



电路解析 与 精品题集

下册

姚维 姚仲兴 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



考 研 良 友

电 路 解 析
与
精 品 题 集

下册

姚维 姚仲兴 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书与姚仲兴、姚维编著的《电路分析原理》教材配套,分上、下两册,内容符合“高等学校工科本科电路课程教学基本要求”。

本书着重介绍电路分析方法与解题技巧,并提供大量练习题。每章分三节。第一节理论提要,概述与本章习题相关的理论;第二节典型例题,演示电路概念、原理、分析方法与解题技巧之应用,并作为习题的范例;第三节为大量概念综合、难度相当高、分析方法灵活巧妙、数据极其简单的习题。

作者参阅了近年来各兄弟院校的研究生电路试题,结合自身 40 余年从事电路分析课程教学的经验,精心设计了 179 个精彩例题,1001 个习题,作为本书主要内容。

本书可供学习电路分析的学生参考,尤其适用于要考研的学生,对有关教师也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电路解析与精品题集. 下册/姚维,姚仲兴编著. —北京:机械工业出版社,2005.1

(考研良友)

ISBN 7-111-15767-2

I. 电... II. ①姚...②姚... III. 电路理论—研究生—入学考试—解题 IV. TM13—44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 127540 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:韩雪清

责任编辑:于苏华 版式设计:冉晓华 责任校对:张 媛

封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2005 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·11.625 印张·451 千字

定价:29.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

作者参阅了国内外的电路教材,特别是近年来各兄弟院校的研究生电路试题,结合自身 40 余年来从事电路分析课程教学之经验,编著成本书。

本书是与姚仲兴、姚维编著的高等学校教材《电路分析原理》(机械工业出版社,2005 年)配套的教学参考书,全书十七章内容分上、下两册的编排也与主教材一致。

本书着重介绍电路的分析方法与解题技巧,并提供大量的典型例题与练习题。每章分三节。第一节理论提要,简要介绍与本章习题相关的基本理论与基本分析法(有些在《电路分析原理》一书中未作介绍的内容,例如罗森定理,对称网络,时域中零初始电感器、电容器 Y 形网络与 Δ 形网络的等效变换,斜坡响应,一般二阶电路的时域分析,线性时变常态网络、线性定常非常态网络状态方程的直观编写,矩阵 A 、 Q 、 M 、 B 之间的关系,互易双口网络的等效网络及复合双口网络等也在这一节中介绍,作为《电路分析原理》教材的补充)。第二节典型例题,主要演示电路基本概念、原理、分析方法与解题技巧的应用,并作为习题的范例(凡在习题中出现的题型,都有相应的例题,只要真正领悟了例题,求解习题不会有多大困难)。第三节为大量的、内容符合“高等学校工科本科电路课程教学基本要求”、概念综合、形式多样、新奇、分析方法灵活巧妙、难度相当高、数据极其简单的习题。

书中每个例题与习题都经精心设计,这表现在以下方面:

(1) 概念综合,求解巧妙 大量题目综合了电路理论的多个概念、原理、定律与定理,例如在一个题的求解中,要多次应用替代定理、线性定理、戴维宁定理、诺顿定理、互易定理及最大功率传输等定理。多数题目中设计有“玄关”,要依靠电路理论去识破它们,然后巧妙地将看似复杂的电路化作非常简单的电路,最后建立电路方程求解。这简化电路的过程是培养分析问题与解决问题能力的过程,也是考察所学电路理论能否融会贯通的过程。

(2) 数据简单 作者以支路号赋予元件参数值,例如设 $u_{S1}=1V$, $i_{S2}=2A$, $R_3=3\Omega$, $L_4=4H$, $C_5=5F$,……,并使计算结果也是一组良好的数字。这样设计一是便于教师举例,二是免去了乏味的数据运算,使学生感到做电路题是一种难以言表的享受。

