

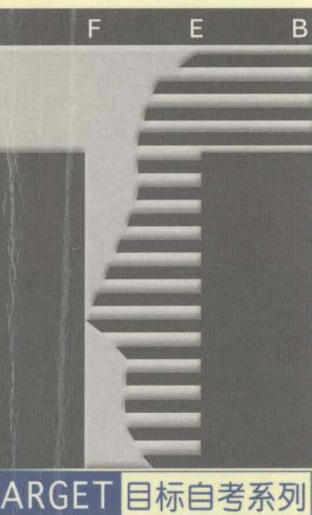
信号与系统

高等教育自学考试同步辅导/同步训练

全国高等教育自学考试指定教材辅导用书

李文健 / 主编

通信技术专业(专科)

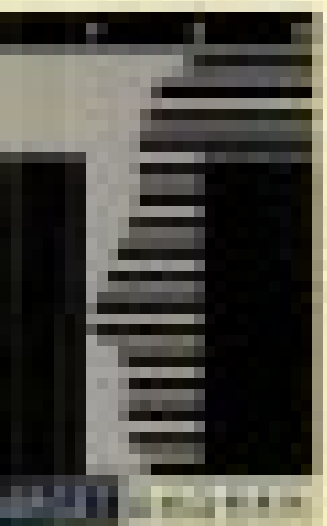


中国音乐史话

中国音乐史话

中国音乐史话

中国音乐史话



全国高等教育自学考试指定教材辅导用书

高等教育自学考试同步辅导/同步训练

信号与系统

李文健 主 编

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

信号与系统/李文健主编. —北京: 煤炭工业出版社,
2001

(高等教育自学考试同步辅导/同步训练)
全国高等教育自学考试指定教材辅导用书
ISBN 7-5020-2006-3

I. 信… II. 李… III. 信号系统-高等教育-自
学考试-自学参考资料 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 15404 号

全国高等教育自学考试指定教材辅导用书
高等教育自学考试同步辅导/同步训练

信号与系统

李文健 主编

责任编辑: 王铁根

*

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

北京航信印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 $880 \times 1230 \text{mm}^{1/32}$ 印张 $5^{7/8}$
字数 161 千字 印数 30,001—40,000
2001 年 6 月第 1 版 2002 年 9 月第 4 次印刷
社内编号 4777 定价 12.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

说 明

本书是全国高等教育自学考试指定教材《信号与系统》(通信技术专业——专科)的配套辅导用书。

本书的编写依据:

1. 全国高等教育自学考试指导委员会颁布的《信号与系统自学考试大纲》;

2. 全国高等教育自学考试指导委员会组编的指定教材《信号与系统》(杨林耀主编,中国人民大学出版社出版)。

本书特点:

1. 本书在编写过程中,严格以考试大纲为依据,以指定教材为基础,充分体现“在考查课程主体知识的同时,注重考查能力,尤其是应用能力”的新的命题指导思想。

2. 全书完全依照指定教材的结构,以章为单位,每章设“知识重点”、“同步练习”、“参考答案”三部分。“知识重点”主要是对该章内容的总结归纳。“同步练习”则根据考试大纲对各知识点不同能力层次的要求,将知识点及知识点下的细目以各种主要考试题型的形式编写,覆盖全部考核内容,适当突出重点章节,并且加大重点内容的覆盖密度。“参考答案”是对同步练习中所有试题的解答。

3. 两套模拟试题综合了考试大纲和教材对应试者的要求,可用于检验应试者的学习效果。

本书可供集体组织参加高等教育自学考试和个人自学使用,也可供相关专业人士参加其他考试使用。

编写高质量的全国高等教育自学考试辅导用书,是社会助学的
一个重要环节。毫无疑问,这是一项艰难而有意义的工作,需要社会
各方面的关怀与支持,使它在使用中不断提高和日臻完善。

