



附：信号与系统自学考试大纲

信号与系统

组编 / 全国高等教育自学考试指导委员会
主编 / 杨林耀

全国高等教育自学考试指定教材 通信技术专业 (专科)

中国人民大学出版社



新编五中

卷一



全国高等教育自学考试指定教材
通信技术专业（专科）

信号与系统

（附：信号与系统自学考试大纲）

全国高等教育自学考试指导委员会 组编

主 编 杨林耀

副主编 张永瑞

中国人民大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

信号与系统 (附: 信号与系统自学考试大纲) / 杨林耀, 张永瑞主编.

北京: 中国人民大学出版社, 2000.2

全国高等教育自学考试指定教材 通信技术专业 (专科)

ISBN 7-300-03388-1/G·656

I. 信…

II. ①杨… ②张…

III. ①信号分析-高等教育-自学考试-教材

②信号系统-高等教育-自学考试-教材

IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 03196 号

全国高等教育自学考试指定教材

通信技术专业 (专科)

信号与系统

(附: 信号与系统自学考试大纲)

全国高等教育自学考试指导委员会 组编

主编 杨林耀 副主编 张永瑞

责任编辑 陈艳春 陈培林 潘旭燕

版式设计 王坤杰

出版发行: 中国人民大学出版社

(北京海淀路 157 号 邮编 100080)

E-mail: rendafx@public3.bta.net.cn

印刷: 北京友谊印刷有限公司

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15.75

2000 年 4 月第 1 版 2006 年 5 月第 8 次印刷

字数: 390 000 册数: 61151-66150

定价: 20.00 元

本书如有质量问题, 请与教材供应部门联系。

组 编 前 言

当您开始阅读本书时,人类已经迈入了 21 世纪。

这是一个变幻难测的世纪,这是一个催人奋进的时代。科学技术飞速发展,知识更替日新月异。希望、困惑、机遇、挑战,随时随地都有可能出现在每一个社会成员的生活之中。抓住机遇,寻求发展,迎接挑战,适应变化的制胜法宝就是学习——依靠自己学习、终生学习。

作为我国高等教育组成部分的自学考试,其职责就是在高等教育这个水平上倡导自学、鼓励自学、帮助自学、推动自学,为每一个自学者铺就成才之路。组织编写供读者学习的教材就是履行这个职责的重要环节。毫无疑问,这种教材应当适合自学,应当有利于学习者掌握、了解新知识、新信息,有利于学习者增强创新意识、培养实践能力、形成自学能力,也有利于学习者学以致用、解决实际工作中所遇到的问题。具有如此特点的书,我们虽然沿用了“教材”这个概念,但它与那种仅供教师讲、学生听,教师不讲、学生不懂,以“教”为中心的教科书相比,已经在内容安排、形式体例、行文风格等方面都大不相同了。希望读者对此有所了解,以便从一开始就树立起依靠自己学习的坚定信念,不断探索适合自己的学习方法,充分利用已有的知识基础和实际工作经验,最大限度地发挥自己的潜能达到学习的目标。

欢迎读者提出意见和建议。

祝每一位读者自学成功。

全国高等教育自学考试指导委员会

1999 年 10 月

编 者 的 话

本书是根据全国高等教育自学考试指导委员会制定的《信号与系统自学考试大纲》的要求,并结合自学考试的特点,为通信技术、电子工程等专业(专科)编写的教材。

本书讨论了信号与系统的基本理论和分析方法。全书共分为五章:双口网络与谐振电路,连续时间信号与系统的时域分析,连续系统的频域分析,连续系统的复频域分析,离散时间信号和离散系统分析。本课程理论教学约 70 学时到 80 学时。

在教材编写过程中,充分考虑了大专层次水平和学生自学的特点。力求做到基本理论以必须够用为度,内容上不片面追求理论的严密性,力求体现应用性和针对性,省略了对大专层次不作要求的数学推导和证明。全书配合理论列举了较多的例题,以利于学生更好地掌握基本理论和分析方法。不仅每章配置了习题,而且每一节后面有练习题,便于学生思考与练习。每章后面的小结对全章内容作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。根据高等教育自学考试通信技术专业(专科)的考试计划要求,本书主要以讨论和分析连续时间信号和连续系统为主,对离散时间信号和离散系统仅作简要介绍。

西安电子科技大学的杨林耀同志编写第一、二、五章,张永瑞同志编写第三、四章。本教材由西北工业大学的范士贵教授、段哲民教授和西安邮电学院的高其钟副教授审阅,他们对教材的编写和内容提出了许多宝贵意见。上海交通大学的陈敏逊教授对本教材的编审工作给予了热情的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中还会存在一些不足和错误,恳请读者批评、指正。