(3) 电路图美观 书中所有电路元件尺寸划一,电路各部分结构比例协调和谐,有美感。

IV

全书有典型的精彩例题 179 个,习题 1001 个。

通过例题的演示与对习题的分析、求解,能使读者学到的电路理论概念清晰,融会贯通,解题思路敏捷,视野开阔。本书将有效地帮助你提高分析问题与解决问题的能力及电路的应试成绩。

本书特别适宜于要考研的学生与有关教师参考。

参加本书资料收集、整理等工作的还有章玮博士,黄小柳高工,以及章生根、赵梅芳、陶敏恩、陆渭琴。

由于编著者水平有限,差错难免,敬请广大读者批评指正。

编著者
于浙江大学电气学院

目 录

前言

第十一章 一阶电路的时域分析	1
第一节 理论提要	1
1. 暂态过程, 暂态电流与暂态电压	1
2. 换路	1
3. 一阶电路	1
4. 一阶电路的时间常数	1
5. 电压、电流初始值的确定	1
6. 一阶电路的微分方程及其解的一般形式	2
7. 用三要素法求解一阶电路的一般过程	3
8. RC 与 RL 电路的零输入响应	3
9. 零输入响应是初始值的线性函数	4
10. RC 与 RL 电路的零状态响应	4
11. RC 与 RL 电路的全响应	4
12. 全响应与零输入响应、零状态响应之间的关系	4
13. 零状态响应是激励的线性函数	4
14. 单位阶跃响应	5
15. 线性定常零状态电路的定常特性	5
16. 阶跃响应	5
17. 正弦函数激励下的响应	5
18. 时域中零初始电感器、电容器 Y 形网络与 Δ 形网络的等效变换	5
19. 冲激响应	9
20. 斜坡响应	10
21. 脉冲系列响应	11
22. 任意波形激励下的零状态响应——卷积	11
23. 一阶奇异电路	12
第二节 例题	12
第三节 习题	70
第十二章 二阶电路的时域分析	97
第一节 理论提要	97
1. 二阶电路	97
2. RLC 串联电路的零输入响应	97

3. GCL 并联电路的零输入响应	98
4. 一般二阶电路的零状态响应	98
5. 一般二阶电路的全响应	99
第二节 例题	99
第三节 习题	105
第十三章 线性定常电路的 s 域分析	108
第一节 理论提要	108
1. 拉普拉斯(Laplace)变换	108
2. 一些常用函数的拉普拉斯变换	108
3. 拉普拉斯反变换	108
4. 拉普拉斯变换的几个基本性质	110
5. 电路基本定律的 s 域形式	110
6. 线性定常电路的 s 域分析	110
7. s 域中的网络函数	114
8. 单位阶跃响应 $s(t)$ 、单位冲激响应 $h(t)$ 、单位斜坡响应 $m(t)$ 在 s 域中的 关系	115
第二节 例题	116
第三节 习题	132
第十四章 状态变量分析	146
第一节 理论提要	146
1. 状态	146
2. 状态变量	146
3. 状态方程及其标准形式	146
4. 输出方程及其标准形式	146
5. 常态树	146
6. 常态网络与非常态网络	147
7. 关于“最少量”含义	147
8. 常态网络状态方程直观编写的一般步骤	147
9. 非常态网络状态方程的直观编写	148
10. 线性时变常态网络状态方程的直观编写	148
11. 线性定常常态网络状态方程与输出方程的 s 域解	148
第二节 例题	149
第三节 习题	171
第十五章 线性网络的矩阵分析	175
第一节 理论提要	175
1. 关联矩阵与节点分析	175
2. 基本割集矩阵与割集分析	176