敬请读者批评指正。

编 者

2001 年 2 月

目 录

第一章 双口网络与谐振电路	(1)
知识重点	(1)
同步练习	(21)
参考答案	(26)
第二章 连续系统的时域分析	(30)
知识重点	(30)
同步练习	(51)
参考答案	(57)
第三章 连续系统的频域分析	(65)
知识重点	(65)
同步练习	(80)
参考答案	(86)
第四章 连续系统的复频分析	(96)
知识重点	(96)
同步练习	(120)
参考答案	(126)
第五章 离散系统分析	(134)
知识重点	(134)
同步练习	(152)
参考答案	(157)
模拟试题(一)	(163)
参考答案	(165)
模拟试题(二)	(168)

参考答案	(169)
附表一 几种常用二端口网络的参数	(172)
附表二 常用齐次解形式	(173)
附表三 网络函数的参数表达式	(173)
附表四 常用特解形式	(174)
附表五 常用信号的傅氏级数	(175)
附表六 常用信号的傅氏变换对	(176)
附表七 傅里叶变换的主要性质	(176)
附表八 常用函数的拉氏变换表	(177)
附表九 拉氏变换的性质	(178)
附表十 单边 Z 变换的性质	(179)

第一章 双口网络与谐振电路

知识重点

双口网络分析与谐振电路基本概念是本章相对独立的两个组成部分。

双端口网络是各种复杂应用系统的基础组成,因而对它的分析方法进行了比较深入的学习,应该成为电子、通讯、计算机、自动化等相关专业自然或必然的要求。学习本章知识,要注意与电路分析理论的区别和联系。比如,在双口网络的分析计算中,我们始终着眼于网络的端口特性,即外部电信号表现。但也必然需要一些电路分析原理、定理和计算技能的支持。换句话说,我们在本章是从网络和系统的角度而不仅仅从元件性能的角度来分析电路及其对信号的处理。其实,这也是本书的理论宗旨之一。

谐振电路的有关概念在电工原理、电子线路等专业基础理论中都有较深入的分析探讨,这也从一个侧面反映出该理论的应用是相当广泛的,读者应在本章的学习中巩固基本概念,强化常用计算,使之对其他各个应用领域都有比较准确的理论指导意义。

本章涉及术语较多,同一课程不同教材或者相关课程中的术语有些是容易混淆的,学习过程中应勤于比较鉴别。另外,使用规范化的电路、电量符号,也是十分重要的,初学者往往容易忽视这一点。

第一节 双口网络方程与参数

一、双口网络模型约定

(1) 输入电压 $\dot{U}_1$ 、电流 $\dot{I}_1$ 和输出电压 $\dot{U}_2$ 、电流 $\dot{I}_2$ 的参数方向如图 1—1—1 所示。

(2) 采用正弦稳态相量作为电压、电流、阻抗和功率数值模型。这样不仅便于问题讨论,而且不影响分析结论的普遍指导意义。即:非正弦稳态信号的作用分析可用相仿的分析计算手段来进行。

(3) 仅限于无源线性时不变网络进行分析, 包含受控源的线性时不变网络在此范畴以内。

二、 Z 方程与 Z 参数

本节的重点是掌握运用参数方程分析解决问题的方法, 所以首先最为重要的

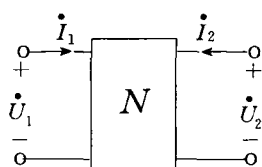


图1-1-1 双口网络基本模型

是能写出方程形式。死记硬背是不足取的, 对于 Z 方程和 Y 方程, 可从物理量纲的角度, 切入对 Z 方程和 Y 方程的理解。如: Z 参数作为方程中的变量系数, 量纲为(阻抗)欧姆, 所以方程形式应为:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= z_{11}\dot{I}_1 + z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= z_{21}\dot{I}_1 + z_{22}\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1-1)$$

进而可推断:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= z_{11}\dot{I}_1 + z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= z_{21}\dot{I}_1 + z_{22}\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1-2)$$

用初等代数的方法, 便可进一步求出 Z 参数的定义式:

$$\begin{aligned} z_{11} &= \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} \\ z_{21} &= \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} \\ z_{12} &= \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} \\ z_{22} &= \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} \end{aligned} \quad (1-1-3)$$

以上 Z 参数的定义式可以指导我们进行电路计算, 或者指导我们用实验测量的方法来求取 Z 参数。特别应注意到 Z_{11} , 即输出开路时的输入阻抗, Z_{22} 即是输入开路时的输出阻抗。

