



北京市高等教育精品教材立项项目

高等学校通信教材

gaodeng xuexiao tongxin jiaocai

◎ 郑秀珍 编著

DIANLU YU  
XINHAO FENXI

# 电路与 信号分析

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



北京市高等教育精品教材立项项目

高等学校通信教材

# 电路与信号分析

郑秀珍 编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电路与信号分析/郑秀珍编著. —北京:人民邮电出版社, 2005. 6

高等学校通信教材. 北京市高等教育精品教材立项项目

ISBN 7-115-12990-8

I. 电... II. 郑... III. ①电路—高等学校—教材

②信号分析—高等学校—教材 IV. ①TM13②TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 007885 号

## 内 容 提 要

本书为高等学校通信教材。书中比较系统地介绍电路与信号的基本概念、基本理论和基本分析方法。

全书共分 9 章。内容包括基础知识、直流电路及基本分析法、正弦稳态电路分析、互感与变压器电路分析、基本信号及信号的运算、一阶瞬态电路的时域分析、信号的频谱分析——傅里叶分析、瞬态电路的复频域分析、离散时间信号与离散时间系统分析。各章配有大量例题与习题。

本书可作为高等学校通信管理、信息管理、计算机与自动化等专业本科以及通信工程、电子工程与信息技术等专业专科学生学习电路课程的教科书, 还适于电类各专业自学者使用, 亦可供有关技术人员和高校老师参考。

高等学校通信教材

电路与信号分析

- 
- ◆ 编 著 郑秀珍  
策划编辑 滑 玉  
责任编辑 须春美
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
读者热线: 010 - 67170985  
北京顺义振华印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本: 800 × 1000 1/16  
印张: 26.25  
字数: 549 千字 2005 年 6 月第 1 版  
印数: 1-4 000 册 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12990-8 / TN · 2409

定价: 33.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010)67129223

## 编者的话

《电路与信号分析》是在“北京市高等教育精品教材建设项目”立项批准的前提下，在1994年出版发行的原书《电路与信号》基础上进一步去粗取精、充实提高写成的。本书是一本通信管理、信息管理、计算机与自动化等专业本科以及通信工程、电子工程与信息技术等专业专科学学生学习电路课程的教科书，该书还适于电类各专业自学者使用，亦可供有关技术人员、高校教师参考。

本书讨论了电路与信号两方面的基本概念、基本理论和基本分析方法。全书共分为9章，内容包括：基础知识，直流电路及基本分析法，正弦稳态电路分析，互感与变压器电路分析，基本信号及信号的运算，一阶瞬态电路的时域分析，信号的频谱分析——傅里叶分析，瞬态电路的复频域分析，离散时间信号与离散时间系统分析。本课程理论教学约90至100学时，第9章内容可根据不同专业而取舍。

本书在编写过程中，充分考虑读者对象，在内容上力求做到基本理论以必须够用为度，不片面追求理论的严密性，省略了一些不必要的数学推导和证明，而着重体现理论的应用性和针对性；在结构编排上采取了先直流后交流、先稳态后瞬态、先时域后变换域、先连续后离散的特点，使之符合由浅入深、循序渐进的认识规律。全书为配合理论列举了较多的不同类型的例题，以利于学生更好地掌握基本理论和分析方法。不仅每章配置了大量的习题，而且每一节后面均配有针对本节内容的练习题，供学生思考、练习和提高。题量大，是本书的一大特点，以此增强学生的应用能力和兴趣。每章后面的小结对全章内容做了比较系统和完整的归纳，便于学生更好地理解和掌握全章内容。为扩大知识面而设立的选学内容用“\*”号标出，供学生课后阅读。

本书在编写过程中，得到北京邮电大学网络教育学院领导和通信技术教研室同事的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。还需指出，多年来作者与各位同事的经常研讨，以及授课过程中与学生的密切交流，对本书内容的取舍、主次均有启发和帮助，在此，对关心本书修改工作的所有同志深致谢意。

