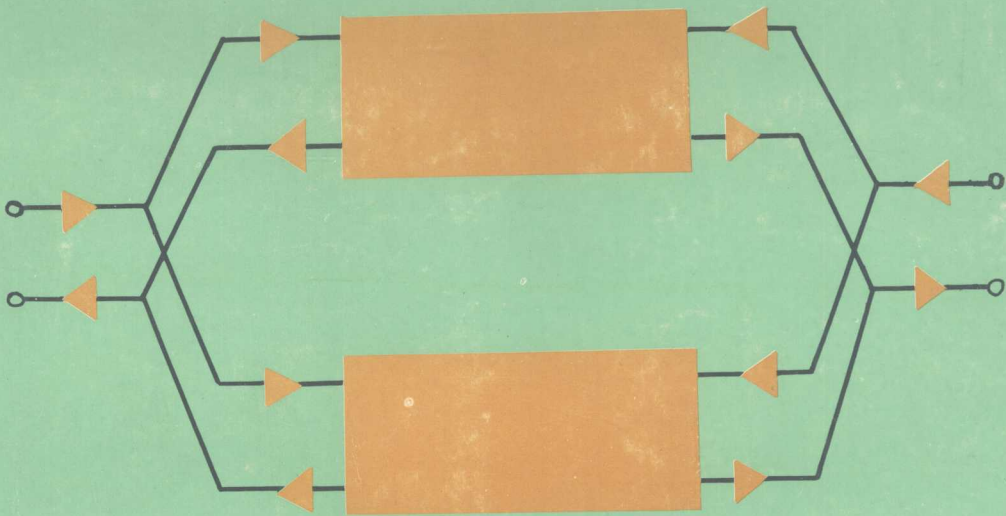


基本电路理论

BASIC CIRCUIT THEORY

薛继汉 顾德隆 译
赵殿礼 赵 红



大连海事大学出版社

BASIC CIRCUIT THEORY

基本电路理论

薛继汉 顾德隆 译
赵殿礼 赵红

大连海事大学出版社

(辽)新登字 11 号

图书在版编目(CIP)数据

基本电路理论/薛继汉等译. —大连:大连海事大学出版社,1995.9

书名原文:Basic Circuit Theory

ISBN 7-5632-0324-9

I. 基…

I. 薛…

Ⅲ. 电路理论—高等学校—教材

IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 10595 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026)

大连海事大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:22.5

字数:520 千 印数:0001~2000

定价:30.80 元

内容简介

本教材是英文版电路教材《Basic Circuit Theory》(大连海运学院出版社 1993.)的中译本,它符合国内现行的由国家教委高校工科电工课程教学指导委员会所制定的“电路课程基本要求”。在教材体系上与邱关源教授主编的教材“电路”(第三版)相近。本书的内容适合于电类各专业电路课程两个学期的电路教学之用,也可作为专业英语教学参考和电路课外阅读参考。

言 前

译者前言

(刘文英)

英文版教材“Basic Circuit Theory”已出版使用三年。由于在编写时注意精选内容,减少篇幅,加强基本概念,学生在学习过程中反映良好,认为此教材既通俗易懂又有足够的深度。后续专业课教师也认为能满足专业的需要。教材的另一特点是在层次上采用积木式结构,只需稍加取舍即可同时满足一学期或两学期的电路课程教学需要,因此可以作为电类有关专业的通用电路教材,广泛使用。

为此,我们特将这本英文版教材译成中文,正式出版,以期成为中英文对照的配套教材。这样做,既有利于英文版教材的推广使用,又有利于专业英语的学习和电路课外阅读的参考。

参加本书翻译的有:薛继汉教授(第十七章~第二十一章)、顾德隆副教授(第一章~第五章)、赵殿礼副教授(第六章~第十二章)、赵红讲师(第十三章~第十六章)。全书由薛继汉教授主译。

由于译者水平所限,缺点和错误恐在所难免,敬请读者批评指正。

译者

一九九五年四月

薛 继 汉
顾 德 隆
赵 殿 礼
赵 红

前 言

(英文版)

为了使大学生在学习专业课程的同时,提高其科技英语阅读能力,大连海事大学从1981年以来采用英文版电路教材进行教学,现已持续十年(前七年采用 W. H. Hayt 编写的“工程电路分析”,后三年采用自编的教材),收到了良好的效果。积十年的教学经验,我们编写了一本新教材“基本电路理论”,现在正式出版。

