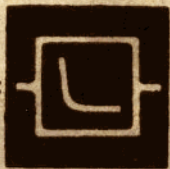


高等学校教学用书

# 电信网络

原编者：北京邮电学院电工基础教研组

审校者：邮电学院电信网络教材选编组



人民邮电出版社

高等学校教学用书

# 电 信 网 络

原編者：北京邮电学院电工基础教研組

审校者：邮电学院电信网络教材选編組

人民邮电出版社

## 内 容 提 要

本书首先介绍四端和二端网络及滤波器的基本理论，然后对滤波器的设计、晶体滤波器、机械滤波器及均衡器等都进行了比较详细的介绍。

近代根据预给衰减频率特性寻求滤波器最佳电路参数的计算方法，以及在工程上应用得比较广泛的简化计算的样板法，本书都结合例子，作了专门的叙述。

本书附录还介绍了滤波器制作的一些知识，并附有滤波器计算公式和曲线图表。

本书是适用于高等学校通信类专业用的教学用书，也可作为邮电工程技术人员的参考用书。

## 电 信 网 络

---

原编者：北京邮电学院电工基础教研组

审校者：邮电学院电信网络教材选编组

出版者：人民邮电出版社

北京东四六条13号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者：北京邮票厂

发行者：新华书店北京发行所

经售者：各地新华书店

---

开本 850×1168 1/32

1961年7月北京第一版

印张 13 16/32 页数 216

1965年6月北京第四次印刷

印刷字数 363,000 字

印数 7,931—8,940 册

统一书号：K15045·总1250—资301

定价：(科5)1.80元

## 前 言

1958年以来，在社会主义建設总路綫的光輝照耀下，我国社会主义建設，获得了伟大的成就。邮电教育事业和其他事业一样，由于社会主义建設的需要，也获得了很大的发展。同时从1958年貫徹执行党的教育工作方針以来，教学質量有了很大的提高。为了进一步适应社会主义建設不断发展的需要，及时总结提高几年来教学工作的經驗，选編一批符合要求的通用的教材，是很必要的。

本书原稿是北京邮电学院电工基础教研組在1960年教学改革中編写的讲义，并經教研組結合教学实践于1961年加以修訂。本书是在南京邮电学院負責主持下，經邮电学院电信网络教材选編組以上述原稿为基础，进行审校和部分改編，作为通信类专业用的教学用书。

参加原稿編写的北京邮电学院教研組教师是王孝謙、顏紹书、丁煒、王開影、王持志、舒賢林、黃金滿、朱志賢、吳如森等同志。

参加审校的教材选編組成員是南京邮电学院教师林鴻績、徐思均、奚柏青，武汉邮电学院教师王志洁，重庆邮电学院教师欧阳蔭权和北京邮电学院教师王孝謙等同志。

参加本书繪图、繕稿等工作的还有南京邮电学院的部分教师 and 同学。参加校对工作的有北京邮电学院部分同学。

由于經驗不足和审編時間很短等原因，本书內容难免有不够妥善甚至錯誤之处。希望讀者特别是使用本书的教师和同学积极提出批評和改进意見，以便以后修訂提高。

1961年5月

## 緒 論

由于社会生产发展的需要，通信技术在最初阶段，就力求复用通信线路，降低工程费用。通过反复的研究实践，从发现具有滤波器作用可以分隔报话通路的最简单的网络开始，逐渐形成了具有多种用途的比較复杂的网络。目前在电信技术中已經广泛地应用了各种各样的网络。应用滤波器来划分各个通路的信号，可以获得多路通信，提高了通信系统的傳輸能力。信号在傳輸过程中不可避免地要受到各种畸变，例如振幅畸变和相位畸变，应用衰减均衡器或相位均衡器，可以减少信号的畸变，提高通信的质量。由此可見，网络这门科学在电信技术中起了很重要的作用。此外，它在自动控制，計算技术以及其他科学技术部門中也获得了比較广泛的应用。

