



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. 5
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:010-67129259
北京 印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本:880×1230 1/16
印张:26
字数:549 千字 2005 年 5 月第 1 版
印数:1- 000 册 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13361-1 / TN · 2468

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 and 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 π 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
第3章	正弦稳态电路分析	88
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
第 4 章 互感与变压器电路分析	152
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
第 5 章 基本信号及信号的运算	180
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
第 6 章	一阶瞬态电路的时域分析	200
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 τ	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
第 7 章	信号的频谱分析——傅里叶分析	238

7.1 周期信号的傅里叶级数展开式	238
7.1.1 三角形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
第 8 章 瞬态电路的复频域分析	293
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
第 9 章	离散时间信号与离散时间系统分析	334
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

在一阶电路的时域分析法中，对确定直流信号源激励下的电路响应以选用三要素法为宜；对确定任意信号激励下的电路响应则应选用零输入、零状态法，且用卷积积分法求零状态响应。

6.1 瞬态过程的产生及初始值的确定

6.1.1 瞬态过程的产生

瞬态过程也称为过渡过程。利用电路分析的概念，先观察直流电流通过电阻向电容器充电这样一个实例，从而说明瞬态过程的产生。

电路如图 6-1-1(a) 所示。设开关 SA 在 $t = 0$ 时闭合（即发生了换路），则在 $t < 0$ 时（换路前），由于 SA 未接通，回路电流 $i = 0$ ，电容 C 原未充电，即为 $u_C = 0$ ，这是一种稳定状态。当 $t \geq 0$ 时，SA 已闭合，直流电压源 U_S 通过电阻 R 向电容 C 充电，电容电压 u_C 由零值逐渐上升，同时回路电流 i 将由初始值 U_S/R 逐渐减小。 u_C 与 i 随 t 变化曲线如图 6-1-1(b) 所示。

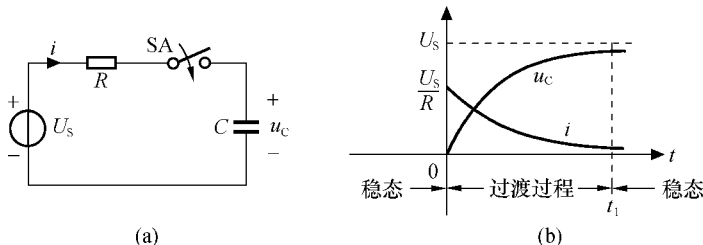


图 6-1-1 电容器通过电阻充电

观察图(b)，定性看出，当 $t > t_1$ 时， $u_C \approx U_S$ ， $i \approx 0$ ，可以认为电路已进入一种新的稳定状态。在新稳态与电路接通前的旧稳态之间，是一个过渡过程。

通过此实例可看出，电路产生过渡过程的外部条件是换路（如 SA 的闭合），但起主要作用的内因是电路中含有储能元件——电感或电容。因为电路中电流、电压的建立和改变必然伴随着电场与磁场能量的建立和改变，而能量的改变只能是渐变，不可能突变。如果能量突变，则功率 $p = dw/dt$ 将为无穷大，这是任何实际电源无法提供的。因此，任何一个实际的瞬态电路都不会随着换路从一个稳态立即变成另一个稳态，而总要经历或长或短的过渡过程。

正如本章开头所述，瞬态分析的任务是找到换路后电路中各变量的变化规律和确定各变量的方法。因此，先找到换路后各变量从多大值开始变化是非常重要的，且微分方程齐次通解中的待定积分系数也是由初始条件确定的。

6.1.2 任一变量初始值的确定

在介绍任一变量初始值的确定之前,先对电路“状态”问题作简要的说明。

1. 关于电路的“状态”和初始状态的概念

“状态”,在电路瞬态分析中是一个专用术语。粗略地讲,电路在某一时刻的“状态”,可以理解为能够反映该时刻储能状况的最少物理量的值。由于电容在某一时刻的储能只与该时刻的电容电压有关,参见式(1-3-10);而电感的储能只与电感电流有关,参见式(1-3-16)。因此,用电容电压 $u_C(t_0)$ 和电感电流 $i_L(t_0)$ 作为 t_0 时刻电路的状态是比较恰当的。