本教材是根据国内现行“电路课程基本要求”编写的,它既吸收国外多种电路教材之长,又反映了国内电路教材的特点。为了发展和更新电路课程的需要,书中在常规内容的基础上还增加了开关电容电路和电路设计的某些内容。教材在体系上与邱关源主编的“电路”(第三版)相近。

本教材适合电类专业电路课程的教学,也可作为专业英语教材或电路课外阅读参考书。

参加本书编写的有教授薛继汉(第十四章~十八章、廿章)和副教授蒋永春(第一章、第二章、七章~九章)、信毓昌(第十章~十三章、廿一章)、顾德隆(第三章~第六章、十九章)。全书由薛继汉主编,副教授陈宫甫主审。

编 者
一九九二年三月

目 录

第一章 电路基本定律和简单电阻电路	1
§ 1-1 引言	1
§ 1-2 欧姆定律	7
§ 1-3 基尔霍夫定律	8
§ 1-4 电阻和电源的组合	11
§ 1-5 用 Δ -Y变换来简化电路	14
§ 1-6 电源变换	16
§ 1-7 电压和电流分配	18
习 题	19
第二章 电阻电路的一般分析	24
§ 2-1 节点分析	24
§ 2-2 网孔分析	30
§ 2-3 线性和叠加	34
§ 2-4 戴维南定理和诺顿定理	37
§ 2-5 直流情况下的最大功率传输	41
习 题	42
第三章 含运算放大器的电阻电路	48
§ 3-1 运算放大器	48
§ 3-2 含运放电阻电路	50
§ 3-3 电压跟随器(隔离器)	51
§ 3-4 模拟加法和减法	52
习 题	56
第四章 电感和电容	59
§ 4-1 电感器	59
§ 4-2 电容器	64
§ 4-3 电感和电容的组合	67
§ 4-4 * 对偶性	69
§ 4-5 简单电容运放电路	71
习 题	72
第五章 一阶电路	76
§ 5-1 单位阶跃激励函数	76
§ 5-2 无源RL电路	79
§ 5-3 无源RC电路	84

§ 5-4 有源 RL 电路	86
§ 5-5 有源 RC 电路	91
习 题	93
第六章 二阶电路	98
§ 6-1 无源 RLC 并联电路	98
§ 6-2 无源 RLC 串联电路	107
§ 6-3 RLC 电路的全响应	109
习 题	112
第七章 正弦量和相量	115
§ 7-1 正弦量的特征	115
§ 7-2 正弦激励函数的强制响应	116
§ 7-3 电流与电压的有效值	119
§ 7-4 复激励函数	120
§ 7-5 相量	123
§ 7-6 R 、 L 、 C 元件上的相量关系	125
§ 7-7 阻抗	128
§ 7-8 导纳	130
习 题	131
第八章 正弦电路的稳态分析	134
§ 8-1 节点、网孔和回路分析	134
§ 8-2 叠加定理、电源变换和戴维南定理	136
§ 8-3 相量图	137
习 题	139
第九章 功率与功率因数	142
§ 9-1 瞬时功率	142
§ 9-2 平均功率	143
§ 9-3 视在功率与功率因数	146
§ 9-4 复功率	148
§ 9-5 交流情况下的最大功率传输	150
习 题	151
第十章 频率响应	155
§ 10-1 并联谐振	155
§ 10-2 串联谐振	159
§ 10-3 其它谐振电路	161
习 题	167
第十一章 磁耦合电路	169
§ 11-1 互感	169
§ 11-2 线性变压器	173

