规则的定向运动而形成的,那么电流就是一个既有大小、又有方向的物理量。

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的实际方向。

因为电流的实际方向可能是未知的,也可能是随时间变动的,所以有必要指定电流的参考方向。图 1-1-2 表示一个电路的一部分,其中的长方框表示一个二端元件。流过这个元件的电流为 i ,其实际方向或是由 A 到 B ,或是由 B 到 A 。在该图中用实线箭头表示电流的参考方向,它不一定就是电流的实际方向。如果电流 i 的实际方向是由 A 到 B ,如图 1-1-2(a)中虚线箭头所示,它与参考方向一致,则电流为正值,即 $i > 0$ 。在图 1-1-2(b)中,指定电流的参考方向由 B 到 A (见实线箭头),如果电流的实际方向是由 A 到 B (见虚线箭头),两者不一致,故电流为负值,即 $i < 0$ 。这样,在指定的电流参考方向下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。

所以,今后在分析与计算电路时,都要在电路中标出有关支路电流的参考方向。这样,最后计算出来的电流值的正负才有意义。

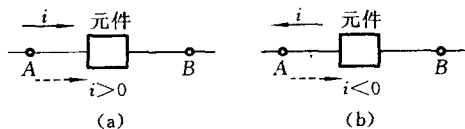


图 1-1-2 电流的参考方向

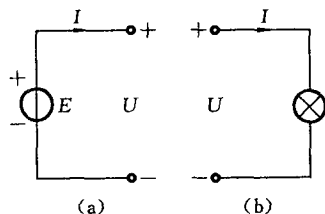


图 1-1-3 关联参考方向

2. 电压与电动势

电压这个物理量,是用来表示电场力移动电荷做功本领的。 a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} ,在数值上就等于电场力将单位正电荷从点 a 移到点 b 所做的功。电动势是用来表示电源移动电荷做功本领的物理量。电源的电动势 E_{ab} ,在数值上等于电源把单位正电荷从负极 b (低电位)经由电源内部移到电源的正极 a (高电位)所做的功。电源的符号如图 1-1-3(a)

所示。

在国际单位制中,电压和电动势的单位都是伏特(焦耳/库仑),简称伏,用大写字母 V 表示。另外还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV),它们的换算关系如下。

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \mu V$$

电压的实际方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即为电位降低的方向。电源电动势的实际方向规定为在电池内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即为电位升高的方向。与电流一样,在较为复杂的电路中,往往无法先确定它们的实际方向(或者极性)。因此,在电路图上所标出的也都是电动势和电压的参考方向。若参考方向与实际方向一致,则其值为正;若参考方向与实际方向相反,则其值为负。

原则上参考方向是可以任意选择的,但是在分析某一个电路元件的电压与电流的关系时,需要将它们联系起来选择,这样设定的参考方向称为关联参考方向。今后在单独分析电源或负载的电压与电流关系时,选用图 1-1-3(a)、(b)所示的关联参考方向,其中负载中电流的参考方向是由电压参考方向所假定的由高电位流向低电位的,符合这一规定的参考方向称为关联参考正方向。电源中电压的参考方向与电动势参考方向相反,电流的参考方向是由电压或电动势的参考方向所假定的由低电位经电源内部流向高电位的。

3. 电位

在分析和计算电路时,特别是在电子技术中,常常将电路中的某一点选作参考点,并规定其电位为零。于是电路中其他任何一点与参考点之间的电压便是该点的电位。在同一电路中,如果选择的参考点不同,各点的电位值会随着改变,但是任意两点之间的电压值是不变的。所以各点的电位高低是相对的,而两点间的电压值是绝对的。

原则上,参考点可以任意选择,但为了统一起见,工程上常选大地为参考点。机壳需要接地的设备,可以把机壳选作电位的参考点。有些电子设备,机壳虽不一定接地,但为分析方便起见,可以把它们当中元件汇集的公共端或公共线选作参考点,也称为“地”,在电路图中用“ $\perp$ ”表示。

【例 1-1】 求图 1-1-4 所示电路中开关 S 闭合和断开两种情况下 a 、 b 、 c 三点的电位。

【解】 当开关 S 闭合时, $U_a = 6 \text{ V}$, $U_b = -3 \text{ V}$, $U_c = 0 \text{ V}$ 。

当开关 S 断开时,点 a 的电位不变, $U_a = 6 \text{ V}$ 。

因为电路中无电流流过电阻 R , $U_b = U_a = 6 \text{ V}$ 。

点 c 的电位比点 b 电位高 3 V , $U_c = (6 + 3) \text{ V} = 9 \text{ V}$ 。

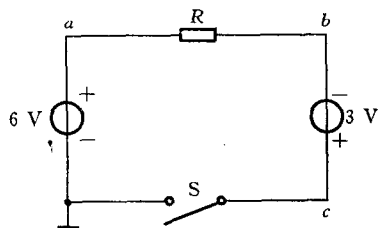


图 1-1-4 例 1-1 图

4. 功率

在电路的分析和计算中,功率的计算是十分重要的。这是因为一方面电路在工作状态下总伴随有电能与其他形式能量的相互交换;另一方面,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值或电压值是否超过额定值,超载会使设备或部件损坏,或不能正常工作。