通常,总是以换路时刻作为过渡过程的计时起点,即用 $t = 0$ 表示换路瞬间是符合实际的。由于电路在换路前后的状态可能不同,可将换路前一瞬间(用 $t = 0_-$ 表示,是 t 由负值趋于零的极限)电路的状态称为原始状态或起始状态,用 $u_C(0_-)$ 、 $i_L(0_-)$ 表示;将换路后一瞬间(用 $t = 0_+$ 表示,是 t 由正值趋于零的极限)电路的状态称为初始状态或初始值,用 $u_C(0_+)$ 、 $i_L(0_+)$ 表示。而对于其他任一电流变量或电压变量在换路后一瞬间的值 $i(0_+)$ 或 $u(0_+)$,仅仅称为初始值,而不能称为初始状态。若电路中所有储能元件的原始状态均为零,则称为零状态电路。

在第1章1.3节中曾指出,电容和电感元件具有惯性特性,分别用式(1-3-7)和式(1-3-13)表示。若设式中的 t_0 表示换路时刻,且选 $t_0 = 0$,即 $t = 0$ 时刻发生换路,则有:

$$u_C(0_+) = u_C(0_-), \quad i_L(0_+) = i_L(0_-) \quad (6-1-1)$$

式(6-1-1)又称为换路定则或换路定理,它是瞬态分析的重要依据。

基于式(6-1-1)的换路定则,对于电容电压和电感电流这两个变量而言,由于它们的初始状态等于原始状态,所以在今后的讨论中,无论是 $u_C(0_-)$ 、 $i_L(0_-)$,还是 $u_C(0_+)$ 、 $i_L(0_+)$,统称为电路的初始状态而不再加以区分。但是对于电路的其他变量,如 $u_R(t)$ 、 $i_R(t)$ 、 $i_C(t)$ 和 $u_L(t)$ 等,这些变量统一用 $y(t)$ 表示,其初始值 $y(0_+)$ 的大小则应由电路的初始状态 $u_C(0_+)$ 、 $i_L(0_+)$ 和 $t = 0_+$ 时刻的激励源共同决定,即在 $t = 0_+$ 时刻仍然要满足 KCL 和 KVL。

2. 任一变量初始量 $y(0_+)$ 的确定

下面以例题方式介绍电路中的任一变量 $y(t)$ 的初始值 $y(0_+)$ 的确定方法和步骤。

例 6-1-1 试确定图 6-1-2 所示电路中各变量的初始值 $i_3(0_+)$ 、 $i_C(0_+)$ 、 $u_3(0_+)$ 和 $u_L(0_+)$ 。已知 $u_S(t) = 10\epsilon(-t)$ V。

解: 在图 5-1-7 中已经介绍了 $\epsilon(-t)$ 信号的物理意义。题设电压源为 $10\epsilon(-t)$,这相当于电路在 $t = 0$ 时发生了换路。在 $t \leq 0_-$ 时电压源为 10V 直流电压源;在 $t \geq 0_+$ 时电压源的作用为零,视为短路。

欲求题设各待求变量的初始值,首先要确定换路前后不能突变的变量 $u_C(0)$ 和 $i_L(0)$ 。而 $u_C(0)$ 和 $i_L(0)$ 的求取,则在换路前的稳定工作状态下最为方便。

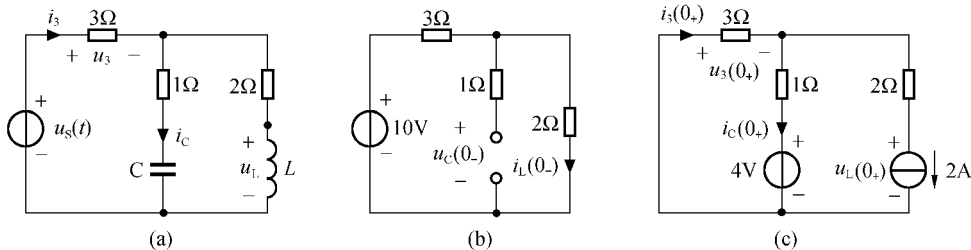


图 6-1-2 例 6-1-1 图

第一步, 作 $t = 0_-$ 时刻的等效电路, 如图 6-1-2(b) 所示。在 $t = 0_-$ 时刻的直流稳态电路中, 电感 L 相当于短路, 电容 C 相当于开路。在图(b)中利用直流电阻电路的分析方法确定出电路的原始状态 $u_C(0_-)$ 和 $i_L(0_-)$ 。即

