



高等学校适用教材

电工技术

DIANGONG JISHU

主编 高福华

机械工业出版社

内 容 提 要

本套教材是为适应教学和科技发展新形势的需要编写而成的,分《电工技术》、《电子技术》两册出版。

《电工技术》共十章,分别是:电路模型和电路的基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相电路、电路的频域分析、电路的时域分析、铁心线圈与变压器、电动机、电动机的继电器—接触器控制、电工测量。每章均有小结、习题。本书符号一律采用新的国家标准,并附有常用电工元器件的图形符号和文字代号新旧对照表以及常用电工元器件的技术数据和部分习题答案。

本书的主要读者对象是非电专业的大学生,亦可作为工程技术人员系统学习《电工技术》的参考书。

电 工 技 术

高福华主编

*

责任编辑:蔡耀辉 周玉德

版式设计:金艳君

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里1号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

吉林工业大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本787×1092 1/16·印张17·字数400千字

1989年12月北京第一版·1989年12月长春第一次印刷

印数0,001—5,000·定价:4.98元

*

ISBN7-111-02277-7/TM·306(X)

前 言

《电工技术》这本教材是在机械电子工业部部属高等院校《电工技术》、《电子技术》课程协作组组织与领导下编写的,并得到机电部高教司的支持与关怀。自1979年以来,协作组每年举行一次学术年会,在每次年会上都把教材建设放在很重要的地位。本书编写的指导思想、教材内容的取舍以及完整体系的建立都是由协作组组织各院校经过多次研讨与反复审校后确定的。学术年会也邀请许多部外高等院校的同行教师参加。因此,本书实际上是在协作组组织与领导下,机电部部内30余所高等院校及部外许多高等院校《电工技术》教师多年教学经验的集体成果。

《电工技术》是一门重要的技术基础课。本书是按70学时类型编写的。其使用对象以非电专业的大学生为主,亦可供工程技术人员学习使用。

本着“精选内容、打好基础、加强实验、培养能力”的精神,我们把教材的重心放在基本理论、方法、概念和电工元器件的外部特性及其使用知识等方面,并适当提高了起点,避免和物理学不必要的重复。在电工理论部分突出了激励、响应、频域、时域等概念。为了兼顾不同专业的需要,尽量接近工程实际并反映科技发展的新形势。书中内容除覆盖了国家教委委托中国《电工学》课程教学指导小组主持制定的《电工技术》的基本要求外,又增添了一些选修内容,如拉氏变换及运算法、直流电动机、控制电机、可编程序控制器(PC机)等。这些内容均用仿体排印并在标题上打*号标示,教学时可根据需要选用。本书的图形符号和文字代号全部采用新的国家标准。

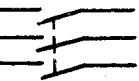
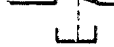
全书共十章,讲授与实验的比例约为5:2。第一、二、三章由太原机械学院刘朝阳编写;第四章由海军航空工程学院杨德增编写;第五章由长春精密光学机械学院李秀芬编写;第六、七章由吉林工业大学高福华编写;第八章§8-1~§8-5、第九章§9-1~§9-4由广东机械学院唐本元编写;第八章§8-6~§8-15和第十章由广东机械学院黎峻天编写;第九章§9-5由广西大学林小峰与唐本元编写,林小峰同志还组编了新旧电气图形符号与文字代号的对照图表。全书由高福华担任主编。书中第一、二、三章分别由山东纺织工学院向国菊、武汉工学院李中年和广西大学易明炽审校、修改,最后由高福华、罗会昌定稿。参加本书审稿的还有北京机械工业管理学院毕绍光、沈阳工业大学范振铨、太原重型机械学院卢焕健、吉林工业大学杨今才、周玉德等同志。全书由安徽工学院罗会昌担任主审。主审和审稿诸同志认真审阅书稿并提出了许多宝贵建议,编者在此表示诚挚的感谢。本书插图全部由朱瑞华同志完成,李桃、常文秀、陆吉文等同志为本书的编辑出版做了不少工作,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,不妥和错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

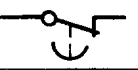
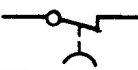
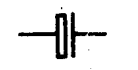
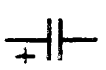
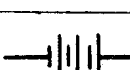
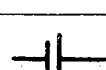
编 者

1989年11月

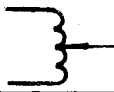
新旧图形符号与文字代号对照表

名称	旧符号与文字代号		新符号与文字代号	
普通刀开关		K		S
三相刀开关		K		S
起动按钮		QA		SB
停止按钮		TA		SB
接触器 动合触点		C		KM
接触器 动断触点		C		KM
继电器 动合触点		J		KA
继电器 动断触点		J		KA
限位开关 动合触点		XK		S
限位开关 动断触点		XK		S
热继电器 动合触点		RJ		FR
热继电器 动断触点		RJ		FR
延时闭合 动合触点		SJ		KT