§ 11-3	理想变压器	175
习 题		180
第十二章	三相电路	183
§ 12-1	三相电压	183
§ 12-2	三相电路的 Y—Y 联接	184
§ 12-3	三角形(Δ)联接	187
§ 12-4	功率表的使用	189
§ 12-5	三相系统的功率测量	191
习 题		195
第十三章	二端口网络	197
§ 13-1	导纳参数	197
§ 13-2	二端口等效网络	201
§ 13-3	阻抗参数	205
§ 13-4	混合参数	207
§ 13-5	传输参数	209
§ 13-6	二端口网络的联接	210
§ 13-7	* 回转器	213
§ 13-8	* 负阻抗变换器(NIC)	214
习 题		215
第十四章	傅里叶波形分析方法	218
§ 14-1	傅里叶三角级数	218
§ 14-2	傅里叶级数的指数形式	220
§ 14-3	波形对称性的应用	221
§ 14-4	线频谱	223
§ 14-5	波形综合	224
§ 14-6	有效值和平均功率	224
§ 14-7	傅里叶级数在电路分析中的应用	225
§ 14-8	傅里叶变换的定义	227
习 题		229
第十五章	拉普拉斯变换法	231
§ 15-1	拉氏变换定义	231
§ 15-2	单位冲激函数	233
§ 15-3	* 在时域中的卷积与电路时域响应	235
§ 15-4	一些简单时间函数的拉氏变换	237
§ 15-5	拉氏变换的几个基本定理	237
§ 15-6	部分分式法	242
§ 15-7	求全响应	244
§ 15-8	传递函数(网络函数) $H(s)$	247

§ 15-9	复频率平面	248
习 题		253
第十六章	网络图论	255
§ 16-1	定义和符号	255
§ 16-2	关联矩阵和基尔霍夫电流定律	257
§ 16-3	回路矩阵和基尔霍夫电压定律	262
§ 16-4	图的各矩阵间的相互关系	265
§ 16-5	特勒根定理	268
习 题		269
第十七章	网络矩阵方程	271
§ 17-1	直接分析法	271
§ 17-2	节点分析法	279
§ 17-3	回路分析法	281
§ 17-4	含受控电源的网络分析	283
§ 17-5	状态变量和标准状态方程	285
§ 17-6	标准型状态方程的列写	287
习 题		290
第十八章	简单非线性电路	292
§ 18-1	非线性元件	292
§ 18-2	简单非线性电阻电路	294
§ 18-3	小信号分析法	296
§ 18-4	将电路分解为线性部分和非线性部分	297
§ 18-5	伏安特性的组合	298
§ 18-6	牛顿-拉夫逊法	302
§ 18-7	一般非线性电阻电路	303
§ 18-8	状态空间分析,相平面	304
§ 18-9	相迹的特性	307
习 题		309
第十九章	* 电路设计	311
§ 19-1	设计过程	311
§ 19-2	简单的无源和有源低通滤波器	312
§ 19-3	带通电路	315
第二十章	* 开关电容电路	318
§ 20-1	MOS 开关	318
§ 20-2	模拟运算	322
§ 20-3	一阶滤波器	324
第二十一章	分布参数电路	326
§ 21-1	引言	326

§ 21-2	传输线分布参数电路的交流稳态运算	328
§ 21-3	无损耗分布参数电路	330
§ 21-4	有损耗传输线的两种特定情况	332
§ 21-5	有限长传输线的分布参数电路	333
§ 21-6	有限长无损耗传输线	336
§ 21-7	终端接任意阻抗的无损耗传输线	339
	习 题	340
附录	部分习题答案	341
	参考书目	349

注:打星号(*)的章节在教学时可以选用。

第一章 电路基本定律和简单电阻电路

在这一章中,我们将定义有源和无源电路的基本模型,说明确定发出和吸收功率的惯例,陈述欧姆定律和基尔霍夫定律,并以各种方式应用它们,确定仅由电阻组成的无源电路的等效电阻值。另外,我们将分析施加电压时的某些完整的电阻电路。

§ 1-1 引言

1. 电路模型

电路一般可分为线性电路和非线性电路。这些术语的完整定义须建立在更精确的数学基础之上。因此,在本课程初期只是直观地使用这些术语,使读者对所涉及的概念能有所了解。所有电路分析理论和定律的绝大多数是以电路理论中的线性模型为基础的,并且本书中的大部分分析计算也基于这种假设。事实上,非线性电路的解析解仅仅在有限的情况下才是可能的。利用将非线性约束条件加以修正后的线性方法,许多非线性电路的分析可以实现。例如,一个精心设计的晶体管放大器在小信号范围内运行时,可以假设成一个线性装置,并使用线性模型来预示它的性能。然而,如果信号值超出了给定限制,线性模型就不再有效。

复杂的线性电路可以表示为两种有源模型和三种无源模型的组合。两种有源模型是(1)理想电压源和(2)理想电流源。三种无源模型是(1)电阻器,(2)电感器和(3)电容器。