科学技术的发展是和社会生产力的发展分不开的。生产力的不断发展推动了电信网络这门学科向着新的网络理論、新的网络元件等方面不断地发展。但是，也正像其它科学技术一样，只有在社会主义制度下，才能够得到飞躍的发展。关于电信网络的理論和設計方法，可以分成分析法和綜合法两大类。网络分析法的特点是：根据基本网络結構，分析它的性質和一般的規律，形成了一套理論。設計时就根据这已知的基本网络結構和性質，选择若干基本网络进行組合，使能符合工程上傳輸特性的要求。网络綜合法恰好相反，它是按照預給的傳輸特性，通过严格的数学推导，找出物理上可以實現的网络結構和性質，形成了一套理論和設計方法。前者的优点在于設計方法簡單，計算容易，直到現在仍为大多数設計者所采用。但設計出来的結果，只能近似地符合实际的情况，并且网络的元件不是最省。后者的优点是，設計出来的結果可以准确地符合实际的情况，并且网络的元件最省。此法的最大缺点在于計算手續繁重，元件和制造工艺的要求較高，所以在工程应用上受到一定的限制。不过它是值得研究的一个发展方向。应该指出：网络綜合法的理論，

是在分析法的理論基础上发展起来的。我們决不能把它們看成彼此无关的东西。事实上，两者是揭露事物共同本質的两种方法，它們既有区别，又有联系。

目前电信网络多由集总参数的R、L、C元件构成。随着通信向着高频多路方向不断地发展，这些元件的质量也获得不断的改善。但在高频多路通信设备中的某些部件（例如导频接收的狭带滤波器），由于这些元件不能满足部件特性的要求，就不能不采用高品质因数的晶体元件，但在另一方面也不得不付出較大的费用，这是相互矛盾的。近代在研究高质量、小型化的集总参数元件的同时，也进行探討采用新材料新元件。例如采用某种金属构成的机械滤波器，已經获得了一定的进展。总之，为了既能满足工程技术上的要求，又能符合工程經濟的原则，在探討电信网络基本理論和設計方法方面，以及采用新元件新材料方面，都有广闊的天地。

“电信网络”课程的主要任务在于讲述无源线性网络的基本理論及其实际应用。本书第一章和第二章介紹网络的一般理論。为学习网络及与网络有关的課程奠定基础。第三章至第五章介紹常用的LC滤波器的基本理論和两种实用的設計方法及其原理。第六章和第七章分別介紹晶体和机械滤波器的基本原理和一般的計算方法。最后一章介紹均衡器的原理及衰减均衡器的計算方法。本书并附录了关于滤波器制作的一些知識及滤波器計算公式和曲綫图表。

通过学习研究和实践，要能掌握：

1. 网络的基本特性及其分析方法；
2. 根据預給的技术要求，設計多路通信设备的主要部件——衰减器、滤波器及衰减均衡器；
3. 有关实际制作的知識和基本操作运用技能。

最后应当指出：我們不应当仅仅满足于掌握网络的基本知識（如本书所介紹的內容），应当进一步通过劳动实践，联系生产实际，在我国社会主义建設的伟大事业中，使电信网络这門学科能够不断地取得新的成就和作出新的貢獻。

# 目 录

## 前言

## 緒論

<b>第一章 四端網絡</b> .....	1
§ 1-1 四端網絡的概念和分类 .....	1
§ 1-2 四端網絡的一般傳輸方程式和参数 .....	3
§ 1-3 四端網絡的联接 .....	14
§ 1-4 四端網絡的輸入阻抗和特性阻抗 .....	22
§ 1-5 四端網絡的固有傳輸常数 .....	27
§ 1-6 四端網絡在匹配基础上的鏈接 .....	32
§ 1-7 几种簡單四端網絡的特性参数 .....	33
§ 1-8 中分定理和等效四端網絡 .....	38
§ 1-9 衰减器 .....	43
§ 1-10 四端網絡的工作衰减和介入衰减 .....	52
<b>第二章 二端網絡</b> .....	57
§ 2-1 二端網絡的概念和分类 .....	57
§ 2-2 單元件、二元件、三元件电抗二端網絡 .....	58
§ 2-3 多元件电抗二端網絡 .....	64
§ 2-4 有損耗的二端網絡 .....	76
§ 2-5 二端網絡的等效和倒量 .....	80
<b>第三章 濾波器的基本理論</b> .....	87
§ 3-1 濾波器概念及其分类 .....	87
§ 3-2 濾波器的傳通条件 .....	90
§ 3-3 $K$ 式濾波器 .....	96
§ 3-4 $m$ 式濾波器 .....	108
§ 3-5 复合濾波器 .....	122
§ 3-6 不对称帶通濾波器 .....	124
§ 3-7 頻率和阻抗的标称化 .....	136