限于水平，书中难免有不妥或错误之处，恳请广大师生及各界读者批评指正。

编者

2004年10月

# 目 录

第 1 章 基础知识	1
1.1 电路与信号的基本概念	1
1.1.1 电路及电路模型	1
1.1.2 信号与电路	3
1.2 电路的基本变量	4
1.2.1 电流及其参考方向	4
1.2.2 电压及其参考极性	5
1.2.3 关联参考方向	6
1.2.4 电功率及其正、负号的意义	6
1.3 电路的基本元件	7
1.3.1 电阻元件	8
1.3.2 电容元件	10
1.3.3 电感元件	13
1.4 电源	16
1.4.1 独立源	16
1.4.2 受控源	18
1.5 基尔霍夫定律	19
1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	20
1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	21
本章小结	24
习题 1	25
第 2 章 直流电路及基本分析法	29
2.1 直流电路的等效转换分析法	29
2.1.1 电阻串联、并联及混联的等效转换	30
2.1.2 电阻元件的星形联接(又称 T 型网络)与三角形联接(又称 $\pi$ 型网络)及其等效转换	34
2.1.3 实际电源的两种模型及其等效转换	36
2.2 复杂电路的一般分析法	43
2.2.1 支路电流法	44

2.2.2	网孔电流法	45
2.2.3	节点电位法	50
2.3	线性电路的几个基本定理	55
2.3.1	叠加定理	55
2.3.2	替代定理(又称置换定理)	59
2.3.3	戴维南定理	61
2.3.4*	诺顿定理	68
2.3.5*	互易定理	68
2.3.6*	对偶原理	71
2.4*	网络图论的基本知识	73
2.4.1	图	73
2.4.2	树	74
2.4.3	割集、基本割集	75
2.4.4	回路、基本回路	76
	本章小结	78
	习题2	79
<b>第3章</b>	<b>正弦稳态电路分析</b>	<b>88</b>
3.1	正弦信号及其相量表示	88
3.1.1	正弦信号的表示方法和特征量	88
3.1.2	正弦信号的相量表示法	91
3.2	电路定律的相量形式	95
3.2.1	基尔霍夫定律的相量形式	95
3.2.2	欧姆定律的相量形式	96
3.3	阻抗和导纳	100
3.3.1	$R$ 、 $L$ 、 $C$ 串联电路——阻抗	100
3.3.2	$G$ 、 $C$ 、 $L$ 并联电路——导纳	103
3.3.3	阻抗与导纳	105
3.4	正弦稳态电路分析举例	110
3.5	正弦稳态电路的功率	117
3.5.1	瞬时功率 $p(t)$	117
3.5.2	平均功率	118
3.5.3	无功功率	119
3.5.4	视在功率	119
3.5.5	复功率	121
3.5.6	最大功率传输	122

3.6 谐振电路 .....	125
3.6.1 串联谐振电路 .....	125
3.6.2 简单并联谐振电路 .....	131
3.7* 三相交流电路的基本知识 .....	135
3.7.1 三相电路的一般概念 .....	135
3.7.2 对称三相电路的电压和电流 .....	137
3.7.3 正确使用三相电源 .....	140
3.7.4 三相四线制的中线作用 .....	141
本章小结 .....	142
习题 3 .....	144
<b>第 4 章 互感与变压器电路分析</b> .....	<b>152</b>
4.1 互感元件的伏安关系与同名端 .....	152
4.1.1 互感及互感现象 .....	152
4.1.2 互感电压与互感线圈的同名端 .....	153
4.1.3 互感元件的基本模型及伏安关系 .....	155
4.2 互感元件去耦的等效模型 .....	156
4.2.1 将互感电压等效为电流控制的电压源 .....	157
4.2.2 互感化除法 .....	159
4.2.3 引入阻抗法 .....	160
4.3 含互感的正弦稳态电路分析举例 .....	163
4.4 理想变压器 .....	166
4.4.1 铁芯变压器和理想变压器 .....	166
4.4.2 理想变压器的伏安关系 .....	166
4.4.3 理想变压器变换阻抗的特性 .....	169
4.4.4 含理想变压器的正弦稳态电路分析 .....	169
4.5 铁芯变压器的等效模型 .....	172
4.5.1 全耦合变压器的模型 .....	172
4.5.2 铁芯变压器模型 .....	173
本章小结 .....	173
习题 4 .....	174
<b>第 5 章 基本信号及信号的运算</b> .....	<b>180</b>
5.1 基本信号 .....	180
5.1.1 指数信号 .....	180
5.1.2 复指数信号 .....	181
5.1.3 单位斜变信号 .....	181