图 1-1 说明了两个理想有源装置的模型。理想电压源模型如图(a)所示,并依据(+)和(-)号的存在来辨别之。写成 $v_s(t)$ 是强调这个电压一般是一个时变量。(+)端是假定的正参考端,而(-)端是假定的负参考端。由于它取决于函数 $v_s(t)$,所以并不意味着(+)端总是比(-)端有较高的电位。例如,对某一个时间值,假设 $v_s(t) = -5\text{V}$,负号意指在此特定的时刻正参考端的电位比负参考端低 5V 。

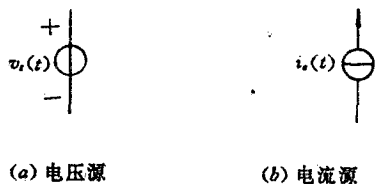


图 1-1 有源电路参数模型。

理想电流源模型如图 1-1(b) 所示,并根据箭头的存在来辨别它。这个箭头表示正的惯用的电流流动方向。写成 $i_s(t)$ 是强调该电流一般是一个时变量,因为它取决于函数 $i_s(t)$,所以并不意味着该电流总是按给定的方向流动。这样,如果 $i_s(t)$ 在某一瞬间是负的,这个电流实际上是向箭头的反方向流动。

理想电压源和理想电流源可以进一步分成独立电源或非独立电源。一个独立理想电源是其指定值(电压或电流)与电路中任何其他变量完全无关。一个非独立电源(也称作受控电源)是其指定值为电路中某一其他变量的函数。

理想独立电压源模型的特征是它的端电压与联接的任何负载或通过它的电流完全无

关。同样地,理想独立电流源模型的特征是其电流与联接的任何负载或跨接在它两端的电压完全无关。一个理想电压源模型维持它开路时所确定的电压,而一个理想独立电流源模型维持它短路时所确定的电流。然而,当把一个理想独立电压源短路或把一个理想独立电流源开路时,矛盾就出现了。这些矛盾是由假定的理想模型所造成的,使用更实际的模型才能解释这些矛盾的现象。本课程中将避免这些情况出现。

像独立电源一样,受控电源可以是电压源或电流源。它既可以由电压也可以由电流来控制。作为受控电源模型有四种不同的组合,在图 1-2 中说明了这些组合。尽管较早的教材中为受控电源模型使用了与独立电源模型相同的圆形符号,但在这里所使用的符号则和当今著作中所采用的一致。现在将简单地讨论这四种形式的每一种。

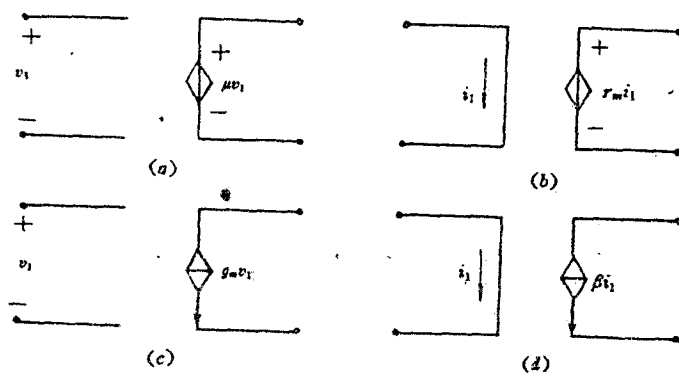


图 1-2 理想受控电源的四种可能的模型。

电压控制电压源(VCVS)的模型如图 1-2(a) 所示。假定一个独立的控制电压存在于某一控制端钮,该电压控制了一个大小为 μv_1 的受控电压。当这个模型表示一个电压放大器时, μ 是无量纲的,它相当于一个电压增益。

电流控制电压源(CCVS)的模型如图 1-2(b) 所示。假定一个独立的控制电流 i_1 通过某一控制端钮,该电流控制了大小为 $r_m i_1$ 的受控电压。受控电压与该控制电流的相关量为 r_m ,其量纲为欧姆,并称为转移电阻。

电压控制电流源(VCCS)的模型如图 1-2(c) 所示。假定一个独立的控制电压存在于某一控制端钮,该电压控制了大小为 $g_m v_1$ 的受控电流。受控电流与该控制电压的相关量为 g_m ,其量纲为西门子,并称为转移电导。

电流控制电流源(CCCS)的模型如图 1-2(d) 所示。假定一个独立的控制电流 i_1 通过某一控制端钮,该电流控制了大小为 βi_1 的受控电流。 β 是无量纲的,当该模型表示一个电流放大器时,它相当于一个电流增益。