另外,由于互易或可逆网络满足 $\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1}$, 所以 $Z_{12} = Z_{21}$ 。又因为对称网络一定互易, 且输入输出(开路条件下)阻抗自然相等: $Z_{11} = Z_{22}$, 所以对称网络实际只有两个独立的 Z 参数, 而互易网络有三个独立 Z 参数。

网络的串并联或级联分析中, 用矩阵形式的参数方程比较方便, 所以 Z 参数方程可写为:

$$\dot{U} = Z \dot{I} \quad (1-1-4)$$

$$\text{其中 } \dot{U} = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} \quad \dot{I} = \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$$

三、 Y 方程与 Y 参数

Y 参数是 Z 参数的对偶参数, Y 方程也是 Z 方程的对偶方程, 因而方程的数学模型构建方法及其物理概念的理解, 完全可以参照对偶规则给出。如, 导纳乘电压为电流, 故而

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 &= y_{11}\dot{U}_1 + y_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= y_{21}\dot{U}_1 + y_{22}\dot{U}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1-5)$$

类似地, 参数的矩阵式为:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \quad (1-1-6)$$

因而 $I = YU$ 。

熟悉矩阵运算的读者不难导出利用逆矩阵求法进行参数转换的公式:

$$Z = Y^{-1} \quad Y = Z^{-1} \quad (1-1-7)$$

四、 A 方程与 A 参数

A 参数也称作传输参数。应该注意到 A 参数方程是关于 $(-\dot{I}_2)$ 的, 并且以输出变量作方程的自变量, 而输入变量 $\dot{I}_1, \dot{U}_1$ 作因变量。

(3) 仅限于无源线性时不变网络进行分析, 包含受控源的线性时不变网络在此范畴以内。

二、Z 方程与 Z 参数

本节的重点是掌握运用参数方程分析解决问题的方法, 所以首先最为重要的

是能写出方程形式。死记硬背是不足取的, 对于 Z 方程和 Y 方程, 可从物理量纲的角度, 切入对 Z 方程和 Y 方程的理解。如: Z 参数作为方程中的变量系数, 量纲为(阻抗)欧姆, 所以方程形式应为:

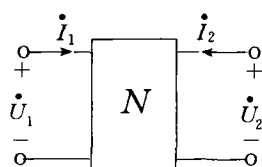


图1-1-1 双口网络基本模型

$$\left. \begin{aligned} \dot{U} &= z_{11}\dot{I} + z_{12}\dot{I} \\ \dot{U} &= z_{21}\dot{I} + z_{22}\dot{I} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-1)$$

进而可推断:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= z_{11}\dot{I}_1 + z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= z_{21}\dot{I}_1 + z_{22}\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1-2)$$

用初等代数的方法, 便可进一步求出 Z 参数的定义式:

$$\begin{aligned} z_{11} &= \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} \\ z_{21} &= \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} \\ z_{12} &= \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} \\ z_{22} &= \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} \end{aligned} \quad (1-1-3)$$

以上 Z 参数的定义式可以指导我们进行电路计算, 或者指导我们用实验测量的方法来求取 Z 参数。特别应注意到 Z_{11} , 即输出开路时的输入阻抗, Z_{22} 即是输入开路时的输出阻抗。

$$a_{21} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{I_2=0} \quad \text{空载转移导纳}$$

$$a_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{-\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0} \quad \text{短路转移阻抗} \quad (1-1-13)$$

$$a_{22} = \left. \frac{\dot{I}_1}{-\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0} \quad \text{短路电流传输比、短路电流比}$$

若双口网络互易,则行列式:

$$|A| = \Delta_a = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} = 1 \quad (1-1-14)$$

再若是对称双口网络,则:

$$a_{11} = a_{22}$$

五、 H 方程与 H 参数

H 方程一般是针对晶体管低频电路分析应用的,而晶体管的电路模型为电压控制的电流源,这样 H 参数 h_{11} 、 h_{21} 、 h_{12} 和 h_{22} 便与晶体管的输入阻抗、正向电流放大系数、反向电压传输比以及输出导纳参数十分吻合。故而方程形式为:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= h_{11}\dot{I}_1 + h_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= h_{21}\dot{I}_1 + h_{22}\dot{U}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1-15)$$