续上表

延时断开 动合触点		SJ		KT
延时闭合 动断触点		SJ		KT
延时断开 动断触点		SJ		
日光灯启动器				
电度表				PJ
理想 电流源		I_s		I_s
理想 电压源		$V_s E$		$U_s E$
受控 电流源				
受控 电压源				
电解电容器		C		C
原 电 池 或 蓄 电 池		E		GB
熔断器		RD		FU

续上表

交流电源		e_s		$u_s \quad e_s$
脉冲变压器 互感器		MB LH		TP TA
自耦变压器		B		TS
三相鼠笼式 异步电动机		YD		M
直流电动机		D		M
直流测速 发电机		F		BR
三相绕线转子 异步电动机				M
步进电动机				M

目 录

前 言

新旧图形符号与文字代号对照表

第一章 电路模型和电路的基本定律

.....	1
§ 1-1 电路、系统和电路的模型	1
.....	1
一、电路与系统的概念	1
二、电路模型	2
§ 1-2 电流、电压的参考方向和功率的计算	2
.....	2
一、电流、电压的参考方向	2
二、功率的计算	4
§ 1-3 电阻、电感和电容	6
.....	6
一、电阻	6
二、电感	7
三、电容	10
§ 1-4 电压源和电流源	12
.....	12
一、电压源	13
二、电流源	13
§ 1-5 受控源	16
§ 1-6 基尔霍夫定律	17
.....	17
一、基尔霍夫电流定律	17
二、基尔霍夫电压定律	18
§ 1-7 电路中电位的计算	20
.....	20
小 结	21
习 题	22

第二章 电路的分析方法

.....	26
§ 2-1 电压源与电流源的等效变换	26

§ 2-2 支路电流法	28
§ 2-3 弥尔曼定理	29
§ 2-4 叠加原理	32
§ 2-5 戴维南定理和诺顿定理	34
.....	34
一、戴维南定理	34
二、诺顿定理	36
* § 2-6 Y- Δ 联接的等效变换	37
§ 2-7 非线性电阻电路的分析方法	38
.....	38
一、非线性元件的特性	39
二、非线性电阻电路的图解分析法	39
*三、非线性电阻电路的小信号分析	40
小 结	41
习 题	42
第三章 正弦交流电路	45
§ 3-1 正弦交流电的基本概念	45
.....	45
一、什么是正弦交流电	45
二、正弦量的三要素	46
§ 3-2 正弦量的相量表示法	48
.....	48
一、正弦量的相量表示法	48
二、基尔霍夫定律的相量形式	49
三、正弦量的相量图	50
§ 3-3 理想电阻元件上的正弦响应	51
.....	51
一、伏安关系	51
二、电阻上的功率	51
§ 3-4 理想电感元件上的正弦响应	52
.....	52
一、伏安关系	52
二、电感上的功率	52

§ 3-5 理想电容元件上的正弦 响应	55
一、伏安关系	55
二、电容上的功率	56
§ 3-6 RLC 串联电路的正弦响应	58
一、伏安关系	58
二、功率	60
§ 3-7 复阻抗的计算	62
一、复阻抗串联	62
二、复阻抗并联	63
三、无源单口网络的功率	63
§ 3-8 功率因数的提高	65
§ 3-9 相量图法在电路分析中 的应用	67
§ 3-10 正弦电路计算方法的归 一化	69
小 结	71
习 题	72
第四章 三相电路	76
§ 4-1 三相电源	76
§ 4-2 负载星形联接的三相电路	79
一、对称负载星形联接的三相电路	79
二、不对称负载星形联接的三相电路	81
§ 4-3 负载三角形联接的三相电路	83
一、对称负载三角形联接的三相电路	84
二、不对称负载三角形联接的三相电路	85
§ 4-4 三相电路的功率	86
§ 4-5 安全用电技术	88
一、安全用电常识	88
二、防触电的安全技术	89
三、静电防护与电气防火、防爆常识	90
小 结	90

习 题	91
第五章 电路的频域分析	93
§ 5-1 RC 电路的频域分析	93
§ 5-2 谐振电路	97
一、串联谐振	97
二、并联谐振	101
§ 5-3 非正弦周期信号的谐波分析	102
一、非正弦周期函数的合成与分解	102
二、周期函数的频谱	106
三、非正弦周期量的有效值和平均值	106
四、非正弦周期电路的计算	107
小 结	110
习 题	111
第六章 电路的时域分析	113
§ 6-1 概述	113
一、时域响应的概念	113
二、稳态与暂态	113
三、暂态过程的产生	114
四、换路定律	114
五、时域分析的意义及方法	116
§ 6-2 RC 电路的时域分析	117
一、零输入响应	117
二、零状态响应	119
三、完全响应及其两种分解方式	120
四、解算时域响应的步骤	122
§ 6-3 求解一阶电路的三要素法	124
§ 6-4 RC 串联电路对矩形波电压 的响应	125
一、尖顶脉冲的产生——微分电路	126
二、锯齿波电压的产生——积分电路	127
三、脉冲序列分析	127