$$u_C(0_-) = 10 \times \frac{2}{3+2} = 4\text{V}$$

$$i_L(0_-) = \frac{10}{3+2} = 2\text{A}$$

或

$$i_L(0_-) = u_C(0_-)/2 = 4/2 = 2\text{A}$$

第二步, 根据换路定则式 (6-1-1), 得电路的初始状态 $u_C(0_+)$ 和 $i_L(0_+)$ 。

即

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) = 4\text{V}, \quad i_L(0_+) = i_L(0_-) = 2\text{A}$$

第三步, 作 $t = 0_+$ 时刻的等效电路, 如图 6-1-2(c) 所示, 在 $t = 0_+$ 时刻, 由于 $u_C(0_+) = 4\text{V} \neq 0$, 根据替代定理, 则此时刻的电容 C 可以用一个源电压为 4V 的理想电压源替代 (若 $u_C(0_+) = 0$, 则此时刻电容 C 相当于被短接); 同理, 由于 $i_L(0_+) = 2\text{A} \neq 0$, 则此时电感 L 可以用一个源电流为 2A 的理想电流源替代 (若 $i_L(0_+) = 0$, 则此时电感 L 相当于开路)。在图(c)中, 利用直流电阻电路的各种分析方法确定出待求变量的初始值。即

$$i_3(0_+) = \frac{-4}{3+1} + 2 \times \frac{1}{1+3} = -1 + \frac{1}{2} = -0.5\text{A}$$

$$i_C(0_+) = i_3(0_+) - 2 = -0.5 - 2 = -2.5\text{A}$$

$$u_3(0_+) = 3i_3(0_+) = 3 \times (-0.5) = -1.5\text{V}$$

$$u_L(0_+) = -u_3(0_+) - 2 \times 2 = -(-1.5) - 4 = -2.5\text{V}$$

练 习 题

6-1-1 在瞬态分析中, 电容有时看作开路, 有时看作短路, 有时又看作理想电压源, 这些概念各适用于什么情况? 应如何理解? 与此相对应, 电感有时看作短路, 有时看作开路, 有时又看作理想电流源, 又应如何理解?

6-1-2 图 6-1-3 所示各电路中的开关 SA 均在 $t = 0$ 时打开, 打开前电路已处于稳定工

作状态。求 SA 打开以后各支路电流、电压的初始值。

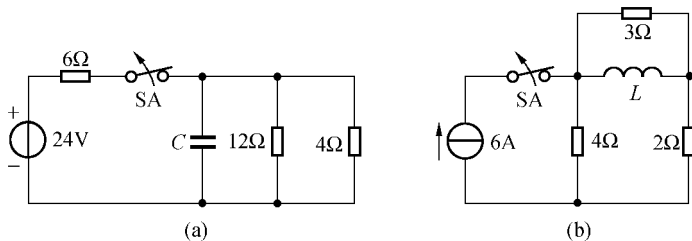


图 6-1-3 练习题 6-1-2 图

6-1-3 求图 6-1-4 所示电路开关 SA 闭合后的各支路电流和电压的初始值。

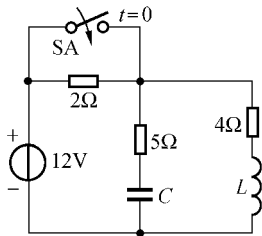


图 6-1-4 练习题 6-1-3 图

6.2 直流一阶电路时域分析的经典法——三要素法

当 6.1 节解决了换路后任一变量初始值 $y(0_+)$ 的确定后，本节将进一步研究待求变量是按什么规律变化的，以及确定各变量的具体方法。

6.2.1 一阶电路的时域分析

一阶电路的基本形式如图 6-2-1(a)、(d)所示，是仅含一个电容元件或一个电感元件的电路。而有源二端电阻网络总可以用戴维南等效电路表示成图(b)、(e)或用诺顿等效电路表示成图(c)、(f)。因此，对一阶电路的分析总可简单归结为对图(b)与图(e)或图(c)与图(f)电路的分析问题。