结合以上概念,便容易正确写出 H 方程及 H 参数定义式。另外,关于互易网络,可以证明:

$$h_{12} = -h_{21}$$

对于对称网络,又有:

$$\Delta_h = h_{11}h_{12} - h_{12}h_{21} = 1$$

其中 Δ_h 为 H 参数矩阵的行列式值。

六、小结

(1) 同一双口网络的四种参数方程,只是形式不同,无论哪一组参数对输入输出变量变化的约束作用是一样的,即端口上的电压电流无论用哪一组方程都可得出相同的分析计算结果,因此也就不需怀疑各组参数之间存在相互转换的关系。求解这些关系当然可采用

如何理解 A 方程数学模型这一规定呢?我们可以看一下两个 A 参数

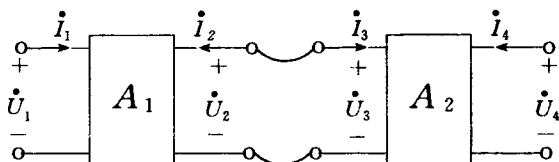


图1-1-2 A 参数网络级联

网络级联(图 1-1-2)的情况。由 A 参数矩阵方程知:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = A_1 \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ -\dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad (1-1-8)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_3 \\ \dot{I}_3 \end{bmatrix} = A_2 \begin{bmatrix} \dot{U}_4 \\ -\dot{I}_4 \end{bmatrix} \quad (1-1-9)$$

显然

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ -\dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_3 \\ \dot{I}_3 \end{bmatrix} \quad (1-1-10)$$

所以可将式(1-1-9)代入(1-1-8),得:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = A_1 \cdot A_2 \begin{bmatrix} \dot{U}_4 \\ -\dot{I}_4 \end{bmatrix} \quad (1-1-11)$$

上式说明级联网络的 A 参数为: $A = A_1 \cdot A_2$ 。

由此便不难理解 A 方程数学形式蕴含的物理意义。如果比较熟悉地记住了 A 方程,便可轻易推出 A 参数的定义式,请读者同时注意 A 参数四元素的物理意义:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= a_{11}\dot{U}_2 + a_{12}(-\dot{I}_2) \\ \dot{I}_1 &= a_{21}\dot{U}_2 + a_{22}(-\dot{I}_2) \end{aligned} \right\} \quad (1-1-12)$$

从而有:

$$a_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_2=0} \quad \text{空负载电压传输比、空载电压比}$$

$$a_{21} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_2=0}$$

$$a_{22} = \left. \frac{\dot{I}_1}{-\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0}$$

显然,问题的关键就是求取这些电压电流的关系,在电路结构清楚的情况下,一般我们总选择电路理论为我们提供的最简便方法,计算时应特别注意电路条件的变化,并合理加以利用。

求 a_{11} , 因为 $\dot{I}_2 = 0$, 故:

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= \frac{\dot{U}_1}{Z_{in}} = \frac{\dot{U}_1}{jX_L + (jX_L - jX_C) // (-jX_C)} \\ &= \frac{\dot{U}_1}{j10 + \frac{20(-10)}{-j30}} \\ &= \frac{3\dot{U}_1}{j10}\end{aligned}$$

由 $\dot{I}_1$ 的分流关系可求出:

$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= \left[\dot{I}_1 \frac{-jX_C}{(-jX_C + jX_L - jX_C)} \right] \cdot (-jX_C) \\ &= \frac{\dot{I}_1 \cdot X_C^2}{2jX_C - jX_L} = \frac{40}{j3} \cdot \dot{I}_1 \quad (1-1-16) \\ &= \frac{40}{j3} \times \frac{3\dot{U}_1}{j10} = -4\dot{U}_1\end{aligned}$$

得: $\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = -\frac{1}{4}, \quad a_{11} = -\frac{1}{4} = -0.25$

求: $a_{21} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_2=0}$, 由式(1-1-16)可得:

$$a_{21} = \frac{j3}{40} = j0.075 \text{ (西门子) (以下简称“西”或记作“s”)。}$$

求 a_{12} 则应令 $\dot{U}_2 = 0$, 输出端短路。可见, $\dot{U}_1$ 和 $-\dot{I}_2$ 的关系实质是 $\dot{I}_1$