5.1.4 单位阶跃信号 .....	182
5.1.5 正负号信号 .....	186
5.1.6 单位冲激信号 .....	186
5.2 信号的运算 .....	190
5.2.1 信号的和与积运算 .....	190
5.2.2 信号的微分与积分运算 .....	191
5.2.3 信号的时移运算 .....	192
5.2.4 信号的尺度运算 .....	192
5.2.5 信号的反折运算 .....	193
本章小结 .....	196
习题 5 .....	197
<b>第 6 章 一阶瞬态电路的时域分析</b> .....	<b>200</b>
6.1 瞬态过程的产生及初始值的确定 .....	201
6.1.1 瞬态过程的产生 .....	201
6.1.2 任一变量初始值的确定 .....	202
6.2 直流一阶电路时域分析的经典法——三要素法 .....	204
6.2.1 一阶电路的时域分析 .....	204
6.2.2 直流一阶电路的时域分析——三要素法 .....	206
6.2.3 三要素法标准公式的建立 .....	206
6.2.4 一阶电路的时间常数 $\tau$ .....	208
6.2.5 三要素法的解题步骤及应用举例 .....	209
6.3 一阶电路的零输入、零状态分析法 .....	214
6.3.1 单位冲激响应 .....	215
6.3.2 零状态响应的确定 .....	219
6.4 卷积积分 .....	221
6.4.1 卷积积分的图解法 .....	222
6.4.2 卷积的性质 .....	223
6.4.3 零输入、零状态法应用举例 .....	225
6.5 各种响应分量的补充说明 .....	228
6.5.1 强制响应与固有响应 .....	228
6.5.2 零输入响应与零状态响应 .....	229
6.5.3 瞬态响应与稳态响应 .....	229
本章小结 .....	230
习题 6 .....	231
<b>第 7 章 信号的频谱分析——傅里叶分析</b> .....	<b>238</b>



7.1 周期信号的傅里叶级数展开式 .....	238
7.1.1 三角形式的傅里叶级数展开式 .....	238
7.1.2 指数形式的傅里叶级数展开式 .....	239
7.1.3 信号的对称性与傅里叶系数的关系 .....	241
7.1.4 傅里叶级数在电路分析中的应用 .....	242
7.2 周期信号的频谱分析 .....	244
7.2.1 单边频谱 .....	245
7.2.2 双边频谱 .....	246
7.2.3 典型周期矩形脉冲信号的频谱 .....	247
7.3 非周期信号的频谱分析——傅里叶变换 .....	252
7.3.1 傅里叶变换的定义式 .....	252
7.3.2 傅氏变换的建立及物理意义 .....	253
7.3.3 傅氏变换 $F(\omega)$ 存在的条件 .....	254
7.3.4 几种常用信号的频谱 .....	255
7.4 傅里叶变换的性质 .....	262
7.4.1 线性 .....	262
7.4.2 时移性 .....	263
7.4.3 频移性 .....	265
7.4.4 尺度变换性 .....	267
7.4.5 对称性 .....	269
7.4.6 微分性 .....	271
7.4.7 时域积分性 .....	273
7.4.8 卷积定理 .....	276
7.5 周期信号的频谱函数 .....	278
7.6 电路无失真传输信号的条件 .....	280
本章小结 .....	284
习题 7 .....	286
<b>第 8 章 瞬态电路的复频域分析</b> .....	<b>293</b>
8.1 拉普拉斯变换 .....	294
8.1.1 从傅里叶变换到双边拉氏变换 .....	294
8.1.2 单边拉普拉斯变换 .....	295
8.1.3 拉氏变换存在的条件——拉氏变换的收敛域 .....	295
8.1.4 常见信号的拉氏变换 .....	296
8.2 拉普拉斯变换的性质 .....	298
8.2.1 延时性 .....	298