编者

1999 年 9 月

目 录

信号与系统

第一章 双口网络与谐振电路	(3)
第一节 双口网络的方程与参数	(3)
一、 Z 方程与 Z 参数	(4)
二、 Y 方程与 Y 参数	(7)
三、 A 方程与 A 参数	(9)
四、 H 方程与 H 参数	(11)
练习题	(14)
第二节 网络函数与特性参数	(15)
一、网络函数	(15)
二、特性参数	(20)
练习题	(23)
第三节 RLC 串联谐振电路	(24)
一、串联谐振	(25)
二、频率响应	(27)
练习题	(31)
第四节 GCL 并联谐振电路	(32)
一、并联谐振	(32)
二、频率响应	(35)
练习题	(36)
小结	(37)
习题一	(39)
自检题一	(42)
第二章 连续时间信号与系统的时域分析	(44)
第一节 信号的基本运算与变换	(44)
一、信号的基本运算	(44)
二、信号的变换	(45)
练习题	(47)
第二节 阶跃函数和冲激函数	(48)

一、阶跃函数和冲激函数.....	(48)
二、单位冲激函数的性质.....	(51)
练习题	(52)
第三节 线性时不变连续系统的响应	(53)
一、系统的数学模型及其解.....	(55)
二、零输入响应与零状态响应.....	(61)
练习题	(63)
第四节 冲激响应与阶跃响应	(64)
一、冲激响应.....	(64)
二、阶跃响应.....	(66)
练习题	(68)
第五节 用卷积积分法求零状态响应	(69)
一、卷积积分.....	(69)
二、卷积的图示.....	(71)
三、卷积积分的性质.....	(74)
练习题	(76)
小结	(77)
习题二	(78)
自检题二	(83)
第三章 连续系统的频域分析	(85)
第一节 周期信号的频谱	(85)
一、傅里叶级数.....	(85)
二、周期信号的频谱.....	(92)
三、周期信号的平均功率和有效值.....	(95)
练习题	(96)
第二节 非周期信号的频谱	(97)
一、傅里叶变换.....	(97)
二、常用非周期信号的频谱.....	(99)
练习题.....	(105)
第三节 傅里叶变换的性质.....	(105)
一、线性性质	(105)
二、时移性质	(107)
三、频移性质	(107)
四、尺度变换性质	(109)
五、对称性质	(110)
六、卷积定理	(112)
七、时域微分性质	(114)
八、时域积分性质	(114)
练习题.....	(116)

第四节 连续系统的频域分析	(117)
一、周期信号激励下系统的响应	(117)
二、非周期信号激励下系统的响应	(121)
练习题	(124)
小结	(125)
习题三	(127)
自检题三	(132)
第四章 连续系统的复频域分析	(133)
第一节 拉普拉斯变换	(133)
一、从傅里叶积分到双边拉普拉斯变换	(133)
二、单边拉普拉斯变换	(134)
三、常用函数的拉氏变换对	(136)
练习题	(138)
第二节 拉普拉斯变换的性质	(139)
一、线性性质	(139)
二、延时性质	(140)
三、时域微分性质	(142)
四、时域积分性质	(144)
五、时域卷积定理	(147)
练习题	(149)
第三节 拉普拉斯逆变换	(150)
一、查表法	(150)
二、部分分式展开法	(151)
练习题	(157)
第四节 连续系统的复频域分析	(157)
一、拉氏变换求解微分方程	(157)
二、拉氏变换法分析电路	(160)
练习题	(167)
第五节 系统模拟与系统函数	(168)
一、系统模拟	(168)
二、系统函数 $H(s)$	(172)
三、 $H(s)$ 的零、极点与时域特性的关系	(174)
四、系统的因果性和稳定性	(177)
练习题	(179)
小结	(180)
习题四	(181)
自检题四	(185)
第五章 离散时间信号和离散系统分析	(187)
第一节 离散时间信号	(187)

一、离散时间信号	(187)
二、基本离散信号	(188)
三、序列的运算与变换	(190)
练习题	(191)
第二节 离散系统的时域分析	(192)
一、离散系统的描述与数学模型	(192)
二、差分方程的解	(193)
三、离散系统的零输入响应与零状态响应	(196)
四、离散系统的单位序列响应	(198)
五、用卷积和求零状态响应	(200)
练习题	(204)
第三节 Z 变换	(205)
一、 Z 变换	(205)
二、 Z 变换的性质	(207)
三、逆 Z 变换	(210)
练习题	(212)
第四节 离散系统的 Z 域分析	(213)
一、差分方程的变换域解法	(213)
二、系统函数	(215)
三、系统的稳定性	(217)
练习题	(218)
小结	(219)
习题五	(220)
自检题五	(223)
参考文献	(225)