§ 6-5 RL 串联电路的时域响应	129
一、 RL 串联电路的零输入响应	129
二、 RL 串联电路的零状态响应	130
§ 6-6 拉普拉斯变换	133
一、拉普拉斯变换的定义	134
二、几个简单函数的拉氏变换	134
三、拉氏变换的几个基本定理	135
四、拉普拉斯反变换	137
§ 6-7 运算法	139
一、电阻运算电路	139
二、电感运算电路	139
三、电容运算电路	140
四、 RLC 串联电路的运算电路	140
五、基尔霍夫定律的运算形式	141
小 结	145
习 题	147
第七章 铁心线圈与变压器	151
§ 7-1 全电流定律和磁路的欧姆定律	151
一、全电流定律	151
二、磁路的欧姆定律	152
三、铁磁物质的磁化曲线	152
四、磁路与电路的比较	153
§ 7-2 直流铁心线圈	154
§ 7-3 交流铁心线圈	155
一、各物理量间的关系	156
二、铁心中的能量损失	158
§ 7-4 变压器	159
一、变压器的构造	160
二、变压器的工作原理	161
三、变压器的外特性与额定值	164
四、变压器的损耗与效率	164
五、变压器绕组的极性及其测定	165
六、其他类型的变压器	166
§ 7-5 电磁铁	167
小 结	169

习 题	170
第八章 电动机	173
§ 8-1 概述	173
§ 8-2 三相异步电动机的构造	173
一、定子	174
二、转子	174
三、气隙	175
§ 8-3 三相异步电动机的工作原理	175
一、旋转磁场	175
二、转动原理	177
§ 8-4 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	178
一、电磁转矩	178
二、机械特性	180
§ 8-5 三相异步电动机的使用	182
一、铭牌	182
二、起动	183
三、调速	186
四、反转	188
五、制动	188
* § 8-6 直流电动机的结构、工作原理和分类	189
一、结构	189
二、工作原理	190
三、分类	190
* § 8-7 他励直流电动机的机械特性	190
§ 8-8 他励直流电动机的起动、调速与反转	191
一、起动与调速	191
二、反转	194
* § 8-9 他励直流电动机的制动	194
一、电机的可逆性原理	194
二、制动方法	195
* § 8-10 直流电动机的型号与铭牌	196
§ 8-11 选择电动机的原则	196
一、类型的选择	196
二、结构型式的选择	196
三、转速的选择	197
四、容量的选择	197

* § 8-12 单相电动机	199
一、单相异步电动机	199
二、电容分相式单相异步电动机	200
三、串励整流子电动机	201
* § 8-13 伺服电动机	202
一、交流伺服电动机	202
二、直流伺服电动机	203
三、伺服电动机的应用	203
* § 8-14 直流测速发电机	204
一、工作原理	204
二、应用	205
* § 8-15 步进电动机	205
一、三相反应式步进电动机的结构	205
二、三相反应式步进电动机的工作原理	206
三、步进电动机的应用	207
小 结	207
习 题	209
第九章 电动机的继电器-接触器控制	212
§ 9-1 常用电器及电器元件的图形符号及文字代号	212
一、常用电器	212
二、电气图形符号及文字代号	215
§ 9-2 电动机的基本控制环节和保护环节	216
一、基本控制环节	216
二、基本保护环节	218
§ 9-3 电动机的基本控制原则	219
一、行程控制原则	219
二、时间控制原则	220
三、速度控制原则	222
§ 9-4 控制线路的阅读要点	223
* § 9-5 可编程序控制器	223
一、PC 的结构原理	224
二、程序编制	226
三、PC 应用举例	229
小 结	231
习 题	232

第十章 电工测量	234
§ 10-1 基本知识	234
一、指示仪表的分类	234
二、指示仪表的误差、准确度(级别)和灵敏度	234
三、指示仪表的表面标记符号	236
§ 10-2 磁电式测量机构和直流电流、直流电压的测量	237
一、磁电式测量机构	237
二、直流电流的测量	238
三、直流电压的测量	238
§ 10-3 电磁式测量机构和交流电流、交流电压的测量	238
一、电磁式测量机构	238
二、交流电流的测量	239
三、交流电压的测量	239
§ 10-4 万用表	240
一、万用表的原理	240
二、万用表的正确使用	240
§ 10-5 电动式测量机构和功率的测量	242
一、电动式测量机构	242
二、单相电功率的测量	243
三、三相交流电路的功率测量	244
§ 10-6 电阻、电感和电容的测量	245
一、导体电阻的测量	245
二、绝缘电阻的测量	245
§ 10-7 电感和电容的测量	247
一、交流电桥的结构及工作原理	247
二、用交流电桥测量电容	248
三、用交流电桥测量电感	248
小 结	249
习 题	249
附 表	250
习题部分答案	254