8.2.2	时域微分性 .....	302
8.2.3	时域积分性 .....	303
8.2.4	初值定理 .....	305
8.2.5	终值定理 .....	306
8.3	拉普拉斯反变换 .....	307
8.4	瞬态电路的复频域分析法 .....	313
8.4.1	微分方程的拉氏变换解 .....	313
8.4.2	复频域电路模型 .....	314
8.4.3	复频域分析法举例 .....	316
8.5	网络函数与冲激响应 .....	322
8.5.1	网络函数 $H(s)$ .....	322
8.5.2	网络函数 $H(s)$ 与冲激响应 $h(t)$ 的确定 .....	323
8.5.3	网络函数 $H(s)$ 零、极点分布与冲激响应 $h(t)$ 函数形式的关系 .....	324
	本章小结 .....	326
	习题 8 .....	327
<b>第 9 章</b>	<b>离散时间信号与离散时间系统分析</b> .....	<b>334</b>
9.1	离散时间信号 .....	335
9.1.1	离散时间信号的基本概念 .....	335
9.1.2	离散信号的描述形式 .....	336
9.1.3	离散信号的运算 .....	337
9.1.4	基本离散信号 .....	340
9.2	连续时间信号的抽样 .....	346
9.2.1	自然抽样 .....	346
9.2.2	理想抽样 .....	347
9.2.3	连续信号的恢复 .....	348
9.3	离散时间系统及其数学模型 .....	349
9.3.1	离散时间系统 .....	349
9.3.2	离散系统数学模型——差分方程的建立 .....	350
9.3.3	离散系统的模拟 .....	351
9.4	离散时间系统的时域分析 .....	354
9.4.1	时域分析的经典法 .....	354
9.4.2	时域分析的零输入、零状态法 .....	357
9.5	用卷积和求零状态响应 .....	358
9.5.1	零状态响应的确定 .....	358
9.5.2	单位序列响应 $h(n)$ 的确定 .....	359

---

9.5.3 卷积和的运算 .....	361
9.6 Z变换 .....	365
9.6.1 Z变换 .....	366
9.6.2 Z变换的性质 .....	367
9.6.3 逆Z变换 .....	372
9.7 离散时间系统的Z域分析 .....	376
9.7.1 差分方程的变换域解法 .....	376
9.7.2 系统函数 $H(z)$ .....	378
9.7.3 系统函数 $H(z)$ 极点分布与单位序列响应 $h(n)$ 函数形式的关系 .....	379
本章小结 .....	383
习题9 .....	384
部分习题答案 .....	389
参考书目 .....	405

# 第1章 基础知识

本书要研究讨论的主要内容有两个：一为电路分析，二为信号分析。

电路分析是电路理论的一个分支，其主要内容是在电路结构和元件参数已知的情况下，确定电路输入（又称激励）与输出（又称响应）之间的关系；电路理论的另一分支是电路综合，其主要内容是在输入和输出间的关系（即电路传输特性）已知的情况下，确定具体的电路结构和元件参数。本书只研究电路分析。重点讨论线性、时不变、集总参数电路的基本理论和分析方法，对于非线性、时变、分布参数电路不研究。

信号的特性首先表现为它随时间变化的规律，即“时间特性”；另外也可以表现为它的频率成分分布的规律，即“频率特性”。不同信号有不同的时间特性与频率特性，其时间特性与频率特性之间又有着密切的联系。信号分析即分析信号的时（间）域特性与频（率）域特性及其两者之间的内在联系。

本章将简单介绍“电路”与“信号”两个方面的基础知识：电路理论中的模型、基本元件、基本变量和基本定律；信号理论中信号的概念及常见信号；“电路”与“信号”两者之间的关系。

## 1.1 电路与信号的基本概念

本节将介绍电路与信号的基本概念，以及两者之间的关系。

### 1.1.1 电路及电路模型

实际电路是由若干电气元器件（如电阻器、电容器、电感器、半导体管、变压器、电源和开关等）按照人们预先规定的目的（即功能）相互联接而构成的整体。这个整体提供了电流的通路。