3. 网孔矩阵与网孔分析	177
4. 基本回路矩阵与回路分析	179
5. 矩阵 A 、 Q 、 M 、 B 之间的关系	180
6. 特勒根定理(Tellegen's Theorem)	183
第二节 例题	183
第三节 习题	208
第十六章 双口网络分析	217
第一节 理论提要	217
1. 双口网络的概念	217
2. 双口网络的六组参数及其相应的网络方程	217
3. 双口网络六组参数间的相互换算	218
4. 互易双口网络的等效网络	218
5. 复合双口网络	219
6. 有载双口网络	222
7. 回转器	223
8. 运算放大器	225
第二节 例题	226
第三节 习题	260
第十七章 简单非线性电阻电路分析	290
第一节 理论提要	290
1. 非线性电阻电路概述	290
2. 含有一个非线性电阻器的直流电阻网络	292
3. 非线性电阻器的串联与并联	293
4. 小信号分析法	295
第二节 例题	296
第三节 习题	312
习题答案	325
参考文献	363

第十一章 一阶电路的时域分析

本章涉及一阶电路的零输入、零状态、全响应，阶跃、冲激、斜坡、脉冲系列响应，卷积及一阶奇异电路等分析方法。

第一节 理论提要

1. 暂态过程，暂态电流与暂态电压

电路从一个状态变为另一个状态的过程，称为暂态过程。暂态过程中的电流、电压称为暂态电流、暂态电压。

2. 换路

电路中由于开关的换接，或是电路参数的突然改变，迫使电路的工作状态发生变化的外部因素，统称为换路。

3. 一阶电路

在换路后的电路中，单网络变量电路方程为一阶微分方程的电路，称为一阶电路（电路中只有一个独立的动态电路元件）。

4. 一阶电路的时间常数

在换路后的电路中，令独立源置零，将网络简化成图 11-1 所示电路，则有 RC、RL 电路的时间常数分别为

$$\tau = RC$$

与

$$\tau = L/R$$

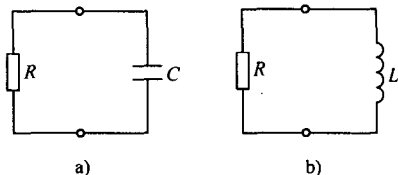


图 11-1 RC 与 RL 零输入电路

a) RC 零输入电路 b) RL 零输入电路

电路暂态过程的长短由 τ 决定。一般认为换路后经过 $3 \sim 5\tau$ ，暂态过程结束。

5. 电压、电流初始值的确定

设换路发生在 $t=0$ 。

(1) $u_C(0_+)$ 与 $i_L(0_+)$ 值的确定

在图 11-2a 中，在 $(0_-, 0_+)$ 内，若电流 i_C 中无 δ 函数，则有

$$u_C(0_+) = u_C(0_-)$$

(11-1a)

即电容电压连续变化；若 i_C 中含有冲激函数 $K\delta(t)$ (K 为任一常数)，则有

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) + K/C$$

即电容电压出现跳变。

在图 11-2b 中, 在 $(0_-, 0_+)$ 内, 若电压 u_L 中无 δ 函数, 则有

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) \quad (11-1b)$$

即电感电流连续变化; 若 u_L 中含有冲激函数 $K\delta(t)$, 则有

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) + K/L$$

即电感电流出现跳变。

在一阶电路分析中, 在大多数情况下, 条件式 (11-1) 成立。

(2) 其余网络变量 0_+ 值的确定

1) 画出 0_- 等效电路, 确定 $u_C(0_-)$ 与 $i_L(0_-)$ 值

如在 $t = 0_-$ 时电路处于稳态, 对于直流电源激励的电路, 将电感器 L 短接, 将电容器 C 开路, 确定 $u_C(0_-)$ 与 $i_L(0_-)$; 对于正弦函数激励的电路, 先用相量分析确定 $\dot{U}_C$ 、 $\dot{I}_L$, 然后写出相应时域式 $u_C(t)$ 与 $i_L(t)$, 令式中 $t = 0_-$, 确定 $u_C(0_-)$ 、 $i_L(0_-)$ 值。