第一个无源电路参数是电阻。这个简略的符号如图 1-3(a) 所示。§ 1-2 中将要讨论的欧姆定律确定了电阻中电压 ~ 电流关系。

第二和第三个无源电路参数是电容和电感,电容的符号如图 1-3(b) 所示,电感的简略符号如图 1-3(c) 所示。这两个参数的电压 ~ 电流关系包含了微积分学知识,在第四章中将给予充分推导。

线性电路是根据这三个无源电路参数与电路中的电压和电流大小完全无关的这一事

实来表征的。电阻值随通过它的电流而变的电阻器是非线性元件，电容值为其端电压函数的变容二极管也是一个非线性元件，随通过它的电流而变的电感也是一个非线性元件。

实际上，本书所讨论的大多数参数值将被假定是恒定值，并由此组成线性电路。在线性电路中也具有特定的时变参数值，但在本书中主要涉及恒定参数值。这是多数线性电路中最普遍的情况。

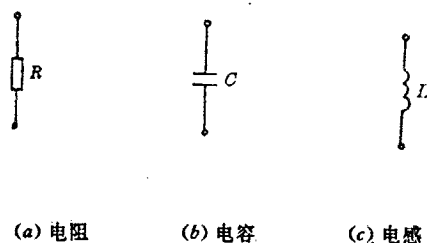


图 1-3 无源电路参数模型。

2. 网络变量

在这部分中，我们将对本文中使用的基本电气变量给予一个简洁的说明。有几个可以用来描述电网络变量的单位制，电气工程师们最普遍使用的一个是 MKS 制，它分别以米、千克和秒作为长度、质量和时间的基本单位。在实际情况中，这些变量的范围可以从很小数值变化到极大的数值。这时，通常采用恰当的 10 的正幂次或负幂次来表示以避免使用大量的零。这样，0.0000035 秒(s) 可较快地看作为 3.5×10^{-6} s。此外，有时重新定义一个单位来代替 10 的倍率因子也是方便的。例如， 3.5×10^{-6} s 就可以表示为 3.5 微秒(μ s)。在表 1-1 中给出了普遍接受的倍率因子、单位相应的前缀及所使用的符号。表中的名称可应用到本课程将涉及的所有网络变量。

表 1-1 网络理论变量常见的倍率因子

倍率因子	前缀名称	符 号
10^{12}	太	T
10^9	吉	G
10^6	兆	M
10^3	千	k
10^{-3}	毫	m
10^{-6}	微	μ
10^{-9}	纳	n
10^{-12}	皮	p

现在，让我们稍详细地考虑一些在学习中所使用的变量。

电 流

当带电质点通过一个已知的二维平面时(例如导体的横截面)，所传递电荷对时间的变化率定义为电流。通常，尤其在固体中，电荷可以由正的带电质点和负的带电质点的运动来传递。在心里记住电流是指净电荷的传递这一事实尤为重要。在 MKS 制中，电流的单位是安培(缩写 A)，它表示每秒传递 1 库仑电荷。我们将使用符号 $i(t)$ 表示电流，根据以上定义，我们看到

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

类似地

$$q(t) = \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau \quad (1-2)$$

能量

能量不能被创造,仅能被转换,这是一个基本公理,称之为能量守恒。电能量可以从许多其他类型的能量生成,例如象化学能(如电池),机械能(如水轮发电机),原子能(如原子核反应堆)等等。能量(或功)的基本 MKS 单位是焦耳(缩写 J)。能量使用的符号是 $w(t)$ 。

电压

如果能量被消耗(如做功)在一些电荷上,功与电荷的比称为电压。例如,电池利用化学作用对带电质点做功,这样,一个电压就出现在它两端。在 MKS 制中,电压的单位是伏特(缩写 V),它等于将 1 焦耳能量付给 1 库仑电荷。换言之,如果要求用 1 焦耳的总能量将总电荷为 1 库仑的带电质点在已知电路中从一点移动到另一点,则在此两点间就产生 1V 的电位差。我们将使用符号 $v(t)$ 来表示电压。