电路的形式、结构和繁简不同，其作用（或功能）各异。但其基本作用可分为两大类：一类是进行能量的传输、控制和转换，另一类是实现信号的传输、加工和处理。在通信技术中，后者是电路的主要作用。

从能量传输功能看，电路可归纳为由电源、负载和导线三部分组成。其中电源是产生电能、向电路提供能量的器件，即将非电形式的能量转变为电能的器件，如干电池、发电机是将化学能、机械能转变为电能；负载是消耗电能的器件，即将电能转变为非电形式的能量的器件，如电炉、电动机和电灯泡等；导线和其他电器，如开关、保险丝等是电源和负载之间

的连接器件，用来传输、分配和控制电能。在通信技术中，往往将发出需要传输和处理信号的电源称为信号源，简称信源，而将接收传输和处理信号的器件称为负载。此外，对每个局部电路而言，可认为前级电路是后级电路的电源（或信源），后级电路是前级电路的负载。

组成实际电路的元器件的物理性能比较复杂。人们设计制作某种器件是要利用它的主要物理性能，如电阻器是要利用它的电阻，即对电流呈现阻力的性能。但是，实际上不可能制造出只表现其主要性能的元件。一个实际电阻器当有电流流过时，不仅有热效应，还有一定的磁场和电场效应，即一个电阻器还具有电感和电容的性能。又如，一个有电流流过的实际电感线圈，它不仅储存和交换磁场能量，同时还消耗一定的热能，还伴随着一定的电场能量。在分析电路时，如果把元器件的全部物理性能都加以考虑，将使分析的过程复杂化，而且在工程实际中也没有这样精确的必要。因此，在一定条件下，必须对实际元器件加以理想化和模型化。理想化就是保留元器件主要的电磁性能而忽略其微不足道的性能；模型化就是用一种抽象的电路元件来表征其主要的电磁性能。今后电路分析中所涉及的各种元件均指理想元件，即元件模型。最常用的三种基本元件模型为：只表示消耗电能并转变成热能特性的电阻元件；只表示存在和储存磁场能量特性的电感元件；只表示存在和储存电场能量特性的电容元件。图 1-1-1 给出了几种基本元件模型的符号图形。

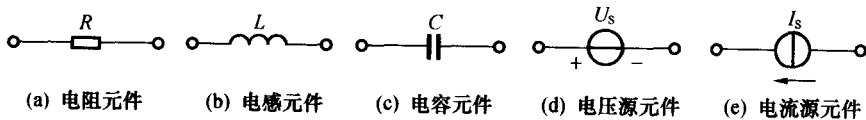


图 1-1-1 几种基本元件模型的符号图形

由理想元件组成的电路称为电路模型或电路图。今后所提及的电路，均指电路模型，如图 1-1-2 所示，它是电路分析的对象。

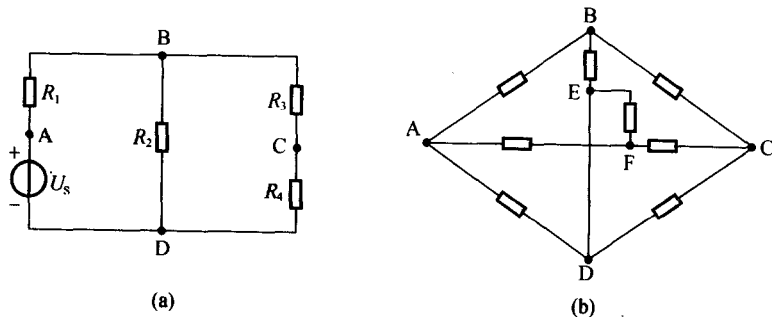


图 1-1-2 电路图

平常所说的电阻、电容、电感这三个名词，具有双重含义，它们既表示为电路元件，又可表示为元件的参数。实际元件中，这三种参数是连续分布的，即在元件的任何部分都存在着电阻、电感和电容。但当元件的几何尺寸远远小于元件正常工作的电磁波的最小波长时，