第一章 电路模型和电路的基本定律

本书电路理论部分的侧重点是电路分析的基本方法。为了系统地分析各种实际电路，必须先将实际电路进行科学的抽象化处理，即将实际电路元件用理想电路元件来表示，将实际电路用电路模型来表示。电路理论的任务就是分析电路模型，找出一般性规律。在进行电路分析时，关键所在不是元件内部的物理过程而是其外部特性，即元件端口上的伏安关系和能量关系，以及由元件组成电路整体之后各部分电路间电压、电流和能量间的约束关系。基尔霍夫电流定律（KCL）和电压定律（KVL）是分析电路的基本定律，深入理解这两个定律的内容并熟练掌握各种理想元件的特性，是学好电路分析方法的基础。从电路分析的观点，本章还将引出电流、电压的“参考方向”等一些新的概念。

§ 1-1 电路、系统和电路的模型

一、电路与系统的概念

电路是由若干个电路元件或设备组成的，是能够传输能量、转换能量或者能够采集信息、传递信息、处理信息的有机整体。图1-1a所示的电路能把电能从电源送到灯管而后转换为光能；图1-2为用框图表示的一个复杂电路，能把广播电台发送的无线电信号转换成声音重放出来，这些都是电路的实例。

传输能量或传输信息的区别在于所达到的目的不同。当然，传输信息也伴随着能量的传送，但它以获取信息为主要目的。

电路繁简不一，然而作为电路的基本组成部分则必须具有电源（或信号源）、负载和中间环节。最简单的中间环节是两根联接导线，但图1-2所示的收音

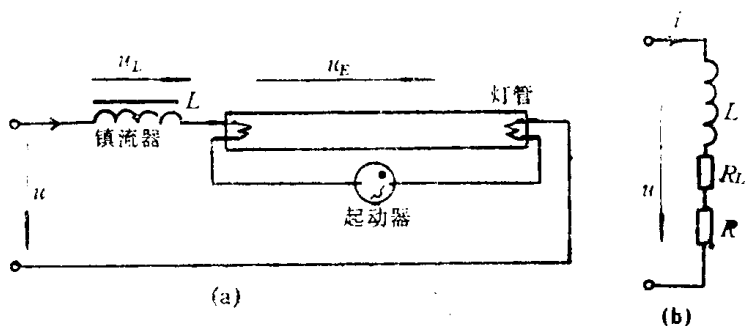


图1-1 日光灯电路图

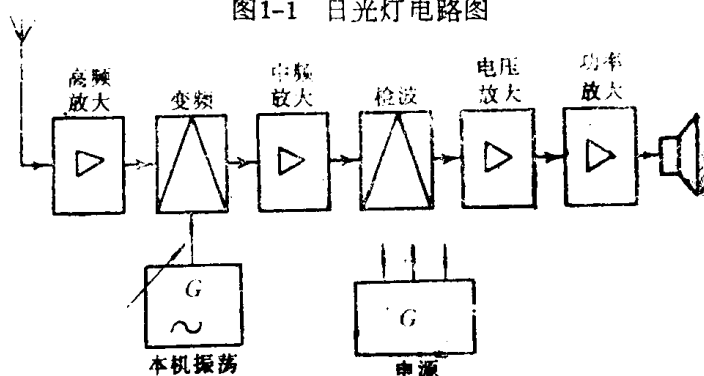


图1-2 半导体收音机电路的框图

机线路，其中环节就比较复杂。

用现代电路理论来分析电路时，常将具有一定功能的电路视为一个系统。从一般的意义上讲，系统是由若干互相关联的单元所组成，并用来达到某种目的的有机整体。例如由发电、输电、配电、用电等多种设备组成的电网可视为一个系统；图1-1a、图1-2所示的电路也可视为系统。

图1-3是利用电桥平衡原理来测量温度的线路图，其中 R_1 、 R_2 为电桥的比例臂， R_s 为标准电阻， R_t 为热敏电阻。当在某一温度下把电桥调节平衡后，如果温度发生变化，则 R_t 的阻值发生变化，电桥失去平衡，在对角线上输出电压信号，这个电压的极性和大小就反映出温度的升降数值。该电路就是一个温度检测系统，也称为信号变换系统，因它能把温度的改变变换成相应的电信号。