由于一阶电路仅含一个动态元件，因此，无论是对图(b)与图(e)列写 KVL 方程，还是对图(c)与图(f)列写 KCL 方程，也无论待求的响应变量 $y(t)$ 是哪一支路（元件）电流还是电压， $y(t)$ 与激励 $f(t)$ （即图中的 u_s 或 i_s ）之间的关系均可用一个一阶常系数线性微分方程来描述，现归结为一般形式

$$\frac{dy(t)}{dt} + S_1 y(t) = f(t) \tag{6-2-1}$$

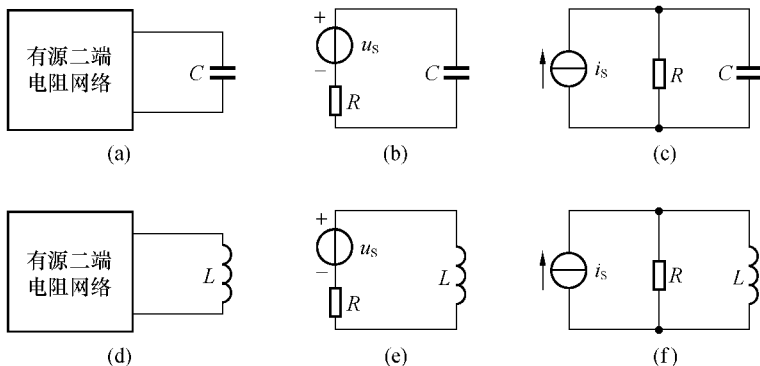


图 6-2-1 一阶电路和基本形式

其中 $y(t)$ 是电路中的任意一个响应, $f(t)$ 是激励及其导数的线性组合, S_1 为实常数。由高等数学可知, 这个响应 $y(t)$ 的完全解等于微分方程的齐次通解与非齐次特解之和, 若电路在 $t = 0$ 时换路, 则响应 $y(t)$ 可表示为

$$y(t) = y_h(t) + y_p(t) \quad (t > 0) \quad (6-2-2)$$

其中齐次通解形式为 $y_h(t) = Ce^{-S_1 t}$, 对于一阶电路而言, 实常数 S_1 称为电路的固有频率, 若取它的倒数用 τ 表示, 即 $\tau = \frac{1}{S_1}$, 则 τ 具有时间的量纲* (s), 称为时间常数, 它在图(a)

所示的 RC 电路中等于 RC , 而在图(d)所示的 RL 电路中等于 $\frac{L}{R}$ 。因此齐次通解形式又可表示为 $y_h(t) = Ce^{-\frac{t}{\tau}}$ 。

从 $y(t)$ 是电路响应的角度而言, 由于齐次通解的指数大小体现的是电路本身的固有频率, 因此, 称这部分响应分量为固有响应分量或自由响应分量。非齐次特解 $y_p(t)$ 具有与外激励 $f(t)$ 完全相同的函数形式, 并用比较系数法确定函数的大小。因此, 这部分响应分量称为强制 (或强迫) 响应分量。所以式 (6-2-2) 可改写成

$$y(t) = Ce^{-\frac{t}{\tau}} + y_p(t) \quad (t > 0) \quad (6-2-3)$$

若将响应的初始值 $y(0_+) = y(t)|_{t=0_+}$ 代入式 (6-2-3), 则为

$$y(0_+) = Ce^0 + y_p(t) = C + y_p(0_+)$$

由上式可得积分系数 $C = y(0_+) - y_p(0_+)$

将它代入式 (6-2-3), 得

$$y(t) = y_p(t) + [y(0_+) - y_p(0_+)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t > 0) \quad (6-2-4)$$