§ 3-8 失配对滤波器特性的影响 .....	140
§ 3-9 元件中的损耗对滤波器特性的影响 .....	147
§ 3-10 滤波器的并联运用 .....	156
<b>第四章 滤波器的样板设计法 .....</b>	<b>164</b>
§ 4-1 滤波器的技术要求 .....	165
§ 4-2 滤波器设计中所要解决的矛盾及其分析 .....	168
§ 4-3 衰减等级阻抗等级 $N'$ 、截止频率 $f_c$ 、设计电阻 $R$ 及终端滤波器 $m$ 值的决定 (以低通为例) .....	172
§ 4-4 滤波器节数 (衰减等级 $N$ ) 和各节 $m$ 值的确定 .....	186
§ 4-5 滤波器特性的核算和调整 .....	192
§ 4-6 网络结构选择的原则和元件值的计算 .....	201
§ 4-7 频率变换 .....	206
§ 4-8 高通、带通滤波器的设计 .....	215
<b>第五章 滤波器的柯干设计法 .....</b>	<b>227</b>
§ 5-1 引言 .....	227
§ 5-2 阻带最佳衰减频率特性的获得 .....	228
(一) 最佳固有衰减频率特性 .....	228
(二) 筒式相移网络的传输特性及频率变换 .....	229
(三) $\mu$ 式相移网络 .....	233
(四) 从 $\mu$ 式相移网络变换成滤波器 .....	243
(五) 最佳参数的计算 .....	247
§ 5-3 通带最佳衰减频率特性的获得 .....	251
§ 5-4 设计举例 .....	252
§ 5-5 求 $N$ ; $b_{\min}$ ; $\Omega_{00\sigma}$ 和 $\Omega_{0\sigma}$ 的图解法 .....	264
<b>第六章 晶体滤波器 .....</b>	<b>275</b>
§ 6-1 晶体的一般知识 .....	275
(一) 晶体的压电效应和等效电路 .....	276
(二) 晶体的切割 .....	277
(三) 晶体支架的构造 .....	278
(四) 晶体的主要参数 .....	279
(五) 晶体参数的测量 .....	280



(六) 晶体生产过程 .....	281
(七) 人造晶体 .....	282
§ 6-2 滤波器用的晶体及其电气特性 .....	283
§ 6-3 宽带晶体滤波器的设计 .....	286
§ 6-4 窄带晶体滤波器的设计 .....	295
§ 6-5 晶体滤波器等效电路 .....	300
§ 6-6 晶体滤波器的稳定度 .....	304
<b>第七章 机械滤波器</b> .....	<b>305</b>
7-1 机械滤波器的物理基础 .....	305
§ 7-2 机械滤波器的结构及类型 .....	310
§ 7-3 圆柱型机械滤波器的特性分析 .....	316
§ 7-4 机械滤波器设计及制造中应考虑的问题 .....	322
§ 7-5 扭振圆柱型机械滤波器设计举例 .....	327
§ 7-6 机械滤波器的展望 .....	328
<b>第八章 均衡器</b> .....	<b>329</b>
§ 8-1 均衡器的一般概念 .....	329
§ 8-2 衰减均衡器的作用和结构 .....	329
§ 8-3 衰减均衡器的衰减特性 .....	332
§ 8-4 设计原理 .....	334
§ 8-5 衰减均衡器设计举例 .....	339
§ 8-6 相位均衡器的基本原理 .....	350
<b>附表: 滤波器节计算公式及曲线图表</b> .....	<b>357</b>
<b>附录一: 关于滤波器制作的一些知识</b> .....	<b>374</b>
<b>附录二: 滤波器的柯干设计法 (补充材料)</b> .....	<b>398</b>
<b>附录三: 雅可比椭圆函数(实变量)</b> .....	<b>418</b>
<b>常用符号说明</b> .....	<b>423</b>

# 第一章 四端網絡

## § 1-1 四端網絡的概念和分類

大家都知道，均勻傳輸綫的电参数是均匀地分布在整個綫路上的，所以叫作具有分布参数的电路。电信号从始端傳到終端要發生衰減和相移，对不同頻率的信号电路有不同的响应。在實驗室中为了研究上的便利，用仿真綫來仿照均勻傳輸綫的特性，这种仿真綫是由电感、电容和电阻元件構成，叫作具有集总参数的电路。無論是均勻傳輸綫或仿真綫，它們都具有四个端子，其中一对端子是联接电源的叫輸入端，另一对端子是联接負載的叫輸出端，所以它們称为“四端網絡”。今后还要談到的滤波器、均衡器也都是四端網絡。所以对四端網絡进行討論，掌握四端網絡的一般特点和規律，是學習滤波器、均衡器和其他有关的四端網絡的理論基础。