功率是能量转换的速率,电路中任何元件的功率 P ,都可用元件的端电压 U 和其中的电流 I 相乘求得。

不过,在写表达式求解功率时,要注意 U 与 I 的参考方向是否一致。

若 U 与 I 的参考方向一致,则 $P=UI$ (1-1-1)

若 U 与 I 的参考方向相反,则 $P=-UI$ (1-1-2)

另外, U 和 I 的值还有正负之分。当把 U 和 I 的值代入上列两式去计算后,所得的功率也会有正负的不同。功率的正负表示了元件在电路中的作用不同。若功率为正值,则表明该元件在电路中是负载,将电能转换成了其他的能量,电流流过该元件时是电场力做功;若功率是负值,则表明该元件在电路中是电源,将其他形式的能量转换成电能,电流流过该元件时是电源力做功。

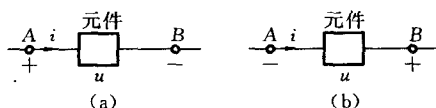


图 1-1-5 元件的功率

在图 1-1-5 中,已知某元件两端的电压 u 为 5 V,点 A 电位高于点 B 电位,电流 i 的实际方向为自点 A 到点 B,其值为 2 A,在图 1-1-5(a)中 u 和 i 为关联参考方向, u 、 i 表示瞬时电压和电流,瞬时功率 $p=(5 \times 2) \text{ W}=10 \text{ W}$ 为正值,此元件吸收的功率为

10 W。如果指定的 u 和 i 的参考方向为非关联参考方向,如图 1-1-5(b)所示,则此时 $u=-5 \text{ V}$, $i=2 \text{ A}$,瞬时功率 $p=-ui=[-(-5) \times 2] \text{ W}=10 \text{ W}$,所以此元件还是吸收了 10 W 的功率,与图 1-1-5(a)求得的结果一致。

在同一个电路中,发出的功率和吸收的功率在数值上是相等的,这就是电路的功率平衡。

在国际单位中,功率的单位是瓦特(焦耳/秒),简称瓦,用大写字母 W 表示,还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等单位。它们的换算关系如下

$$1 \text{ kW}=10^3 \text{ W}=10^6 \text{ mW}$$

思考与练习

1.1.1 求如图 1-1-6 所示的电路中开关 S 闭合和断开两种情况下 a、b、c 三点的电位。

1.1.2 一个电源的功率,也可用其电动势 E 和电流 I 相乘求得。试说明采用此方法计算的电源功率的正负值的意义。

1.1.3 求如图 1-1-7 所示电路中通过恒压源的电流 I_1 、 I_2 及其功率,并说明其是起电源作用还是起负载作用。

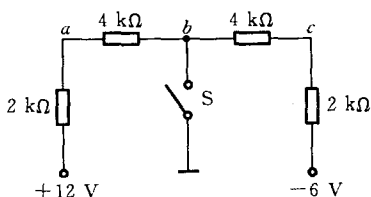


图 1-1-6 思考与练习 1.1.1 图

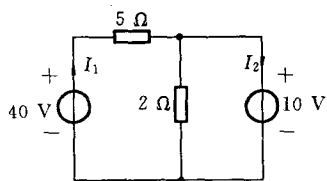


图 1-1-7 思考与练习 1.1.3 图

1.2 电路的基本元件

电路元件是电路中最基本的组成单元。电阻元件、电容元件、电感元件都是组成电路模型的理想元件。电阻、电容和电感这三个名词既代表了三种理想的电路元件,又是表征它们量值大小的参数。电源是任何电路中都不可缺少的重要组成部分,它是电路中电能的来源。实际电源有电池、发电机、信号源等。电压源和电流源是从实际电源抽象得到的电路模型。