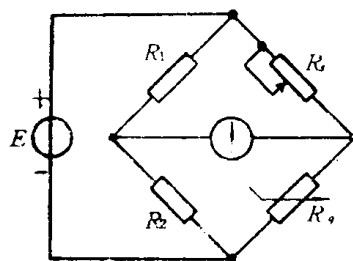


图1-3 用电桥构成的温度检测系统

对一个系统而言，电源（或信号源）的作用称为激励，由激励引起的结果（如某个元件上的电流、电压）称之为响应。激励和响应的关系就是作用和结果的关系，往往对应着输入与输出的关系。一个系统可用图1-4所示的框图来描述，其中的 $e(t)$ 为激励， $r(t)$ 为响应。分析一个系统，就是确定它的响应与激励的关系。

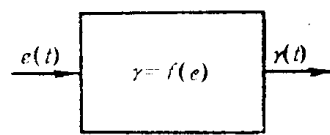


图1-4 系统的框图表示

二、电路模型

电路模型，就是将实际电路中的各种元件按其主要物理性质分别用一些理想电路元件来表示时所构成的电路图。

理想电路元件，就是只反映某一种物理过程的元件。例如，电阻 R 是一种理想电路元件，它只反映电能转换为热能的物理过程。凡是当电流通过某元件发生将电能转换为热能而不伴有别的能量转换时，该元件就可用一个电阻元件 R 来表示。除了理想电阻元件之外，还有理想电感元件 L 、理想电容元件 C 以及理想电压源、理想电流源等。图1-5是它们的电路模型。今后我们所要研究的就是这些理想元件以及由它们组成的电路模型。

例如图1-1中的日光灯电路，就其灯管的性质而言，可用一个电阻 R 来表示，而镇流器接入电路时将发生电能转换为磁场能量及电能转换为热能



图1-5 理想元件的电路模型

两种过程，所以用一个电感 L 和电阻 R_L 的串联来表示。这样就可画出图1-1a日光灯电路的电路模型如图1-1b所示。

由此可见，电路模型就是实际电路的科学抽象，正如研究物体的运动轨迹时把物体作为质点来看一样。采用电路模型来分析电路，不仅使计算过程大为简化，而且能更清晰地反映该电路的物理本质。这种研究问题的方法，实际上早已运用在物理学中了，只

是没有提出“模型”这个概念而已。现在提出来是为了更自觉地运用这种科学方法来解决复杂的实际电路问题。为此，我们一方面将深入地研究物理学中已学过的一些理想电路元件的性质，另一方面还要学习一些新的理想电路元件，如理想电流源、理想受控源等。有了这些基础就可以为更多的实际电路建立模型，如用电流控制电流源来表示一个晶体管；用电压控制电压源来表示运算放大器等等，从而使我们能更好地掌握电路分析的方法。

§ 1-2 电流、电压的参考方向和功率的计算

一、电流、电压的参考方向

电流、电压的方向在物理学中已作过明确的规定，即电路中电流的方向是指正电荷流动的方向，电路中两点之间电压的方向是从高电位指向低电位的方向。图1-6 a 电路中分别标出了电流、电压的方向。

电流、电压的参考方向是人为假设的方向，也称为电流、电压的**正方向**。为了区别起见，我们把物理学中定义的电流、电压的方向称为电流、电压的**实际方向**。

为什么要假设一个电流、电压的参考方向呢？这是因为在分析复杂电路时往往不能预先确定某段电路上电流、电压的实际方向。如图1-6b的电路，在 $E_1 \neq E_2$ 、 $R_{01} \neq R_{02}$ 的情况下是否可以肯定 I_1 、 I_2 都是由电源正极流出的呢？否！不作具体的分析计算是不能给出确切答案的。但是分

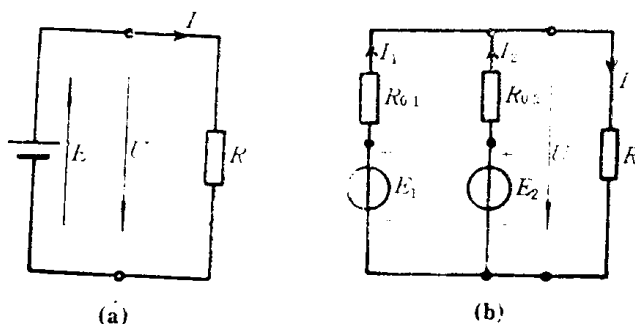


图1-6 U 、 I 、 E 的实际方向与参考方向图

析计算电路又必须以知其电流的方向为先决条件。为解决这一矛盾，就采用事先假设电流的参考方向来解决。在图1-6b电路中所标注的电流 I 、 I_1 、 I_2 及电压 U 的方向就是假设的参考方向。