四端網絡分为有源的和無源的兩类。

內部包含电源的四端網絡称为有源四端網絡。这类網絡將在电子电路課程中討論，不屬本章的研究范围。

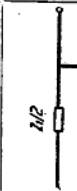
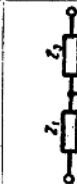
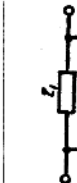
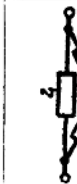
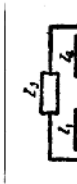
內部不包含电源的四端網絡称为無源四端網絡。本章研究的对象是無源綫性四端網絡，就是說，除了四端網絡內不包含电源外，組成四端網絡的元件还必須是綫性的。以下若不特別指出，則四端網絡就是对無源綫性的四端網絡而言。

四端網絡的类型照理論說可以有無穷多种，但常用的結構型式可分为  $\Gamma$  型、T 型、 $\Pi$  型、桥型(又称 X 型)和桥 T 型，如表 1-1 所示。

在应用上往往將它分为对称的和不对称的，平衡的和不平衡的。

如四端網絡的左右兩半互成鏡像，称为对称四端網絡。如圖 1-1a，可將  $yy$  軸看成一面鏡子，左右兩半互成鏡像，它是 T 型对

表 1-1

名称	Γ 型	T 型	Π 型	桥型	桥 T 型
结构					

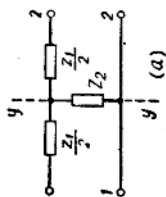
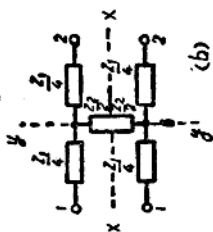


图 1-1

称四端網絡。

如四端網絡的上下兩半互成鏡像，称为平衡四端網絡。

如果四端網絡的左右兩半互成鏡像，上下兩半也互成鏡像，則称为对称平衡四端網絡。在圖 1-1b 中，一四端網絡左右以  $y y$  軸互成鏡像（对称），上下以  $x x$  軸互成鏡像（平衡），所以是 T 型对称平衡四端網絡。

四端網絡可以由电感、电容及电阻等組合構成。由电抗元件（电感、电容）構成的四端網絡叫作电抗四端網絡，LC 滤波器就属于这类網絡；由純电阻構成的四端網絡叫純电阻四端網絡，衰减器就属于这类網絡。此外也有由电感、电容和电阻構成的四端網絡，衰减均衡器就属于这类網絡。因而在上述結構圖中的  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$  和  $Z_4$  等，在不同情况下可能是純电阻，可能是純电抗，也可能是阻抗。

为了便于研究問題，把沿电流傳輸方向的支路称为串联臂，如不对称 T 型四端網絡的  $Z_1$ 、 $Z_3$  即是；而把具有分流作用的、跨接在串联臂之間的支路称为并联臂，如 T 型四端網絡的  $Z_2$  即是；此外將桥型电路的  $Z_2$  称为斜格臂。

### § 1-2 四端網絡的一般傳輸方程式和参数

在均匀傳輸綫中曾經得到，

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_2 \operatorname{ch} \gamma l + I_2 Z_c \operatorname{sh} \gamma l \\ I_1 &= I_2 \operatorname{ch} \gamma l + \frac{U_2}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma l \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中  $U_1$ 、 $I_1$  分別为始端的电压和电流， $U_2$ 、 $I_2$  分別为終端的电压和电流， $l$  为均匀綫的長度， $Z_c$  是波阻抗（或称为特性阻抗）， $\gamma$  是每对綫單位長度的固有傳輸常数。

从(1-1)式看出，只要知道均匀傳輸綫的波参数( $Z_c$  及  $\gamma$ )，就可計算長度为  $l$  的均匀傳輸綫的始端或終端电压和电流（已知始端

电压、电流求终端的电压、电流，或反过来已知终端的电压、电流求始端的电压、电流)，这种联系始端和终端的电压、电流的关系式，称为均匀传输线的传输方程式。

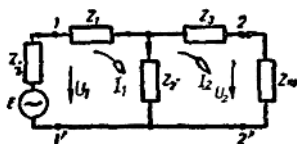


圖 1-2

对于具有集总参数的四端网络说来，也可以找到联系输入端和输出端的电压和电流的关系式，这种关系式称为四端网络的传输方程式。为了能明了传输方程式的意义，我们先从简单的 T 型和  $\Pi$  型网络入手。