2) 画出 0_+ 等效电路, 确定其余网络变量 $y(0_+)$ 值

将电容器 C 用 $u_C(0_+)$ 电压源代替, 将电感器 L 用 $i_L(0_+)$ 电流源代替, 激励源则用 $u_s(0_+)$ 与 $i_s(0_+)$ 直流电源替代, 经这样处理后, 0_+ 电路是一直流电阻网络, 然后确定各网络变量 $y(0_+)$ 值。

6. 一阶电路的微分方程及其解的一般形式

(1) 一阶电路微分方程的一般形式

如以 $y(t)$ 表示响应, 以 $f(t)$ 表示激励 (或是激励函数的导数), 换路发生在 $t = 0$, 则一阶电路微分方程的一般形式为

$$a \frac{dy(t)}{dt} + by(t) = f(t) \quad t \geq 0 \quad (11-2)$$

在线性定常电路中, 式中系数 a 、 b 为常数, 它们由电路参数 R 、 L 、 C 与受控电源的控制系数等组成。

(2) 一阶电路微分方程解的一般形式

$$y = y_p + Ae^{st} \quad t \geq 0 \quad (11-3)$$

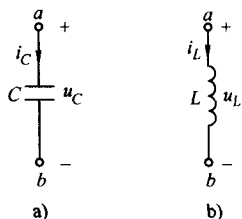


图 11-2 电容器与电感器上的电流、电压

a) 电容器上的电流、电压

b) 电感器上的电流、电压

式中, y_p 是特解, 即特别 (particular) 积分。特解是电路的强制响应。如果换路后的电路中存在稳态响应, 则 y_p 是新的稳态解 (对于直流电源激励的电路, 这个解用分析直流电路的方法求取; 对于正弦函数激励的电路, 这个解通过相量分析求得; 对于斜坡函数、负指数函数及冲激函数等激励的电路, 可用比较系数法求此特解)。 Ae^{st} 是通解。 s 是电路固有频率, 或自然频率, 它是非齐次方程式 (11-2) 变成齐次方程后特征方程的根, 即

$$as + b = 0 \quad s = -\frac{b}{a}$$

s 与 τ 之间的关系为

$$\tau = -\frac{1}{s}$$

A 是积分常数, 其值由电路初始条件 $y(0_+)$ 确定。

(3) 用三要素 y_p 、 $y(0_+)$ 与 τ 表示的一阶电路解的一般形式

在式 (11-3) 中令 $t = 0_+$ 后, 得

$$y = y_p + [y(0_+) - y_p(0_+)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \geq 0 \quad (11-4)$$

(4) 强制分量与自由分量

特解 y_p 受激励源的强制, 称为强制分量, 当 y_p 为稳态解时, y_p 又称为稳态分量; 通解 Ae^{st} , 即 $[y(0_+) - y_p(0_+)]e^{-\frac{t}{\tau}}$ 称为自由分量, 暂态分量, 或自然响应, 固有响应。

7. 用三要素法求解一阶电路的一般过程

1) 画出 0_- 等效电路, 确定 $u_C(0_-)$ 与 $i_L(0_-)$ 。确定 $u_C(0_-)$ 与 $i_L(0_-)$ 的目的

在于给出 $u_C(0_+)$ 与 $i_L(0_+)$ 。

2) 画出 0_+ 等效电路, 计算 $y(0_+)$ 值。

3) 画出求特解的电路, 计算 y_p 。

4) 画出求 τ 的电路, 计算 τ 。

5) 写出响应 y 。

在一阶电路的分析中, 除了要用卷积计算的响应外, 其余响应都能用三要素法计算。

8. RC 与 RL 电路的零输入响应

电路中没有外施激励, 仅由电容器上的初始电压和 (或) 电感器中的初始电流引起的响应, 称为零输入响应。

在零输入电路中, 电路微分方程式 (11-2) 成为齐次方程, 方程无特解, 其解由二要素确定, 从式 (11-4) 得

$$y = y(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \geq 0 \quad (11-5)$$