功率

所作的功对时间的变化率定义为功率。功率的 MKS 单位是瓦特(缩写 W),它等于每秒作 1 焦耳的功。我们将使用符号 $p(t)$ 来表示功率。这样,就能量来说,我们看到

$$p(t) = \frac{dw}{dt} \quad (1-3)$$

类似地

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau \quad (1-4)$$

由于 $t = -\infty$ 时的状态条件的表述(作为由上述关系式中积分下限所要求的)总是不太方便,在功率和能量之间另一常见的积分关系是

$$w(t) = w(t_0) + \int_{t_0}^t p(\tau) d\tau \quad (1-5)$$

对使用于本节中其他积分关系中的任一个可以写出类似的表达式。由于电流是传递电荷的时间变化率(dq/dt),并且电压是功与电荷的比率(dw/dq),我们看到电压和电流的乘积是 dw/dt ,即功率。这样,我们可以写出

$$p(t) = v(t)i(t) \quad (1-6)$$

这是在本课程中我们将经常使用的一个关系式。

磁通链

流过一个导体的电流将产生磁力线,它与导体的匝链如图 1-4 所示。磁通链的 MKS 单位是韦伯·匝。这是以韦伯为单位的磁通和该磁通所匝链电路的匝数的乘积。这样,如图 1-5(a) 所示的流过电流 $i(t)$ 的单匝线圈将与图 1-5(b) 所示的流过电流 $\frac{i(t)}{2}$ 的双匝线圈产生相同的磁通链。当一个电路的磁通链变化时(即可用移动电路中的导体使几乎所有的磁力线都被切割,也可用改变磁通量的办法),于是,电路中就感应出一个电压。使用符号 $\psi(t)$ 表示磁通链,磁通链与电压之间的关系是

$$v(t) = \frac{d\psi}{dt} \quad (1-7)$$

相应的积分关系是

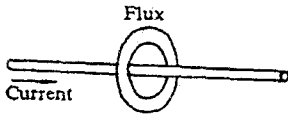


图 1-4 在一个导体中流动的电流所产生的磁力线。

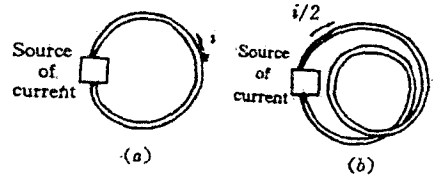


图 1-5 在一个线圈中流动的电流所产生的磁通链。

$$\psi(t) = \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau \quad (1-8)$$

上面两个表达式通常称为法拉第定律。

我们将与本课程有关的基本电气变量概述于表 1-2 中。

表 1-2 基本电气变量

变 量	单 位	缩 写	符 号	关 系 式
电荷	库仑	C	$q(t)$	$q(t) = \int i(t) dt$
电流	安培	A	$i(t)$	$i(t) = \frac{dq}{dt}$
能量	焦耳	J	$w(t)$	$w(t) = \int p(t) dt$
电压	伏特	V	$v(t)$	$v(t) = \frac{d\psi}{dt}$
功率	瓦特	W	$p(t)$	$p(t) = v(t)i(t) = \frac{dw}{dt}$
磁通链	韦伯 - 匝	Wb-turn	$\psi(t)$	$\psi(t) = \int v(t) dt$

3. 参考方向

在上一部分中，我们已定义了将要用于网络研究中的基本电气变量。现在借助于 $q(t)$ 、 $i(t)$ 、 $v(t)$ 等这些时间函数与它们所描述的物理量的联系，我们必须来发展一些惯例。这需要利用参考方向（或参考极性）。在这部分中，我们将更全面地说明这些“标志”意味着什么，并对各种电气变量进行定义。

让我们考虑某一段导体，我们可以定义一个变量 $i(t)$ ，并在此导体附近设置一个参考方向箭头，如图 1-6(a) 所示。如果在一个已知的瞬时，导体中实际净电流的流动是从左到右（负的带电质点的运动为从右到左），如图 1-6(b) 所示，于是，我们说变量 $i(t)$ 在此瞬时为正。类似地，如果在另一已知的瞬时，实际净电流的流动是从右到左，如图 1-6(c) 所示，我们说在此瞬时 $i(t)$ 为负。我们还可以采用相反的观点，并说如果函数 $i(t)$ 在一个已知的瞬时为正，那末这个净电流的流向必然是其参考箭头所指示的方向，如图 1-6(b) 所示，等等。

电压的参考方向

让我们考虑联接到如图 1-7(a) 所示的某一网络的一对端钮。我们可以用如图所示的正和负的参考标志注明这些端钮来定义一个变量 $v(t)$ 。当在一个已知的瞬时，两端钮间的实际电位差是上端比下端有较高的电位，