这三种参数的分布性便可忽略，而认为元件的参数“集总”于一点上，形成所谓集总参数元件。理想元件是抽象的模型，没有体积大小，是集总参数元件。由集总参数元件组成的电路称为集总参数电路。

在电路图中，每一个具有两个端子的元件（称为二端元件，又称单口元件，如图 1-1-1 所示）就构成一条支路。两条或两条以上支路的联接点称为节点，例如图 1-1-2(a) 中 A、B、C、D 点都是节点。在电路分析中，为方便起见，通常又将支路看成是由多个元件串联而成的组合，例如图 1-1-2(a) 中将串联的电阻  $R_3$  和  $R_4$  作为一条支路，串联的电阻  $R_1$  和电源  $U_s$  作为一条支路，这时 A 点和 C 点可不算作节点。

电路中任一闭合路径称为回路，图 1-1-2(a) 中 ABCDA、ABDA 及 BCDB 都是回路。通常把内部不包含支路的回路称为网孔，如上述的回路 ABDA 和 BCDB 是网孔，而回路 ABCDA 则不是网孔。电路也称为网络，一般可分为平面网络和立体网络两种。平面网络就是可以画在一个平面上，而不致使任何两条支路交叉的电路，如图 1-1-2(a)；否则，便称为立体网络或非平面网络，如图 1-1-2(b)。显然，网孔的概念只对平面网络有效，而对立体网络则不适用。网络按内部是否含有电源又可分为有源网络和无源网络，图 1-1-2(a) 为有源网络，图 1-1-2(b) 则为无源网络。

本书研究的电路仅限于集总参数的、线性的、时不变的电路。线性电路是由线性元件和电源组成的电路，线性电路的传输特性（即输出与输入间的关系）满足比例性（又称齐次性）和叠加性（又称可加性）。时不变电路是指当输入延时时，输出也相应地延时，但波形不变。

### 1.1.2 信号与电路

在通信、广播、电视或遥控遥测等系统中都进行着信息的传递。信息通常是用语言、文字、图像和数据等形式来表示的。为了便于传输与处理，又往往将它们变换成另一形式的变化着的物理量，如光、声、电等，并把这些形式称为信号，例如光信号、声信号、电信号等。因此，信号的变化即表现为物理量的变化，而物理量的变化就传递了一定的信息，只有变化的物理量中才可能含有信息。在可以作为信号的多种物理量中，电信号是最为常见和应用最为广泛的物理量，这是因为电信号容易产生和控制，并且它与非电量间的转换比较容易。目前通信中最常传递的也是电信号，电信号通常是随时间变化的电压或电流，在某些情况下可以是电荷与磁链，本书研究的信号主要指前者。

信号分为规则信号与不规则信号。规则信号（又称确定性信号）是指按一定规则变化的、可以用一个确定的数学函数式或波形来描述的信号。因此本书认为“信号”、“函数”这两个名词具有相同含义。否则称为不规则信号（又称随机信号）。规则信号据其变化时有无重复性的特点可分为周期信号和非周期信号；按它的存在时间是否为连续的特点又可分为连续时间信号和离散时间信号。图 1-1-3 给出了几种常见信号的波形图。