值得指出的是有两个例外:在换路瞬间,一是当串联电容器极板上的净电荷不等于零;二是并联电感器回路中的净磁链不等于零时,则这几个电容器上的电压与电感器中的电流将不是式(11-5)的形式,此时,在响应中除了指数项外,还包含一个常数项(见例 11-6 分析)。

9. 零输入响应是初始值的线性函数

在线性电路中,如果初始值为 $y^{(1)}(0_+)$ 时的零输入响应为

$$y^{(1)} = y^{(1)}(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \geq 0$$

初始值为 $y^{(2)}(0_+)$ 时的零输入响应为

$$y^{(2)} = y^{(2)}(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \geq 0$$

则有初始值为 $ay^{(1)}(0_+)$ (a 为任一常数)时的零输入响应为

$$y^{(3)} = ay^{(1)}(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} = ay^{(1)} \quad t \geq 0 \quad (\text{齐次性})$$

初始值为 $y^{(1)}(0_+) + y^{(2)}(0_+)$ 时的零输入响应为

$$\begin{aligned} y^{(4)} &= [y^{(1)}(0_+) + y^{(2)}(0_+)]e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= y^{(1)}(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} + y^{(2)}(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= y^{(1)} + y^{(2)} \quad t \geq 0 \quad (\text{可加性}) \end{aligned}$$

10. RC 与 RL 电路的零状态响应

电路初始状态为零(换路前一瞬间的电容电压与电感电流值为零),由外施激励引起的响应,称为零状态响应。

零状态响应的一般形式由式(11-4)给出。

11. RC 与 RL 电路的全响应

电路中由初始状态与外施激励共同引起的响应,称为全响应。

全响应的形式也由式(11-4)给出。全响应与零状态响应之区别,仅在于初始值 $y(0_+)$ 不同。

12. 全响应与零输入响应、零状态响应之间的关系

在线性电路中

$$\text{全响应} = \text{零输入响应} + \text{零状态响应}$$

13. 零状态响应是激励的线性函数

在线性电路中,如果激励为 $f_1(t)$ 时的零状态响应为 $y^{(1)}$,激励为 $f_2(t)$ 时的零状态响应为 $y^{(2)}$,则有激励为 $Kf_1(t)$ (K 为任一常数)时的零状态响应为 $Ky^{(1)}$ (齐次性);激励为 $f_1(t) + f_2(t)$ 时的零状态响应为

$$y = y^{(1)} + y^{(2)} \quad (\text{可加性}) \quad (11-6)$$

式(11-6)表明,在由几个独立源激励的线性电路中的零状态响应,等于各个独立源单独激励时零状态响应之代数和,即线性电路中的零状态响应满足叠加性。

必须指出,全响应不是激励的线性函数,也即全响应不满足叠加性。

14. 单位阶跃响应

电路在单位阶跃函数 $\epsilon(t)$ 激励下的零状态响应,称为单位阶跃响应,用特定符号 $s(t)$ 表示。

电路在延时单位阶跃函数 $\epsilon(t - t_0)$ 激励下的零状态响应,称为延时单位阶跃响应,用 $s(t - t_0)$ 表示。

15. 线性定常零状态电路的定常特性

在线性定常电路中,如果在 $f(t)$ 激励下的零状态响应为 $y(t)$,则在 $f(t - t_0)$ 激励下的零状态响应为 $y(t - t_0)$,这个性质称为线性定常零状态电路的定常特性。

