

邮 电 中 等 函 授 试 用 教 材

网络与传输线

汤钦圣 蔺子印 编

人 民 邮 电 出 版 社



内 容 提 要

本书介绍了二端网络、四端网络和传输线的基本理论。在此基础上分析了衰减器、滤波器和均衡器等实用网络的特性，讨论了元件值的计算，最后介绍了串音和交叉的概念。

本书是邮电中等函授试用教材，也可供各类有线通信人员学习参考。

邮电中等函授试用教材 网络与传输线

汤钦圣 蔺子印 编
陈 景 明 审校

*

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
天津新华印刷一厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1983年7月第一版
印张：13 24/32 页数：220 1983年7月天津第一次印刷
字数：317千字 印数：1—12,000册
统一书号：15045·总2695-有5285
定价：1.10元

前 言

本书系根据邮电中等函授“网络与传输线”教学大纲编写的。

本书第一部分讲述了无源网络的基本理论及实用网络的特性分析，第二部分讲述了通信线路的传输理论。第一章二端网络讲述了电抗二端网络的电抗频率特性、等效和倒量二端网络等内容。第二章四端网络讲述了传输方程式、输入阻抗、特性阻抗、固有传输常数、匹配链接以及工作衰减和介入衰减等基本概念。第三章讲述了衰减器的计算及其用途。第四章讲述了滤波器的一般原理、K型、M型滤波器和组合滤波器的电路原理、特性分析和元件值的计算。第五章讲述了衰减和相位均衡器的原理。第六章讲述了通信线路的传输特性以及串音和交叉的概念。

本书适用于有线各专业。

本书第一、二、四章由黑龙江省邮电学校汤钦圣同志编写。第三章由贾晓义同志编写。第五、六章由河南省邮电学校蔺子印同志编写。由北京邮电函授学院陈景明同志审校。

由于经验不足及编审时间较短，本书内容难免有不妥之处，希望函授师生和读者提出宝贵意见。

编者

一九八二年三月

主要符号表

<p>A 四端网络的 A 参数 传输衰减 安培</p> <p>a 固有衰减</p> <p>a_w 工作衰减</p> <p>a_i 介入衰减</p> <p>a_f 反射衰减</p> <p>B 电纳 A 参数之一 传输相移</p> <p>b 固有相移</p> <p>C 电容 A 参数之一</p> <p>C_0 单位电容</p> <p>C_{12} 电容耦合系数</p> <p>D A 参数之一 直径</p> <p>dB 分贝</p> <p>E 电势</p> <p>F 法拉</p> <p>f 频率</p> <p>f_c 截止频率</p> <p>f_0 中心频率</p> <p>f_∞ 衰减峰频率</p> <p>f_r 参考频率</p> <p>G 绝缘电导</p>	<p>g 固有传输常数</p> <p>H 亨利</p> <p>Hz 赫芝</p> <p>I 电流</p> <p>I_i 近端串音电流</p> <p>I_y 远端串音电流</p> <p>$K(w)$ 电压传输系数</p> <p>L 电感 电平</p> <p>L_0 单位电感</p> <p>l 长度</p> <p>m M 型滤波器的参数</p> <p>m_{12} 互感耦合系数</p> <p>N_p 奈培</p> <p>n 匝比 相对带宽的倒数</p> <p>P 功率</p> <p>p 反射系数</p> <p>Q 品质因数 电荷</p> <p>R 电阻</p> <p>R_L 负载电阻</p> <p>R_T 热敏电阻</p> <p>r 半径</p> <p>rad 弧度</p> <p>S 西门子</p>
---	--