在圖 1-2 中，一不对称 T 型四端网络联接在内阻抗为  $Z_1$ 、电动势为  $E$  的电源和负载阻抗  $Z_{np}$  之间。

设输入端(1-1'端)的电压为  $U_1$ 、电流为  $I_1$ ，输出端(2-2'端)的电压为  $U_2$ 、电流为  $I_2$ ，则可写出下列回路方程式：

$$\left. \begin{aligned} E &= (Z_1 + Z_2 + Z_3)I_1 - Z_2 I_2 \\ 0 &= -Z_2 I_1 + (Z_2 + Z_3 + Z_{np})I_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

因为  $U_1 = E - I_1 Z_1$ ,  $U_2 = I_2 Z_{np}$ ,

将上述关系代入(1-2)式，并经过整理得：

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)U_2 + \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3}{Z_2} I_2 \\ I_1 &= \frac{U_2}{Z_2} + \left(1 + \frac{Z_3}{Z_2}\right)I_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

(1-3)式就是不对称 T 型四端网络的传输方程式。

如网络对称，即  $Z_1 = Z_3$ ，则(1-3)式可写成：

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)U_2 + \left(2Z_1 + \frac{Z_1^2}{Z_2}\right)I_2 \\ I_1 &= \frac{U_2}{Z_2} + \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)I_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

(1-4)式称为对称 T 型四端网络的传输方程式。

圖 1-3 为联接在內阻抗为  $Z_i$ ，电动势为  $E$  的电源和負載阻抗为  $Z_{np}$  之間的不对称  $\Pi$  型四端網絡。

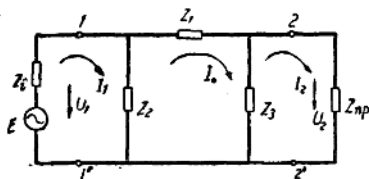


圖 1-3

根据回路电流方程式可写出：

$$\left. \begin{aligned} E &= (Z_1 + Z_2)I_1 - Z_2 I_0 \\ 0 &= -Z_2 I_1 + (Z_1 + Z_2 + Z_3)I_0 - Z_3 I_2 \\ 0 &= -Z_3 I_0 + (Z_3 + Z_{np})I_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

因为

$$U_1 = E - I_1 Z_1, \quad U_2 = I_2 Z_{np}, \text{ 而且}$$

$$I_0 = I_2 + \frac{U_2}{Z_3},$$

將上述关系代入(1-5)式，并經過整理可得：

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)U_2 + Z_1 I_2 \\ I_1 &= \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{Z_2 Z_3} U_2 + \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)I_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

(1-6)式称为不对称  $\Pi$  型四端網絡的傳輸方程式。

对于对称  $\Pi$  型四端網絡而言， $Z_2 = Z_3$ ，可得：

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)U_2 + Z_1 I_2 \\ I_1 &= \frac{Z_1 + 2Z_2}{Z_2^2} U_2 + \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)I_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

(1-7)式称为对称  $\Pi$  型四端網絡的傳輸方程式。

按照同样步骤和原理，我們还可以求出  $\Gamma$  型，桥型和桥 T 型以及更复杂的四端網絡的傳輸方程式，而且都可以化成类似(1-3)式

的形式。

所以一般網絡的傳輸方程式可以写成：

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= AU_2 + BI_2 \\ I_1 &= CU_2 + DI_2 \end{aligned} \right\}, \quad (1-8)$$

这里  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  是方程式的系数，在不同的網絡中，它具有不同的数值。

將(1-3)、(1-7)式与(1-8)式相比較，不难看出：

对于不对称 T 型網絡而言，

$$\left. \begin{aligned} A &= 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & B &= Z_1 + Z_3 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2} \\ C &= \frac{1}{Z_2} & D &= 1 + \frac{Z_3}{Z_2} \end{aligned} \right\}, \quad (1-9)$$

对于不对称  $\Pi$  型網絡而言，

$$\left. \begin{aligned} A &= 1 + \frac{Z_1}{Z_3} & B &= Z_1 \\ C &= \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{Z_2 Z_3} & D &= 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \end{aligned} \right\}. \quad (1-10)$$

所以系数  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  决定于四端網絡的結構和各臂的阻抗。網絡的結構和各臂的阻抗給定了，系数  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  也就随之确定了。因而  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  是代表網絡特性的一組参数，我們把它称为直綫性参数或簡称  $A$  参数。

为了便于討論，將(1-8)式写成矩阵形式：

$$\begin{Bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A & B \\ C & D \end{Bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{Bmatrix} = \mathbf{A} \cdot \begin{Bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{Bmatrix}. \quad (1-11)$$