16. 阶跃响应

电路在阶跃函数 $K\epsilon(t)$ 激励下的响应(电路可以是零状态,也可以是非零状态),称为阶跃响应,以 $y(t)$ 表示。

如果在 $K\epsilon(t)$ 激励下的电路为零状态,则有

$$y(t) = Ks(t)$$

在 $K\epsilon(t - t_0)$ 激励下的延时零状态阶跃响应则为

$$y(t) = Ks(t - t_0)$$

17. 正弦函数激励下的响应

在正弦函数激励下,特解为新的稳态响应,该响应借助于相量分析求取。

18. 时域中零初始电感器、电容器 Y 形网络与 Δ 形网络的等效变换

(1) 等效变换的条件

三个端钮上的电流不变,任意两端间的电压不变[亦即两个网络对应端钮间的输入电感(电容)不变]。

(2) 电感器 $\Delta \rightarrow Y$ 的参数换算

在图 11-3a、b 中,指定了相同的电流、电压参考方向。在图 11-3a 中, L_{12} 、 L_{23} 与 L_{31} 为给定,图 11-3b 等效网络中的 L_1 、 L_2 与 L_3 待定。在图 11-3a 中,设端钮 3 处于断开状态,则有端钮 1、2 间的输入电感为

$$L_{in12} = L_{12} // (L_{23} + L_{31}) = \frac{L_{12}(L_{23} + L_{31})}{L_{12} + L_{23} + L_{31}} \quad (11-7)$$

改设端钮 2 处于断开状态,则有端钮 1、3 间的输入电感为

$$L_{in13} = L_{31} // (L_{12} + L_{23}) = \frac{L_{31}(L_{12} + L_{23})}{L_{12} + L_{23} + L_{31}} \quad (11-8)$$

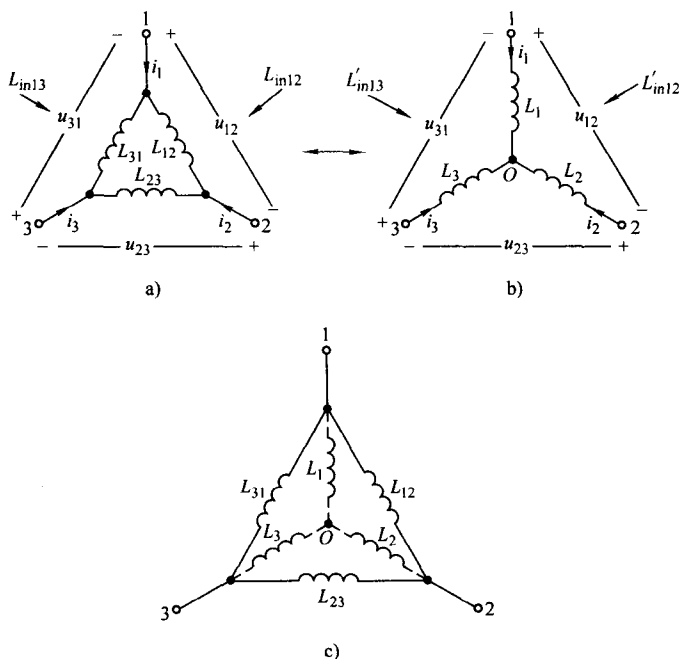


图 11-3 零初始电感器 Y-Δ 网络等效变换

a) Δ 形网络 b) Y 形网络 c) Y-Δ 变换

在图 11-3b 中, 设端钮 3 也处于断开状态, 则端钮 1、2 间的输入电感为

$$L'_{in12} = L_1 + L_2 \quad (11-9)$$

再改设端钮 2 处于断开状态, 则端钮 1、3 间的输入电感为

$$L'_{in13} = L_1 + L_3 \quad (11-10)$$

根据等效条件, 有

$$L_{in12} = L'_{in12} \quad L_{in13} = L'_{in13}$$

这样, 由式(11-7)与式(11-9)、式(11-8)与式(11-10)得

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{L_{31}L_{12}}{L_{12} + L_{23} + L_{31}} \\ &= \frac{\text{夹边乘积}}{\text{三边之和}} \\ L_2 &= \frac{L_{12}L_{23}}{L_{12} + L_{23} + L_{31}} \\ L_3 &= \frac{L_{23}L_{31}}{L_{12} + L_{23} + L_{31}} \end{aligned} \quad (11-11)$$