横截面积	Z_{22} 并臂阻抗
秒	z 标称阻抗
T 周期	α 固有衰减常数
t 时间	电感标称系数
t_0 相时延	α_i 近端串音衰减
U 电压	α_y 远端串音衰减
V 相速度	α_f 串音防卫度
W 瓦	β 固有相移常数
X 电抗	电容标称系数
Y 导纳	γ 固有传输常数
Z 阻抗	ϵ_r 相对介电系数
Z_i 输入阻抗	θ 传输常数
Z_S 电源内阻抗	λ 波长
Z_L 负载阻抗	μ_r 相对导磁系数
Z_C 特性阻抗	ρ 电阻系数
Z_0 短路阻抗	σ 温度系数
Z_∞ 开路阻抗	φ 最大调节范围
Z_{OH} 中分半节网络的短路阻抗	ω 角频率
$Z_{\infty H}$ 中分半节网络的开路阻抗	ω_c 截止角频率
Z_T, Z_{Tm} T型侧特性阻抗	ω_r 参考角频率
$Z_\pi, Z_{\pi m}$ π 型侧特性阻抗	Ω 标称频率
Z_{11} 横跨阻抗	欧姆

目 录

绪言	1
第一章 二端网络	4
第一节 二端网络的概念	4
第二节 等效二端网络	5
第三节 电抗二端网络	18
第四节 倒量二端网络	31
第二章 四端网络	41
第一节 四端网络的概念	41
第二节 四端网络的传输方程式	44
第三节 四端网络的输入阻抗和特性阻抗	53
第四节 传输电平	60
第五节 四端网络的固有传输常数	69
第六节 中分定理	78
第七节 四端网络的匹配链接	89
第八节 四端网络的工作衰减和介入衰减	93
第九节 变量器	98
第十节 四端网络的等效变换	104
第十一节 电平的测量	114
第三章 衰减器	125
第一节 固定衰减器	125
第二节 可变衰减器	142
第三节 衰减器的用途	147
第四章 滤波器	152
第一节 滤波器的概念	152

第二节	梯型滤波器的传通条件	154
第三节	K型滤波器	161
第四节	M型滤波器	197
第五节	组合滤波器	230
第六节	滤波器电路实例分析	234
第七节	少电感式不对称带通滤波器	246
第八节	元件损耗对滤波器衰减特性的影响	261
第九节	晶体滤波器的概念	262
第十节	滤波器的并联运用	264
第十一节	滤波器的故障检修	272
第五章	均衡器	279
第一节	均衡的概念	279
第二节	衰减均衡器	285
第三节	相位均衡器	315
第六章	传输线	323
第一节	通信线路的概念	323
第二节	均匀线的一次参数	330
第三节	电磁波沿均匀线的传播	345
第四节	传输方程式	350
第五节	均匀线的二次参数	358
第六节	反射的概念	364
第七节	均匀线的输入阻抗	374
第八节	均匀线中的信号畸变	379
第九节	不均匀线的概念	382
第十节	回路间的串音及其产生的原因	386
第十一节	串音衰减和串音防卫度	394
第十二节	交叉的概念	401
附录一	双曲线函数	414
附录二	指数函数、双曲线函数表	418

绪 言

电气通信在政治、国防、经济、文化及人民生活需要等方面是不可缺少的，随着经济建设的发展，电信事业的作用越来越重要。

电信就是利用电来传递信息，也就是把要传递的话音、文字及图象等信息变为电信号，然后通过媒介来传输。电信号随时间的变化规律，一般来说，比较复杂。经数学分析，它包含许多频率成分的正弦波信号。就话音频率来说约自 20 Hz 至 20,000 Hz，在通信中如果传送整个频段则通路利用率低，不经济。另外，传送这样宽的频带对机械的要求也要高。在实际通话中一般只传送这个频段的一部分。当传送的频段愈宽，传输质量就愈高，话音就愈逼真，作为通话只要保证一定的了解度和清晰度就够了。话音信号的能量集中在低频部分，在 3 kHz 以上信号的能量小，因此去掉 3 kHz 以上的频率成分，对原来的信号影响不大。低频信号虽然在 500 Hz 以下能量还是很大，但人耳对 300 Hz 以下很不灵敏，因此取 300~3400 Hz 的频率作为传输话音信号的频带，已经足够满意了。如果要求稍低一些还可以取 0.3~2.7 kHz 作为话音频带，对于音乐信号，频率还要宽一些，约占 50~10,000 Hz 的频带。