通信技术的任务就是要解决远距离的信息传递。信号是运载信息的工具，而电路起着传

递、处理信号的作用。

通常将输入电路的信号称为激励，而把经过电路传输和处理后的输出信号称为响应。

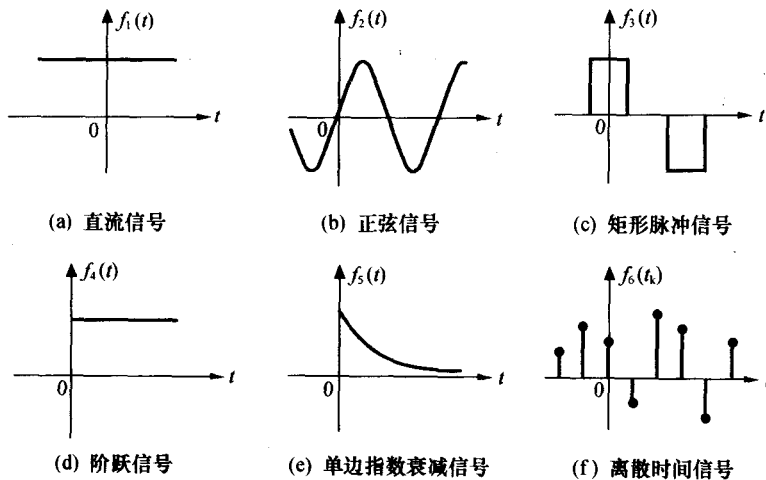


图 1-1-3 常见信号

## 1.2 电路的基本变量

电路变量有电流、电压、电荷、磁链、功率及能量。其中电流、电压和功率是本书中用得较多的三个变量，而电流、电压是电路分析中的基本变量，因为它们可以方便地表示出其他变量。由于上述这些变量在物理课程中已有明确定义，因此本书仅对电流、电压、功率的定义作简要的复习，而主要讨论的是电流、电压的参考方向及功率的计算。

### 1.2.1 电流及其参考方向

电荷在导体中的定向运动形成电流。电流的大小即电流强度是单位时间里通过导体横截面的电荷量，可简称为电流，用字母  $i$  表示，即为

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

在国际单位制中，电流、电荷和时间的单位分别为安培 (A) (简称安)、库仑 (C) (简称库) 和秒 (s)。电流不仅有大小，而且有方向性。大小和方向均不随时间而变化的电流称作恒定电流或直流电流，可用大写字母  $I$  表示，即  $I = q/t$ 。

习惯上规定正电荷在电路中运动的方向为电流的真实方向。在仅含一个电源的简单电路如图 1-1-2(a) 中，根据上面的规定很容易判断电流的真实方向，但对多个电源组成的复杂电路，就很难确定各支路电流的真实方向。因此，为了判断电流的真实方向，在分析电路时先任意假设电流的一个方向，这个任意假设的电流方向称为参考方向，又称正方向，在电路中

用箭头表示,如图 1-2-1 所示,图中的方框 N 表示一个元件、一条支路或一个二端网络。当参考方向标定后,就以参考方向作为分析计算的依据。这时电流已是一个代数量,若计算结果,电流  $i$  为正值,即  $i > 0$ ,表明所标电流的参考方向与真实方向一致;电流  $i$  为负值,即  $i < 0$ ,表明所标电流参考方向与真实方向相反。显然,在未标注电流参考方向的情况下,电流的正负是没有意义的,也是没办法计算的,所以今后在分析电路时,必须首先标注电流的参考方向,且一经标注,在计算过程中就不能再改变了。

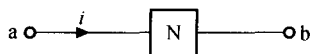


图 1-2-1 电流的参考方向

电流的参考方向除用箭头表示外,也可以用双下标表示,如图 1-2-1 中电流  $i$  可表示为  $i_{ab}$ ,它表示电流  $i$  的参考方向由 a 指向 b。而  $i_{ba}$  则表示从 b 流向 a。对于同一真实电流而言,标注的参考方向不同,计算结果相差一个“-”号。即

$$i_{ab} = -i_{ba} \quad \text{或} \quad I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-2-2)$$

### 1.2.2 电压及其参考极性

在电路中单位正电荷由 a 点移到 b 点所获得或失去的能量称为 a、b 两点间的电位差,即 a、b 两点间的电压,用字母  $u$  表示,即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2-3)$$

其中,能量的单位为焦耳 (J),电压的单位为伏特 (V)。电压不仅有大小,而且有方向性。大小和方向均不随时间而变化的电压称作恒定电压或直流电压,可用大写字母  $U$  表示,即  $U = w/q$ 。

式 (1-2-3) 中,如果正电荷由 a 转移到 b 获得能量,则电位升高,即 a 点电位低于 b 点。反之,正电荷由 a 转移到 b 失去能量,则电位降低,即 a 点电位高于 b 点。所以正电荷在电路中转移时,电能的获得或失去体现为电位的升高或降低。这说明式 (1-2-3) 的电压  $u$  可正可负,和电流一样,也是一个代数量,因此也和电流一样需要给电压标注参考极性。参考极性用“+”、“-”号表示,标注在支路或电路的两端,其中“+”号表示高电位,“-”号表示低电位,如图 1-2-2 所示。当选定了电压的参考极性后,