1.2.1 电阻、电容和电感元件

1. 电阻元件

电阻是表征电路中电能消耗的理想元件。一个电阻器有电流通过后,若只考虑它的热效应,忽略它的磁效应,即成为一个理想电阻元件。电阻元件的图形符号如图 1-2-1 所示。图中电压和电流都用小写字母表示,表示它们可以是任意波形的电压和电流。图 1-2-1 中, u 和 i 的参考方向相同,根据欧姆定律得出

$$i = \frac{u}{R} \text{ 或 } R = \frac{u}{i}$$

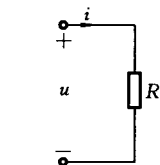


图 1-2-1 电阻元件

即电阻元件上的电压与通过的电流成线性关系,两者的比值是一个大于零的常数,称为这一部分电路的电阻,单位是欧姆(Ω)。

在直流电路中,电阻的电压与电流的乘积即为电功率,单位是瓦(W)。

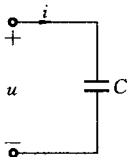
$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

在 t 时间内消耗的电能为 $W = Pt$ 。

W 的单位是焦[耳](J),工程上电能的计量单位为千瓦·小时($\text{kW} \cdot \text{h}$),1 千瓦·小时即 1 度,度与焦的换算关系为 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。这些电能或变成热能散失于周围的空间,或转换成其他形态的能量做有用功了。因此,电阻消耗电能的过程是不可逆的能量转换过程。

2. 电容元件

电容是用来表征电路中电场能储存这一物理性质的理想元件。图 1-2-2 所示是一电容器,当电路中有电容器存在时,电容器极板(由绝缘材料隔开的两个金属导体)上会聚集起等量异号电荷。电压 u 越高,聚集的电荷 q 就越多,产生的电场越强,储存的电场能就越多。 q 与 u 的比值为



$$C = \frac{q}{u}$$

图 1-2-2 电容元件

式中, q 的单位为库[仑](C); u 的单位为伏[特](V); C 称为电容,单位为法[拉](F)。由于法[拉]的单位太大,工程上多用微法(μF)或皮

法(pF),它们的换算关系为 $1\mu\text{F}=10^{-6}\text{pF}$, $1\text{pF}=10^{-12}\text{F}$ 。

当极板上的电荷量 q 或电压 u 发生变化时,在电路中就要引起电流流过。其大小为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-2-1)$$

式(1-2-1)是在 u 和 i 的参考方向相同的情况下得出的,否则要加负号。

当电容器两端加恒定电压时,则由式(1-2-1)可知 $i=0$,电容元件相当于开路。将式(1-2-1)两边积分,便可得出电容元件上的电压与电路中电流的一种关系式,即

$$u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i dt + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = u_0 + \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1-2-2)$$

式(1-2-2)中, u_0 是初始值,即在 $t=0$ 时电容元件上的电压。若 $u_0=0$ 或 $q_0=0$,则

$$u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1-2-3)$$

如将式(1-2-3)两边乘上 u ,并积分之,则得

$$\int_0^t u i dt = \int_0^t C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-2-4)$$

这说明当电容元件上的电压增加时,电场能量增大,在此过程中,电容元件从电源取用能量(充电),式(1-2-4)中的 $\frac{1}{2} C u^2$ 就是电容元件极板间的电场能量。当电压降低时,则电场能量减小,即电容元件向电源放还能量(放电)。

一般的电容器除了有储能作用外,也会消耗一部分电能,这时,电容器模型就必须是电容元件和电阻元件的组合,由于电容器消耗的电功率与所加的电压直接相关,因此其模型应是两者的并联组合。

3. 电感元件

电感是用来表征电路中磁场能储存这一物理性质的理想元件。例如,当电路中有电感器(线圈)存在时,电流通过线圈会产生比较集中的磁场,因而必须考虑磁场能储存的影响。

在图 1-2-3(a)中,设线圈的匝数为 N ,电流 i 通过线圈而产生的磁通为 Φ ,两者的乘积 ($\psi=N\Phi$) 称为线圈的磁链,它与电流的比值 $L=\frac{\psi}{i}$ 称为电感器(线圈)的电感。式中, ψ 和 Φ 的单位为韦[伯](Wb); i 的单位为安[培](A); L 的单位为亨[利](H)。

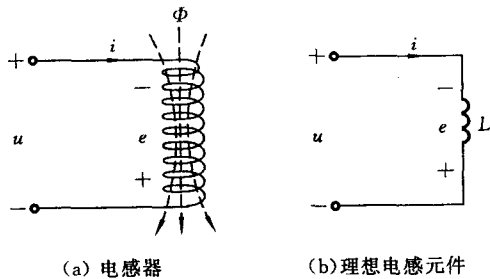


图 1-2-3 电感元件

如果线圈的电阻很小,则可以忽略不计,该线圈便可用图 1-2-3(b)所示的理想电感元件来代替。当线圈中的电流变化时,磁通和磁链将随之变化,将会在线圈中产生感应电动