一般供铁线通话用	300~2000 Hz
供短程载波用	300~2700 Hz
供远程载波用	300~3400 Hz

长途通信的任务就是要在—对线路上实现多路和长距离通

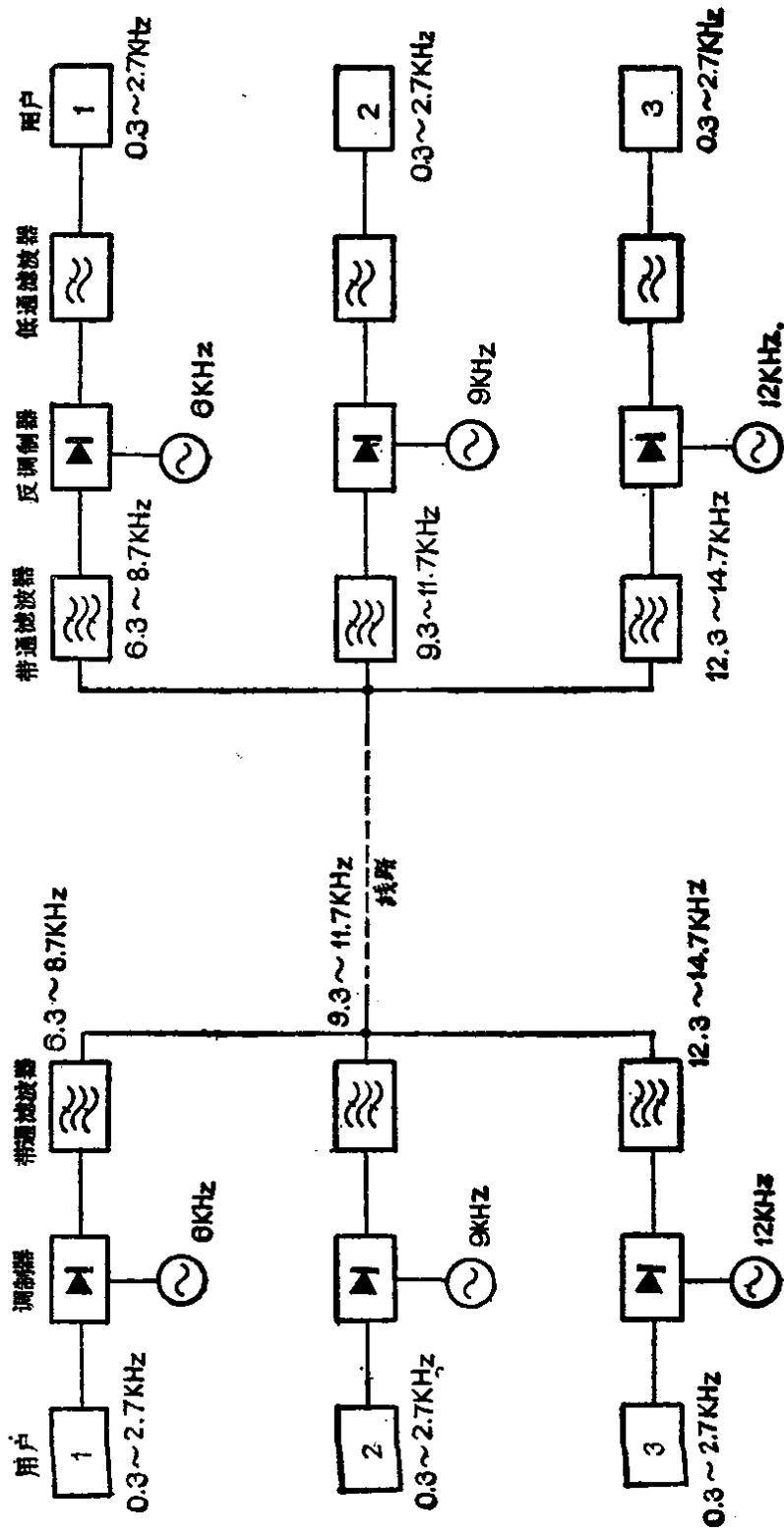


图 0-1 三路载波机单方向通信示意图

信。如前所述，话音信号的频带约为 $0 \sim 4\text{kHz}$ ，而传输线可以传输的最高传输频率则远远超过这个数值。如果将各路话音直接送到传输线上，则由于它们的频带都相同，就会混在一起而无法分开，实现不了多路通信，解决这个矛盾的方法是利用载波通信。