附 信号与系统自学考试大纲

出版前言	(229)
I. 课程性质及其设置的目的和要求	(230)
II. 课程内容与考核目标	(231)
III. 有关说明和实施要求	(239)
附录 题型举例	(241)
后记	(243)

信号与系统

第一章 双口网络与谐振电路

本章内容由两部分组成:双口网络与谐振电路。

随着大规模、超大规模集成电路的发展,研究电路的外部端口特性显得更为重要。这时我们关心的不是网络内部的电流、电压,而是那些与外部连接的端子上的电流、电压。就整个网络(或部件)的外部特性而言,我们可以把它看成一个“黑盒子”,其内部的结构如何是无关紧要的,重要的是要知道其外部端子上电压与电流的关系。一旦这些关系已知,那么网络(或部件)的外特性就完全确定了。本章前面两节将研究双口网络的外部端口电压、电流之间的关系以及电压、电流的传输特性。

谐振电路在通信技术和无线电技术中得到了广泛应用,例如从众多的广播电台,电视台中选出我们所需要的节目,而抑制其他电(视)台的信号和干扰信号,正是利用了谐振电路所具有的选择特性。本章的第三、四节将讨论 RLC 串联谐振电路和 GCL 并联谐振电路在谐振时的特性以及频率响应、通频带的计算等。

第一节 双口网络的方程与参数

如果一个网络有 n 个端子与外部电路相连接,就称其为 n 端网络,如图 1-1-1(a)所示。

对任一网络,如果其中的两个端子,譬如端子 k 和 k' ,若在所有的时间 t ,流入端子 k 的电流 i_k 与流出端子 k' 的电流 i'_k 是同一电流,则称这一对端子 k 和 k' 为一个端口。若网络有 n 个端口,则称为 n 端口网络,如图 1-1-1(b)所示。若网络有两个端口,则称为二端口网络或双口网络,如图 1-1-1(c)所示。

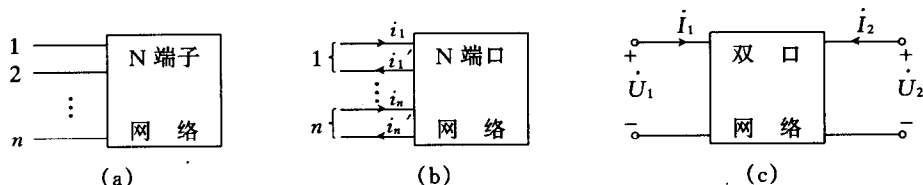


图 1-1-1 不同类别的网络

本章将讨论线性双口网络的描述及其特性分析方法。为了便于讨论,我们约定:

(1)双口网络的端口电压、电流参考方向如图 1-1-1(c)所示,即端口电流的参考方向均为流入双口网络,且采用正弦稳态相量模型。

(2)双口网络内部不含独立电源,且初始状态为零的线性时不变网络。

通常,双口网络的左边端口与激励源相接,称为输入端口(或入口);右边的端口与负载相接,称为输出端口(或出口)。双口网络端口的四个变量 $\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2$ 中,若任选两个作为自变量,而另外两个作为应变量,则可列写出描述双口网络端口电压、电流关系的六组不同的方程。下面将讨论四种常用的方程和参数,即 Z 方程, Y 方程, A 方程, H 方程及其相应的参数。

一、 Z 方程与 Z 参数

如果以端口电流 $\dot{I}_1, \dot{I}_2$ 为自变量,端口电压 $\dot{U}_1, \dot{U}_2$ 为应变量,根据替代定理,端口电流 $\dot{I}_1, \dot{I}_2$ 可用相应的电流源来替代,如图 1-1-2(a)所示,则根据叠加定理可得