(3) 电感器 Y→Δ 的参数换算

在图 11-3b 中, 设 L_1 、 L_2 与 L_3 为给定, 图 11-3a 中的 L_{12} 、 L_{23} 与 L_{31} 待定, 解式(11-11)得

$$\begin{aligned}
 L_{12} &= \frac{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_3 L_1}{L_3} \\
 &= \frac{\text{两两依次连乘之和}}{\text{对边}} \\
 L_{23} &= \frac{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_3 L_1}{L_1} \\
 L_{31} &= \frac{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_3 L_1}{L_2}
 \end{aligned}
 \quad (11-12)$$

观察图 11-3c 与式(11-11)、式(11-12)可见, 电感器与电阻器的 Y- Δ 变换其参数换算公式是相似的。

(4) 电容器 Y $\rightarrow\Delta$ 的参数换算

在图 11-4a、b 中, 指定了相同的电流、电压参考方向。在图 11-4a 中, C_1 、 C_2 及 C_3 为给定, 图 11-4b 等效网络中的 C_{12} 、 C_{23} 与 C_{31} 待定。在图 11-4a 中, 将端钮

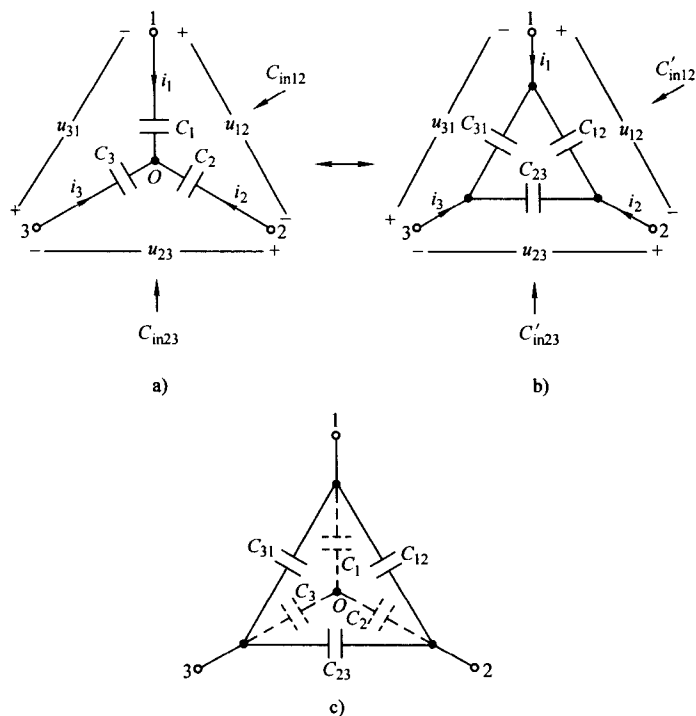


图 11-4 零初始电容器 Y- Δ 网络等效变换

a) Y 形网络 (b) Δ 形网络 (c) Y- Δ 变换

3 与 2 相连,则端钮 1、2 间的输入电容为

$$C_{in12} = C_2 // C_3 \text{ 串 } C_1 = \frac{(C_2 + C_3)C_1}{C_1 + C_2 + C_3} \quad (11-13)$$

改设端钮 3 与 1 相连,则端钮 2、3 间的输入电容为

$$C_{in23} = C_1 // C_3 \text{ 串 } C_2 = \frac{(C_1 + C_3)C_2}{C_1 + C_2 + C_3} \quad (11-14)$$

在图 11-4b 中,也将端钮 3 与 2 相连,则端钮 1、2 间的输入电容为

$$C'_{in12} = C_{12} // C_{31} = C_{12} + C_{31} \quad (11-15)$$

再改设端钮 3 与 1 相连,则端钮 2、3 间的输入电容为

$$C'_{in23} = C_{12} // C_{23} = C_{12} + C_{23} \quad (11-16)$$

根据等效条件有

$$C_{in12} = C'_{in12} \quad C_{in23} = C'_{in23}$$

这样由式(11-13)与式(11-15)、式(11-14)与式(11-16)得

$$\begin{aligned} C_{12} &= \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2 + C_3} \\ &= \frac{\text{相邻电容之乘积}}{\text{三电容之和}} \\ C_{23} &= \frac{C_2 C_3}{C_1 + C_2 + C_3} \\ C_{31} &= \frac{C_3 C_1}{C_1 + C_2 + C_3} \end{aligned} \quad (11-17)$$