当按参考方向来分析、计算电路时，得出的电流、电压值可能为正，也可能为负。正值表示所设电流、电压的参考方向与实际方向一致，负值则表示二者方向相反。

一般来说，参考方向的假设完全可以任意的，但应注意：一个具体电路一旦假设了参考方向之后，在电路的整个求解过程中就不允许再作改动。

参考方向除了如图1-6b中用箭头表示的标注方法以外，还可以用“+”“-”号标示。如图1-7中的电源端电动势 E ，其中“+”表示高电位，“-”表示低电位。也可以用给电流、电压加角注的方法来表示，如图1-7中的电压 U ，也可表示为 U_{ba} ，电流 I ，也可表示为 I_{ba} 等等。

当一个元件或一段电路上的**电流、电压参考方向一致时**，则称它们之间有关联的**参考方向**，如图1-8a所示。在分析电路时，尤其是分析电阻、电感、电容等元件上的电

流、电压关系时,经常采用关联参考方向.例如,在图1-8a中,电流和电压间采用了关联的参考方向,这时的端电压为

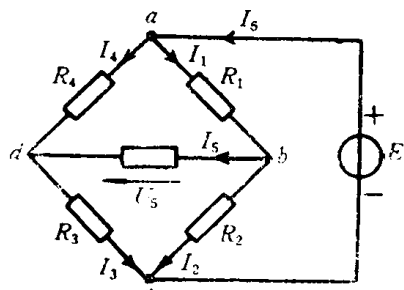


图1-7 参考方向的表示法

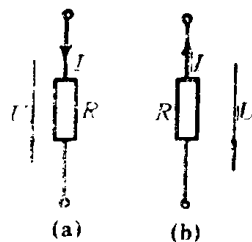


图1-8 参考方向的关联性

$$U=RI$$

若采用关联参考方向,如图1-8b所示的情况,则电阻 R 两端的电压为

$$U=-RI$$

其他物理量如电动势、电位、磁通等,在进行电路分析计算时,也要选定参考方向.

二 功率的计算

从物理学中我们已经知道,一个元件上的电功率等于该元件两端的电压与通过该元件电流的乘积,即

$$P=UI$$

如果电压和电流都是时变量时,则写成

$$p=ui$$

当电压的单位为伏特(V)、电流的单位为安培(A)时,功率的单位为瓦特(W).

元件上的电功率可能为正值,也可能为负值.当元件上电压与电流的实际方向一致时,功率为正,表示该元件吸收功率;二者方向不一致时,功率为负,表示该元件放出功率.但我们进行电路分析时,电流和电压采用的都是参考方向,其中有关联的参考方向,也有非关联的参考方向.在这种情况下,应该怎样确定功率的正负呢?为此,我们作下述规定:

(1) 当电流、电压取关联的参考方向时

$$\left. \begin{aligned} P &= UI \\ p &= ui \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

(2) 当电流、电压取非关联参考方向时

$$\left. \begin{aligned} P &= -UI \\ p &= -ui \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

在此规定下,电流和电压的正负号如实代入公式,当计算结果 $P>0$ (或 $p>0$)时,表示元件吸收功率;反之,当 $P<0$ (或 $p<0$)时,表示元件放出功率.

现在以图1-9所示的蓄电池充电电路为例进行说明.以后在分析与计算电路时,如果不考虑电源的内电阻,电源电动势 E 也可以用端电压 U 表示.

〔例1-1〕 已知蓄电池充电电路(图1-9)中, 电源端电压 $U_s=20\text{V}$, 求当蓄电池端电压 $U_2=12\text{V}$ 时的充电电流 I 和各元件的功率, 设电阻 $R=2\Omega$.

解 首先选定电流参考方向并标于图中, 电路中的电流

$$I = \frac{U_s - U_2}{R} = \frac{20 - 12}{2} = 4\text{A} (> 0)$$

电流为正值, 说明电流参考方向与实际方向一致.

根据前面对计算功率时的规定, 即式(1-1)和式(1-2), 可得

$$\text{电 源 } P_s = -U_s I = -20 \times 4 = -80\text{W} (< 0)$$

$$\text{蓄 电 池 } P_2 = U_2 I = 12 \times 4 = 48\text{W} (> 0)$$

$$\text{电 阻 } P_R = U_R I = (U_s - U_2) I = 8 \times 4 = 32\text{W} (> 0)$$

亦可用 $P_R = I^2 R$ 计算.

计算说明, 电源发出功率, 电阻和蓄电池吸收功率, 即电阻和蓄电池是电路的负载, 这与蓄电池处于充电状态

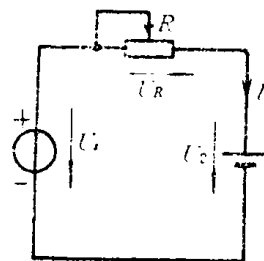


图1-9 例题1-1的电路图

的事实相符合. 对于电阻 R 而言, 因为 $P_R = I^2 R$, 无论电流为正或为负, 均有 $P_R > 0$, 即电阻在电路中永远起吸收功率的负载作用. 若按 $P_R = U_R I$ 计算, 结果也是一样, 因为 $U_R = IR$.