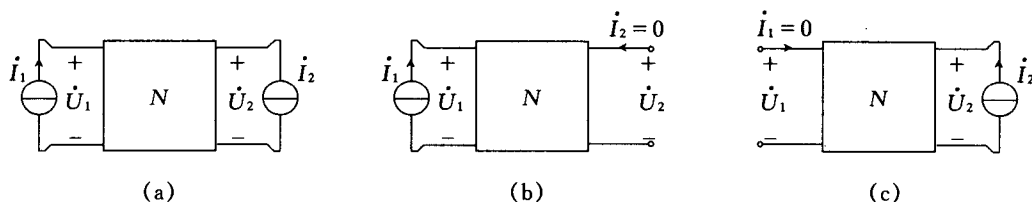


图 1-1-2 推导双口网络的 Z 方程和 Z 参数用图

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = z_{11}\dot{I}_1 + z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = z_{21}\dot{I}_1 + z_{22}\dot{I}_2 \end{cases} \quad (1-1-1)$$

式(1-1-1)称为双口网络的 Z 方程,式中 $\dot{I}_1, \dot{I}_2$ 前面的系数 $z_{kj} (k, j = 1, 2)$ 称为双口网络的 Z 参数,它们具有阻抗的量纲。 Z 参数可以由式(1-1-1)的 Z 方程分别令 $\dot{I}_2 = 0, \dot{I}_1 = 0$ 求得,如图 1-1-2(b)和(c)所示,即

$$z_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} \quad (1-1-2a)$$

$$z_{21} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} \quad (1-1-2b)$$

$$z_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} \quad (1-1-2c)$$

$$z_{22} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} \quad (1-1-2d)$$

式(1-1-2)表明了各参数的物理意义及其求取方法。 z_{11} 称为出口开路时的输入阻抗, z_{21} 称为出口开路时的正向转移阻抗。 z_{12} 和 z_{22} 分别称为入口开路时的反向转移阻抗和输出阻抗。由此可知, Z 参数都是在某端口开路情况下定义的,故 Z 参数又称为开路阻抗参数。这组参数便于用实验的方法测得。如果知道网络的内部结构,可以利用式(1-1-2)求得 Z 参数。

如果双口网络满足互易定理,则有

$$\left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} \quad (1-1-3)$$

将式(1-1-3)与式(1-1-2b), (1-1-2c)加以比较, 可得

$$z_{12} = z_{21} \quad (1-1-4)$$

满足式(1-1-4)的双口网络称为互易网络或可逆网络, 否则称为非互易网络或不可逆网络。对于互易网络, Z 参数中只有 3 个是独立的。

如果将双口网络的入口与出口对调后, 其各端口电压, 电流均保持不变, 则称为对称双口网络。例如结构上对称的双口网络就是属于对称双口网络。若双口网络既是互易的, 又是对称的, 则有

$$\left. \begin{aligned} z_{12} &= z_{21} \\ z_{11} &= z_{22} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-5)$$

即对于互易的对称网络, 四个 Z 参数中只有两个是独立的。

将式(1-1-1)的 Z 方程写成矩阵形式, 得

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad (1-1-6)$$

上式可简记为

$$\dot{U} = Z\dot{I} \quad (1-1-7)$$

式中 $\dot{U}, \dot{I}$ 均为列向量, Z 称为 Z 参数矩阵, 即

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \quad (1-1-8)$$

例 1-1-1 求图 1-1-3 所示 T 形网络的 Z 参数矩阵。

解 根据式(1-1-2), 由图 1-1-3 可得

$$\begin{aligned} z_{11} &= \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} = Z_1 + Z_2 \\ z_{21} &= \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} = \left. \frac{Z_2 \dot{I}_1}{\dot{I}_1} \right|_{\dot{I}_2=0} = Z_2 \\ z_{12} &= \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} = \left. \frac{Z_2 \dot{I}_2}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} = Z_2 \\ z_{22} &= \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{I}_1=0} = Z_3 + Z_2 \end{aligned}$$

故该双口网络的 Z 参数矩阵为

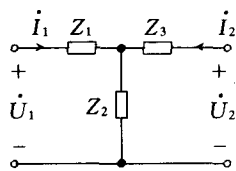


图 1-1-3 T 形双口网络

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 + Z_2 & Z_2 \\ Z_2 & Z_2 + Z_3 \end{bmatrix} \quad (1-1-9)$$