最简单直接的方程求解变换法,但本教材不作这方面的具体要求。

(2) 充分认识网络参数仅只取决于网络内部结构、元件参数而与端上负载状态无关。应该从两层意思上加以理解。

① 参数的求取没有端负载的参与,都是开短路状态下的网络端口参数。

② 无论两端口负载、电源状况如何,端口电压电流 $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_1, \dot{I}_2$ 始终受参数方程约束,即负载可能改变端口变量的值,但不改变它们之间的约束关系——一种多维线性关系。

(3) 作为正弦稳态相量模型,网络参数实际上还是频率的函数。一般说来频率是作为参变量介入网络分析计算的。

七、典型例题

读者在充分消化教材中的有关例题之后,作为开拓眼界或适应不同分析条件,可选阅本书提供的部分典型例题。读者研读这类例题,应注意轻技巧、重方法,努力发掘解决问题的关键步骤和基本思路,从而逐步培养自己独立分析解决问题的能力。

例 1—1—1 已知图(图 1—1—3) 示二端口网络中 $X_L = \omega L = 10$ 欧, $X_C = \frac{1}{\omega C} = 20$ 欧,求其 A 参数。

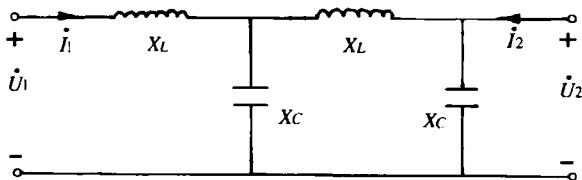


图 1—1—3 电抗二端口网络

解: 由 A 方程或 A 参数定义可知:

$$a_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_2=0}$$

$$a_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{-\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0}$$

阻抗就是策动点导纳,且它们互为倒数关系。输入端策动点阻抗其实正是输入阻抗,同理输出端策动点阻抗就是输出阻抗。设双口网络 N 的激励负载状况如图 1—2—1 所示。

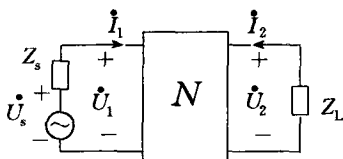


图 1—2—1 双口网络的有载模型

由电路基本理论知, N 网络左侧输入端的输入阻抗:

$$Z_{in} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \quad (1-2-2)$$

从上节网络参数方程理论知, $\dot{U}_1$ 、 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 和 $\dot{I}_2$ 仍要满足参数方程的约束:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= a_{11}\dot{U}_2 + a_{12}(-\dot{I}_2) \\ \dot{I}_1 &= a_{21}\dot{U}_2 + a_{22}(-\dot{I}_2) \end{aligned} \right\} \quad (1-2-3)$$

$$\text{所以: } Z_{in} \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{a_{11}\dot{U}_2 + a_{12}(-\dot{I}_2)}{a_{21}\dot{U}_2 + a_{22}(-\dot{I}_2)} = \frac{a_{11}\left[\frac{\dot{U}_2}{-\dot{I}_2}\right] + a_{12}}{a_{21}\left[\frac{\dot{U}_2}{-\dot{I}_2}\right] + a_{22}}$$

由上式可以看出,由于 Z_L 的接入,肯定要改变 $\dot{U}_2$ 和 $(-\dot{I}_2)$ 的比值关系,但不影响它们都仍满足方程组(1—2—3)的约束。由此我们得到:

$$Z_{in} = \frac{a_{11}Z_L + a_{12}}{a_{21}Z_L + a_{22}} \quad (1-2-4)$$

从以上推导中进一步看到网络方程的重要意义。我们可以不去死记 Z_{in} 的上述计算公式,而只需有网络 A 方程。

仅从 A 参数定义的对称性便不难理解,输出阻抗

$$Z_{out} = \frac{a_{22}Z_s + a_{12}}{a_{21}Z_s + a_{11}} \quad (1-2-5)$$

其中 Z_s 是或可视为 $\dot{U}_s$ 的电源内阻抗。上式同样也可以经简单