由这个例子还可以看到: 电源发出的功率等于各个负载吸收的功率之和, 即

$$80\text{W} = 48\text{W} + 32\text{W}$$

按照能量守恒定律, 对所有的电路来说, 上述结论均成立, 记为

$$\Sigma P = 0 \quad (1-3)$$

即电路中任一瞬间各元件上功率的代数和均等于零. 式(1-3)称为功率平衡关系式.

式(1-1)和式(1-2)也适用于具有两个出线端的局部电路的功率, 不管所述的局部电路内部有电源和没有电源都正确.

〔例1-2〕 在图1-10所示的电路中, 已知 $U_1=14\text{V}$, $I_1=2\text{A}$, $U_2=10\text{V}$, $I_2=1\text{A}$, $U_3=-4\text{V}$, $I_4=-1\text{A}$, 求各方框电路中的功率, 并说明是吸收功率还是发出功率.

解 直接按式(1-1)、式(1-2)计算功率

$$\text{方框 1 } P_1 = -U_1 I_1 = -14 \times 2 = -28\text{W}$$

$$\text{方框 2 } P_2 = U_2 I_2 = 10 \times 1 = 10\text{W}$$

$$\text{方框 3 } P_3 = -U_3 I_1 = -(-4) \times 2 = 8\text{W}$$

$$\text{方框 4 } P_4 = -U_2 I_4 = -10 \times (-1) = 10\text{W}$$

结果表明, 方框1中所代表的局部电路是发出功率, 其余均为吸收功率.

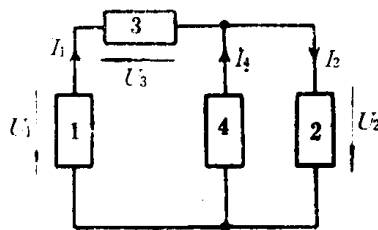


图1-10 例题1-2图

最后, 我们来验算一下是否满足功率平衡

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = (-28) + 10 + 8 + 10 = 0$$

满足 $\Sigma P = 0$, 说明计算结果无误.

验证功率是否平衡是验证计算结果正误的有效方法, 读者应充分利用.

〔练习与思考〕

1-2-1 某白炽灯的电压为220V, 功率是100W, 问电流是多大? 电阻是多大?

1-2-2 一个 $40\text{k}\Omega$ 、1W 的电阻, 使用时至多能加多大的电压? 能允许流过多大的电流?

1-2-3 图 1-6a 中, 如果电流选用非关联参考方向时, 计算结果电流应该是正值还是负值? 这时功率应该怎么计算?

§ 1-3 电阻、电感和电容

电阻 R 、电感 L 和电容 C 是三种理想电路元件, 同时又是电路的三种参数。

电路参数, 就是表示电路元件基本物理性质的物理量。元件的基本物理性质是指当把它们接入电路时, 在元件内部将进行什么样的能量转换过程以及表现在元件外部的特征。从电路分析的角度看, 我们最感兴趣的是元件的外部特性, 而其中最主要的就是元件端钮上的电流、电压关系, 即伏安关系。

一、电阻

电阻有线性电阻和非线性电阻之分, 我们这里只讨论**线性电阻**。

所谓线性电阻, 是指电阻元件的阻值 R 是个常数, 加在该电阻元件两端的电压 u 和通过该元件中的电流 i 之间成正比例, 即

$$u = Ri \quad (1-4)$$

如果在纵坐标上以伏特 (V) 为单位表示电压, 在横坐标上以安培 (A) 为单位表示电流, 则电阻上的电压和通过它的电流之间特性曲线如图 1-11b 所示, 这是一条通过坐标原点的直线, 线性电阻的名称即由此而来。而表示电阻元件电压电流关系的特性曲线就叫做该电阻元件的**伏安特性曲线**。图 1-11c 还画出了一种非线性电阻的伏安特性。

公式 (1-4) 可改写成

$$R = \frac{u}{i} \quad (1-5)$$

这就是**欧姆定律**的公式。就是说, 线性电阻的物理特性是受欧姆定律约束的。从式 (1-4) 或式 (1-5) 中都可看出, 电阻具有限制电流的作用。

电流通过电阻要产生热效应, 即在电阻元件里会发生电能转换成热能的过程。而热能向周围空间散去, 不可能再直接回到电源重新转换为电能。可见, 电阻中的能量转换过程是不可逆的。因此, 电阻是耗能元件。