式中  $\mathbf{A} = \begin{Bmatrix} A & B \\ C & D \end{Bmatrix}$ ，称为  $A$  矩阵。

無論是 T 型四端網絡或  $\Pi$  型四端網絡，我們可以發現  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  的行列式都具有下列性質：

$$\text{即} \quad \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} = AD - BC = 1.$$

若網絡对称, 則  $A = D$ 。

实际上一切四端網絡都具有这一性質, 現說明如下:

圖 1-4 为某一具有  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  参数的四端網絡, 接在內阻抗为  $Z_i$ 、电动势为  $E$  的电源及阻抗为  $Z_{np}$  的負載之間。

根据(1-8)式有:

$$I_1 = CU_2 + DI_2 = (D + CZ_{np})I_2 \quad (1-12a)$$

$$U_1 = E - Z_i I_1 = AU_2 + BI_2 = (B + AZ_{np})I_2 \quad (1-12b)$$

將(1-12a)式的  $I_1$  值代入(1-12b)式, 并整理之可得:

$$I_2 = \frac{E}{B + AZ_{np} + DZ_i + CZ_i Z_{np}}. \quad (1-13)$$

如果將电动势串联到 2-2' 端, 1-1' 端接上負載  $Z_i$  (如圖 1-5), 則根据互易原理, 1-1' 端的电流  $I'_1$  在大小和相位上都等于圖 1-4 所示的  $I_2$  (即  $I'_1 = I_2$ ), 而傳輸方向与  $I_1$  相反。

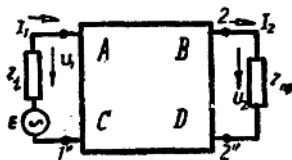


圖 1-4

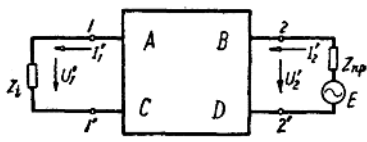


圖 1-5

重写对应于圖 1-5 的傳輸方程式, 并考虑到电压和电流的方向 (正负号) 得:

$$\begin{aligned} -I'_1 &= -I_2 = CU'_2 - DI'_2, \\ \therefore U'_2 &= E - Z_{np} I'_2, \\ \therefore I_2 &= (D + CZ_{np}) I'_2 - CE, \\ \text{还有} \quad U'_1 &= I'_1 \cdot Z_i = AU'_2 - BI'_2 = \\ &= -(AZ_{np} + B) I'_2 + AE, \end{aligned} \quad (1-14)$$



$$\therefore I_2' = \frac{AE - U_1'}{B + AZ_{np}} = \frac{AE - I_2 Z_i}{B + AZ_{np}} \quad (1-15)$$

將(1-15)式代入(1-14)式，并整理之可得：

$$I_2 = \frac{E(AD - BC)}{B + AZ_{np} + DZ_i + CZ_i Z_{np}} \quad (1-16)$$

比較(1-13)式与(1-16)式得到：

$$AD - BC = 1; \quad \text{即} \quad \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} = 1.$$

因此任何四端网络的  $A$  参数只有三个是独立的。

$A$  参数可以通过输出端开路 and 短路求得。

当 2-2' 端开路时： $I_2 = 0$ ,

$$\text{由(1-8)式得} \quad A = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_2=0}, \quad C = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{I_2=0}.$$

当 2-2' 端短路时： $U_2 = 0$ ,

$$\text{由(1-8)式得} \quad B = \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{U_2=0}, \quad D = \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{U_2=0}.$$

这就进一步明确了  $A$  参数的物理意义：

$A$  称为开路电压比，没有因次；

$B$  称为短路转移阻抗，具有阻抗因次；

$C$  称为开路转移导纳，具有导纳因次；

$D$  称为短路电流比，无因次。

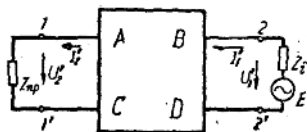


圖 1-6

当傳輸方向改变时，即电源接在 2-2' 端，負載  $Z_{np}$  接在 1-1' 端，自右向左傳輸(反向傳輸)，如圖 1-6 所示，与正向傳輸时(1-1' 端向 2-2' 端傳輸)比較，

如圖 1-4 所示，可以看出，只有电流的方向發生改变，所以只需將(1-8)式中的电流和电压作如下代換即可得到傳輸方向改变后的傳輸方程式。并考虑到电流改变后应差一符号，即：