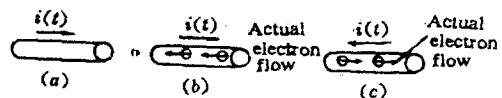


图 1-6 (a) 在一段导体中流动的电流 $i(t)$ 的参考方向。
(b) $i(t) > 0$, (c) $i(t) < 0$ 。

如图 1-7(b) 所示,于是我们说此变量 $v(t)$ 是正的。类似地,如果在一个已知的瞬时,两端钮间的电位差是下端有较高的电位,如图 1-7(c) 所示,于是我们说电压 $v(t)$ 是负的。如果我们从函数 $v(t)$ 本身来考虑,仍然有同样的推理过程,即在任一瞬时,当这个函数为正,则两个端钮相应的极性必然是如图

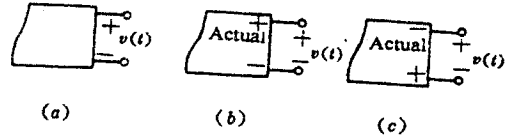


图 1-7 (a) 在一对端钮处电压 $v(t)$ 的参考方向, (b) $v(t) > 0$, (c) $v(t) < 0$ 。

1-7(b) 所示。如果这个函数是负的,则相应的极性必然是如图 1-7(c) 所示。

二端元件参考方向惯例

在本课程中我们将要学习的第一类网络元件是二端网络元件。二端网络元件的一些例子是电阻器,电容器,电感器,二极管,电池,电源等等。在下面几章中,我们还详细地论述这些二端元件的性质。这里,我们仅指出这些元件的多数都涉及两个或更多的网络变量(已在上边作过定义)之间关系的特性。例如,电阻器提供了由欧姆定律所描述的电压与电流之间的关系。这样,我们可以写出

$$v(t) = R \cdot i(t) \quad (1-9)$$

任何这样的元件其关系式中的每个变量都必须具有参考极性,而且,这些相关变量的参考极性的相关方向必须选择得满足变量之间的关系。对于一些二端网络元件,例如电阻器,其关系是由电压和电流变量来确定,并使电压和电流的相关参考方向如图 1-8 所示。正如我们从该图所见到的,电流变量的参考箭头进入电压参考极性“+”号所在的端钮。象电阻器,电感器和电容器这样的二端网络元件通常总是有该图所示的相关参考方向。通常把它们称为关联参考方向。此外,我们将看到,如果没有定义两个相关变量的表达式和没有指明二端元件的类型,那将不必遵循这个惯例。我们将表明这样一种情况会发生在理想电源的场合。

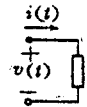


图 1-8 在一对端钮处电压和电流的关联参考方向。

功率的参考极性

我们在上一部分用来定义功率的一个表达式是

$$p(t) = v(t)i(t) \quad (1-10)$$

由于功率是电压和电流这两个变量的函数,确定功率的参考方向必须考虑到两个变量相关的参考方向。让我们研究把两个网络联接于一对端钮上的情况,定义 $v(t)$ 和 $i(t)$ 的参考极性如图 1-9(a) 所示。如果在给定的瞬时, $v(t)$ 和 $i(t)$ 具有使 $p(t)$ 为正的极性,于是,在此瞬间能量将从左边的网络流到右边的网络。这样,我们可以为能量流动的正方向设置一个参考箭头,如图 1-9(b)。类似地,如果能量的实际流动是从右边到左边,如图 1-9(c) 所示,则 $p(t)$ 将是负的。如果在给定的瞬间 $v(t)i(t)$ 的乘积为零,则在两网络间将没有能量传递。注意,这将发生在 $v(t)$ 或 $i(t)$ 为零的情况。还要注意,如果图 1-9(a) 右边所示的网络是一个简单的二端元件,定义 $p(t)$ 的参考方向所使用的 $v(t)$ 和 $i(t)$ 的参考方向将与图 1-8 所示的二端元件所指定的方向是相同的。这样,我们看到,对于一个二端元件,在给定的瞬时, $p(t)$ 的正值指明了能量流入该二端元件。依据二端元件的类型,对于这种能量可能发生两种情况。如果元件是电阻器,流入的能量作为热而被消耗掉。这样,由电阻器吸收的功