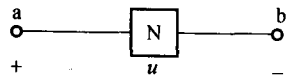


图 1-2-2 电压的参考方向

就可分析计算了。当计算结果电压  $u$  为正值时,即  $u > 0$  时,表明电压的真实极性与参考极性一致;当电压  $u$  为负值时,即  $u < 0$  时,表明电压的真实极性与参考极性相反。显然,在未标注电压参考极性的情况下,电压的正负是没有意义的,也是没办法计算的。今后在求解电压时,必须首先标注电压的参考极性,且一经标注,在计算过程中就不可再改变了。

电压的参考极性也可用双下标表示,如图 1-2-2 中电压  $u$  可表示为  $u_{ab}$ ,它表示电压参考极性为 a “+”、b “-”。而  $u_{ba}$  则表示为 b “+”、a “-”。对于同一真实电压极性而言,标注的参考极性不同,计算结果相差一个“-”号,即



$$u_{ab} = -u_{ba} \quad \text{或} \quad U_{ab} = -U_{ba} \quad (1-2-4)$$

### 1.2.3 关联参考方向

如前所述, 在电路分析中, 各支路电流的参考方向和支路电压的参考极性 (也称为电压的参考方向或正方向) 是可以随意选定, 互不相关的, 但为了方便, 常常将两者的参考方向取为一致, 即电流的参考方向由电压参考极性的正极指向负极, 这称为“关联参考方向”, 如图 1-2-3(a) 所示。在关联参考方向下, 只需标出电流的参考方向或电压的参考极性, 而省略掉另一个。如图 1-2-3(b) 或 (c) 所示。

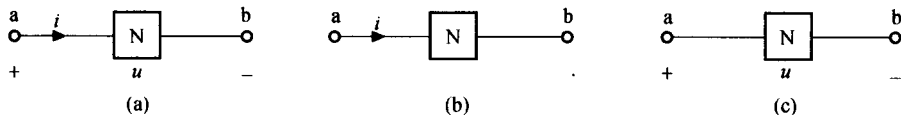


图 1-2-3 关联参考方向

### 1.2.4 电功率及其正、负号的意义

电功率 (简称功率) 是描述电路中能量变化速率的物理量, 用字母  $p$  表示。定义为单位时间内电场力所做的功。即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-2-5a)$$

再根据式 (1-2-1) 和式 (1-2-3), 在电流、电压关联参考方向下, 如图 1-2-3(a) 所示, 式 (1-2-5a) 又可进一步写为

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u \cdot i \quad (1-2-5b)$$

式 (1-2-5b) 说明方框 N 的功率等于其电压与电流的乘积。式中若电压单位用伏, 电流单位用安, 则功率单位为瓦特, 简称瓦 (W)。

当  $u$ 、 $i$  随时间变化时, 功率  $p$  也是时间的函数, 称为瞬时功率。在直流电路中, 功率是恒定不变的, 用大写字母  $P=UI$  表示。

若电压与电流为非关联参考方向, 如将图 1-2-3(a) 中电流参考方向反向, 即改为从 b 指向 a, 则前后两个电流差一负号, 因此, 计算的功率应改为

$$p = -ui \quad \text{或} \quad P = -UI \quad (1-2-6)$$

由于电压、电流本身也是有方向的代数数量, 即有正、负值之分。因此, 无论使用式 (1-2-5b) 或是式 (1-2-6), 只需将电压、电流本身的代数值直接代入即可。至于所得到的功率的正、负值, 则需要看最终的计算结果。当计算结果为  $p > 0$  的正值时, 说明是电场力推动正电荷做功, 电场能降低, 称为消耗功率或吸收功率, 方框 N 起负载作用; 当计算结果为  $p < 0$  的负值时, 说明方框 N 起电源作用, 是外力 (比如干电池的化学能) 做功, 称为供出功率或产生功率。