图 0—1 为三路载波电话单方向通信示意图，图中调制器的作用是将话音频率搬移到高频，称为高频调制信号，由于调制器是非线性器件，它除了产生有用频带之外，还会产生其他频率成分，如果传输出去会干扰其他话路的通话，所以在调制器后面接入一个具有选频作用的滤波器，让指定的信号频带通过，而除去不需要的频率成分。高频调制信号经线路传输到对方后，经过滤波器选出该通话路频带，再经反调制器（或称反变频器）将高频调制信号还原为原来的音频信号、传输到用户，完成通信任务。

为了延长通话距离和提高通信质量，载波机的部件要复杂得多，除了前述各部件外，还有各种放大器、衰减器、均衡器等等，上述各部件属于无源网络的将在本课程内讲述。

本课程的任务是：介绍无源网络和通信线路的传输原理、基本特性以及参数和元件值的计算。

本课程是在学完数学、电工学后开设的，故学习本课程前必须复习这些课程的有关部分，特别是初等数学中的对数、复数及双曲线函数的一般知识，在网络特性分析及计算方面应用较多，要很好复习。

第一章 二端网络

本章主要内容有等效二端网络、倒量二端网络和电抗二端网络的电抗频率特性。上述内容系电信网络的重要内容，熟悉这些内容为学好滤波器和衰减均衡器等内容打下基础。

第一节 二端网络的概念

所谓网络是由一组元件联接起来的电气系统。二端网络是具有二个端子的任何电气系统。最简单的二端网络是一个元件，如图1-1(a)所示，它是由一个电阻、电感或电容构成的二端网络。较复杂的二端网络是由电阻、电感和电容串、并联组成，如图1-1(b)所示。一般说，二端网络的阻抗是复数，用字母 Z 来表示，一般形式的二端网络如图1-1(c)所示。

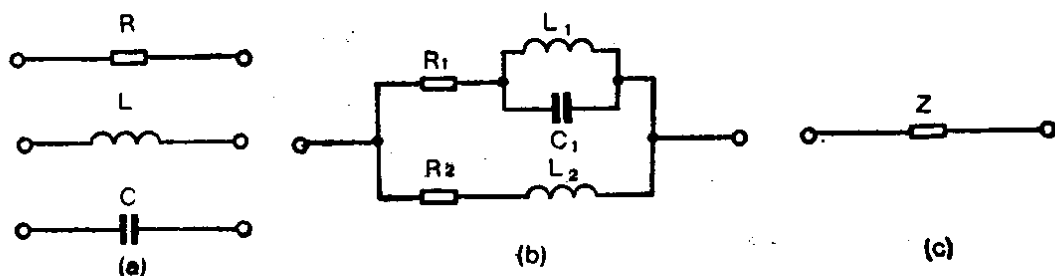


图 1-1 二端网络

二端网络按其阻抗性质可分下列三种：

1. 由纯电抗元件组成的纯电抗二端网络；

1. 第一种情形

设 $Z_2 = 0$

从图1-2(a)可见, 当 Z_2 短路时, 其阻抗 Z_o 为:

$$Z_o = aZ_1 \quad \text{①}$$

从图1-2(b)可见, Z_2 短路时, 其阻抗 Z_b 由 bZ_1 与 dZ_1 并联而成。因此

$$Z_b = \frac{bZ_1 \times dZ_1}{bZ_1 + dZ_1} = \frac{bdZ_1}{b + d} \quad \text{②}$$