式 (6-2-4) 是求取一阶电路在任意激励 $f(t)$ 作用下的任一响应 $y(t)$ 的公式。

* $[RC] = \text{欧} \cdot \text{法} = \text{欧} \cdot \text{库/伏} = \text{欧} \cdot \text{安} \cdot \text{秒/伏} = \text{欧} \cdot \text{秒/欧} = \text{秒}$ 。

$[L/R] = \text{亨/欧} = \frac{\text{伏} \cdot \text{秒/安}}{\text{欧}} = \text{欧} \cdot \text{秒/欧} = \text{秒}$ 。

6.2.2 直流一阶电路的时域分析——三要素法

当式(6-2-1)中的激励 $f(t)$ 为直流电源, 即为一常数时, 该一阶电路称为直流一阶电路。其非齐次特解 $y_P(t)$ 也应为一个常数, 即直流, 这个常数特解可以用换路后电路达到新的稳定状态(理论上要经过无穷长的时间)的稳态响应(简称稳态值) $y(\infty) = y(t)|_{t=\infty}$ 来表示, 而 $y_P(0_+) = y(\infty)$ 亦即 $y_P(t) = y_P(0_+) = y(\infty)$ 。因此在直流激励下式(6-2-4)改写为

$$y(t) = y(\infty) + [y(0_+) - y(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t > 0) \quad (6-2-5)$$

上式说明, 一阶电路在直流激励下, 只要求得待求响应的以下三个量: 响应的稳态值 $y(\infty)$, 响应的初始值 $y(0_+)$ 及时间常数 τ , 即可按式(6-2-5)直接写出响应的表达式。因此, 把 $y(\infty)$ 、 $y(0_+)$ 及 τ 称作直流一阶响应的三要素, 并把按此法求取响应的方法称作三要素法, 式(6-2-5)称为三要素法标准公式。应用此标准公式可以求取一阶电路在直流激励下的任意一个电压响应或电流响应。

若电路在 $t = t_0$ 时刻换路, 则式(6-2-5)改写成

$$y(t) = y(\infty) + [y(t_{0+}) - y(\infty)]e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} \quad (t > t_0) \quad (6-2-6)$$

6.2.3 三要素法标准公式的建立

下面以具体的直流一阶电路为例, 讨论其换路后各变量的变化规律, 从而说明三要素法标准公式的建立过程及普遍适用性。

图 6-2-2(a)是图 6-2-1(a)所示的基本直流一阶电路, 它由电阻 R 和储能元件 C 组成, 称为 RC 电路。设开关 SA 在 $t = 0$ 时闭合, 且开关动作前电路处于稳定的工作状态。又设电路原始状态 $u_C(0_-) = U_0$ 。

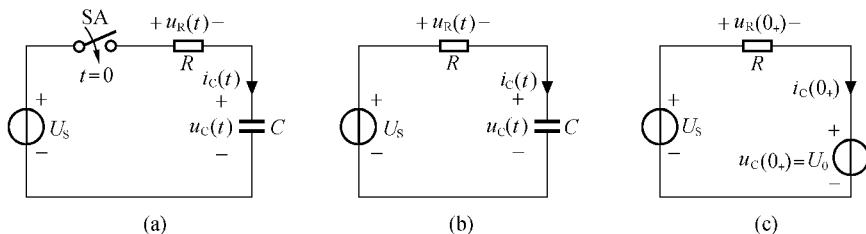


图 6-2-2 RC 电路

为分析开关 SA 闭合后电路中各变量变化的物理过程, 先作 $t > 0$ 和 $t = 0_+$ 瞬时的等效电路模型, 如图 6-2-2(b)和(c)所示。由于 $u_C(0_+) = u_C(0_-) = U_0$, 所以在 $t = 0_+$ 电路中, 根据替代定理, 电容犹如一个源电压为 U_0 的理想电压源。此时电阻电压 $u_R(0_+) = U_S - U_0$, 于是电路中有充电电流 $i_C(0_+) = \frac{u_R(0_+)}{R} = \frac{U_S - U_0}{R}$ 。此后随着时间的增加, 电容电压 $u_C(t)$