电阻元件中流过电流时会因为消耗电能而发热。电阻炉、白炽灯、电子电路中的电阻元件以及用

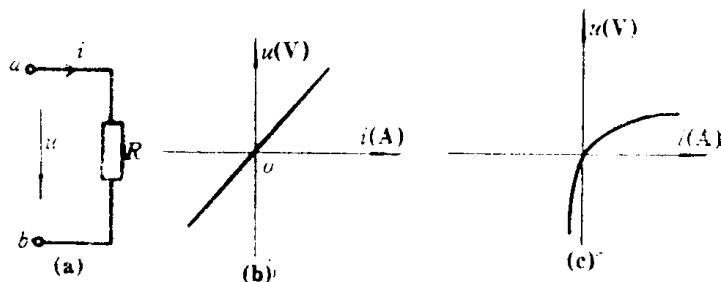


图1-11 电阻元件及其伏安特性曲线

导线(具有一定电阻)绕制而成的变压器、电动机等用电设备或元器件,在使用过程中,如果电流过大,发热使温度过高,就有被烧坏的危险.为了保证它们的正常工作,制造厂都给它们标上了电压、电流或功率的限额,如某电阻炉为220V、1kW等等.这些限额称为额定值,是使用时的根据.

由于电阻元件两端的电压变化时,其中的电流将随之按同样规律变化(反之亦然),故称电阻元件为“即时”元件.图1-12表示当电压 u 作阶跃变化时,电流 i 也随之作阶跃变化的情况.在这里,作阶跃变化的电压、电流称为阶跃电压和阶跃电流.

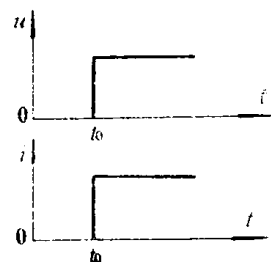


图1-12 线性电阻元件上的阶跃电压和阶跃电流

二、电感

线圈是典型的实际电感元件.当忽略线圈导线中的电阻时,它就成为一个理想的电感元件.

当有电流 i 通过线圈时,线圈中就会建立磁场.设磁通为 ϕ ,线圈匝数为 N ,则与线圈相交链的磁链 ψ 为

$$\psi = N\phi \quad (1-6)$$

磁通 ϕ 与电流 i 之间的方向关系由右手螺旋定则确定,如图1-13所示.在图中还标出了端电压 u 与感应电动势 e_L 的参考方向,其中 u 与 i 为关联参考方向.当电流 i 的参考方向确定后,磁链 ψ (或磁通 ϕ)的参考方向也就确定了. e_L 的参考方向是根据 ψ (或 ϕ)的参考方向确定的, e_L 和 ψ 的参考方向之间规定要符合右手螺旋定则.

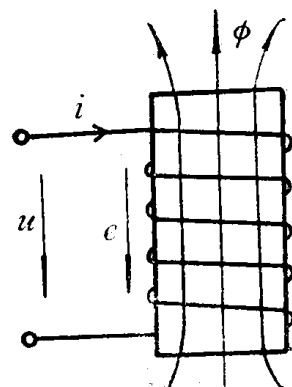


图1-13 电感线圈

电感线圈中的电流与磁链之间的关系用韦安平面上的曲线表示,称为韦安特性.电感 L 定义为

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1-7)$$

L 又称自感系数或电感系数.当 ψ 的单位是韦伯(Wb),电流的单位是安培(A)时,电感 L 的单位是亨利(H).电感反映了电能转换为磁场能,即电流建立磁场的物理本质.

图1-14画出了理想电感元件的电路符号和它的韦安特性曲线,其中 i 、 u 、 e_L 参考方向标注与图1-13的规定一样.图1-14b的韦安特性是一条过原点的直线,具有这种特性的电感元件称为**线性电感元件**,其电感值 L 是个常数,与电感中电流的大小无

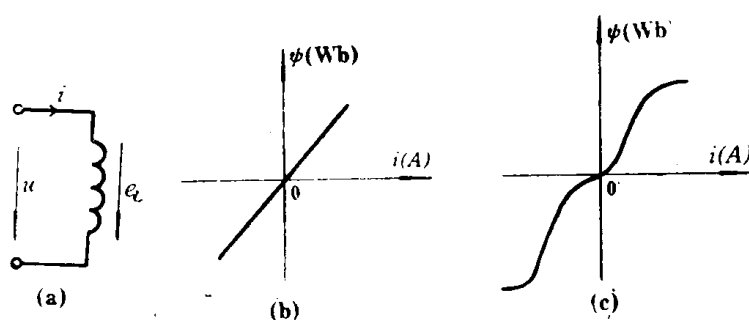


图1-14 电感元件及其韦安特性曲线