(5) 电容器 $\Delta \rightarrow Y$ 的参数换算

在图 11-4b 中, C_{12} 、 C_{23} 及 C_{31} 为给定,而图 11-4a 中的 C_1 、 C_2 及 C_3 待定,解式(11-17)得

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{C_{12} C_{23} + C_{23} C_{31} + C_{31} C_{12}}{C_{23}} \\ &= \frac{\text{两两依次连乘之和}}{\text{对边}} \\ C_2 &= \frac{C_{12} C_{23} + C_{23} C_{31} + C_{31} C_{12}}{C_{31}} \\ C_3 &= \frac{C_{12} C_{23} + C_{23} C_{31} + C_{31} C_{12}}{C_{12}} \end{aligned} \quad (11-18)$$

观看图 11-4c 与式(11-17)、式(11-18),电容器与电阻器的 Y- Δ 变换的参数换算公式是不相似的。如将电容倒数,并稍作处理后则可得 Y- Δ 变换电容倒数的参数换算公式与 R 是相似的。

19. 冲激响应

(1) 单位冲激响应

电路在单位冲激函数 $\delta(t)$ 激励下的零状态响应,称为单位冲激响应,用特定符号 $h(t)$ 表示。

电路在延时单位冲激函数 $\delta(t-t_0)$ 激励下的零状态响应,称为延时单位冲激响应,以 $h(t-t_0)$ 表示。

(2) 冲激响应

电路在冲激函数 $K\delta(t)$ (K 为不等于 1 的常数) 激励下的响应(电路可以是零状态,也可以是非零状态),称为冲激响应,以 $y(t)$ 表示。

如果在 $K\delta(t)$ 激励下电路为零状态,这时有

$$y(t) = Kh(t)$$

在 $K\delta(t-t_0)$ 激励下的零状态响应为

$$y(t) = Kh(t-t_0)$$

(3) 冲激响应的算法

1) $h(t) = ds(t)/dt$ 法 单位冲激响应 $h(t)$ 是单位阶跃响应 $s(t)$ 的一阶导数。该方法的计算过程是,先将激励函数 $K\delta(t)$ 换作单位阶跃函数 $\epsilon(t)$,并设电路为零状态,计算相应单位阶跃响应 $s(t)$,然后对 $s(t)$ 求导得 $h(t)$,于是有冲激响应为

$$y(t) = Kh(t) + y(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad t \geq 0$$

式中后一项为零输入响应。

2) 零输入响应法(简捷法) 在冲激函数 $K\delta(t)$ 作用期间,即在 $t=0$,将电感器 L 开路,电容器 C 短接,计算 L 两端的开路电压 $u_L(0)$ 及电容器 C 支路中的短路电流 $i_C(0)$,在关联方向下,由 $u_L(0)$ 在 L 中建立的初始电流为

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) + \frac{1}{L} \int_{0_-}^{0_+} u_L(0) d\xi$$

由 $i_C(0)$ 在电容器上建立的初始电压为

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) + \frac{1}{C} \int_{0_-}^{0_+} i_C(0) d\xi$$

于是冲激响应 u_C 及 i_L 有如下形式

$$y = y(0_+) \epsilon(t) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

必须着重指出,用简捷法确定 $u_C(0_+)$ 及 $i_L(0_+)$ 后,只有响应 u_C 及 i_L 是上面的形式,而其余冲激响应不一定是这个形式(其他响应需通过 u_C 及 i_L 确定,见例