对于图(1-1-3)所示的 T 形网络, 若以 I_1, I_2 为网孔电流, 可列出其网孔方程为

$$\dot{U}_1 = (Z_1 + Z_2)I_1 + Z_2I_2$$

$$\dot{U}_2 = Z_2I_1 + (Z_2 + Z_3)I_2$$

上式即为 Z 方程, 其 Z 参数即为式(1-1-9)。

由图 1-1-3 可知, 若 $Z_1 = Z_3$, T 形网络对称, 则

$$z_{11} = z_{22} = Z_1 + Z_2$$

例 1-1-2 求图 1-1-4(a)所示 Π 形网络的 Z 参数矩阵。

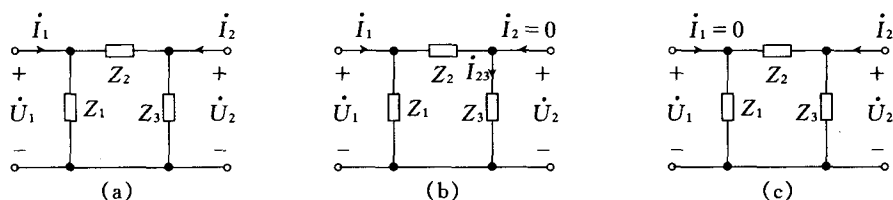


图 1-1-4 Π 形网络

解 由图 1-1-4 可知, 当 $I_2 = 0$ 时, 即输出开路时, 其输入阻抗为 Z_1 与 $(Z_2 + Z_3)$ 并联, 即

$$z_{11} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \bigg|_{I_2=0} = \frac{Z_1(Z_2 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

当 $I_2 = 0$ 时, 流过阻抗 Z_2 和 Z_3 的是同一电流 I_{23} , 如图 1-1-4(b)所示。应用分流公式, 得

$$I_{23} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2 + Z_3} I_1$$

故电压

$$\dot{U}_2 = Z_3 I_{23} = \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} I_1$$

于是得

$$z_{21} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \bigg|_{I_2=0} = \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

类似地, 令 $I_1 = 0$, 如图 1-1-4(c)所示, 可以求得

$$z_{12} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \bigg|_{I_1=0} = \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

$$z_{22} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \bigg|_{I_1=0} = \frac{Z_3(Z_1 + Z_2)}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

故 Π 形网络的 Z 参数矩阵

$$Z = \begin{bmatrix} \frac{Z_1(Z_2 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3} & \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\ \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} & \frac{Z_3(Z_1 + Z_2)}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \end{bmatrix}$$

由图 1-1-4 可知, 若 $Z_1 = Z_3$, Π 形网络的结构对称, 由 Z 参数矩阵可得

$$z_{11} = z_{22}$$

二、 Y 方程和 Y 参数

若以端口电压 $\dot{U}_1, \dot{U}_2$ 作为自变量, 端口电流 $\dot{I}_1, \dot{I}_2$ 作为应变量, 根据替代定理, 端口电压 $\dot{U}_1, \dot{U}_2$ 可用相应的电压源来替代, 如图 1-1-5(a) 所示。由叠加原理, 可得方程

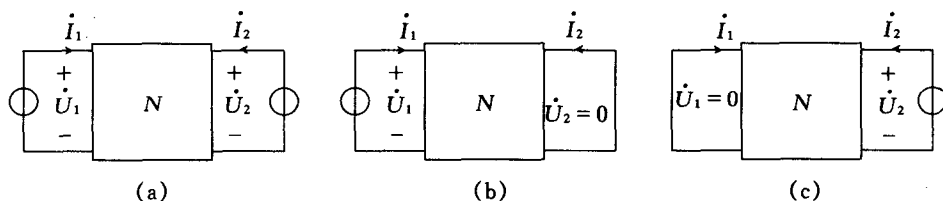


图 1-1-5 推导 Y 方程和 Y 参数用的双口网络示意图

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = y_{11} \dot{U}_1 + y_{12} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = y_{21} \dot{U}_1 + y_{22} \dot{U}_2 \end{cases} \quad (1-1-10)$$

式(1-1-10)称为 Y 方程, 其相应的参数称为 Y 参数。分别令端口电压 $\dot{U}_1$ 或 $\dot{U}_2$ 等于零, 即端口依次短路, 如图 1-1-5(b) 和 (c) 所示, 则由式(1-1-10)得

$$\left. \begin{aligned} y_{11} &= \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1} \right|_{\dot{U}_2=0} && \text{出口短路时的输入导纳} \\ y_{21} &= \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1} \right|_{\dot{U}_2=0} && \text{出口短路时的正向转移导纳} \\ y_{12} &= \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{U}_1=0} && \text{入口短路时的反向转移导纳} \\ y_{22} &= \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{U}_1=0} && \text{入口短路时的输出导纳} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-11)$$

由式(1-1-11)可知, Y 参数具有导纳量纲, 而且是在端口短路情况下, 通过计算或测量得到的, 因此, Y 参数也称为短路导纳参数。

若网络是互易的, 则根据互易定理也应满足