当两个二端网络等效时其阻抗相等, 从①、②式可得:

$$aZ_1 = \frac{bdZ_1}{b + d}$$

即

$$a = \frac{bd}{b + d} \quad \text{③}$$

2. 第二种情形

设 $Z_2 = \infty$

从图1-2(a)可见, Z_2 开路时, 其阻抗 Z_o 由阻抗 aZ_1 和 Z_1 串联而成。因此

$$Z_o = aZ_1 + Z_1 = Z_1(1 + a) \quad \text{④}$$

从图1-2(b)可见, Z_2 开路时, 其阻抗 Z_b 就是 dZ_1 , 因此

$$Z_b = dZ_1 \quad \text{⑤}$$

当两个二端网络等效时, 阻抗相等, 从④⑤式可得:

$$(1 + a)Z_1 = dZ_1$$

即

$$1 + a = d \quad \text{⑥}$$

3. 第三种情形

设 $Z_1 = Z_2$ ，从图1-2(a)可见，当 Z_1 等于 Z_2 时，其阻抗 Z_a 由两个阻抗 Z_1 并联后再与阻抗 aZ_1 串联而成。因此，

$$Z_a = aZ_1 + \frac{Z_1}{2} = \left(a + \frac{1}{2}\right)Z_1 \quad (7)$$

从图1-2(b)可见，其阻抗 Z_b 由上、下两支路阻抗并联而成，直接将 Z_2 写成 Z_1 ，可得：

$$Z_b = \frac{(bZ_1 + cZ_1)dZ_1}{bZ_1 + cZ_1 + dZ_1} = \frac{d(b+c)Z_1}{b+c+d} \quad (8)$$

两个二端网络等效时阻抗相等，从⑦、⑧式可得：

$$\left(a + \frac{1}{2}\right)Z_1 = \frac{d(b+c)Z_1}{b+c+d}$$

即
$$a + \frac{1}{2} = \frac{d(b+c)}{b+c+d} \quad (9)$$

如果图1-2(a)所示二端网络的元件值已知，系数 a 可求出，求图1-2(b)所示的等效二端网络时，应确定系数 b 、 c 和 d ，而 b 、 c 和 d 可从③、⑥和⑨式解得，其结果如下：

$$d = 1 + a \quad (1-1)$$

$$c = (1 + a)^2 \quad (1-2)$$

$$b = a(1 + a) \quad (1-3)$$

利用上述等效二端网络的等效条件，我们可求得常用三元件等效电抗二端网络的等效条件。

设两个三元件电抗二端网络如图1-3所示，并将对应于图1-2的元件的阻抗表示式标注于图1-3，从图1-3(a)可见：

$$Z_1 = j\omega L_1 \quad (10)$$

$$Z_2 = \frac{1}{j\omega C_1} \quad (11)$$

$$aZ_1 = j\omega L_2 \quad (12)$$

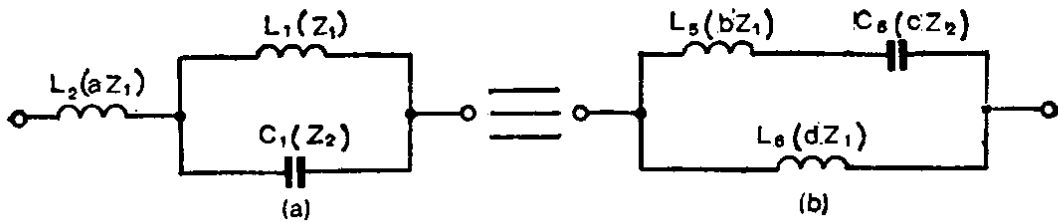


图 1-3 三元件等效电抗二端网络

将⑩式 Z_1 值代入⑫式，可得：

$$aj\omega L_1 = j\omega L_2$$

所以

$$a = \frac{j\omega L_2}{j\omega L_1} = \frac{L_2}{L_1} \quad (13)$$

将⑬式 a 值代入(1-1)式，可得：

$$d = 1 + a = 1 + \frac{L_2}{L_1} = \frac{L_1 + L_2}{L_1} \quad (14)$$

将⑬式 a 值代入(1-2)式，可得：

$$c = (1 + a)^2 = \left(\frac{L_1 + L_2}{L_1}\right)^2 \quad (15)$$

将⑬式 a 值代入(1-3)式，可得：

$$b = a(1 + a) = \frac{L_2}{L_1} \times \frac{L_1 + L_2}{L_1} = \frac{L_2(L_1 + L_2)}{L_1^2} \quad (16)$$

从图1-3(b)可见：

$$j\omega L_5 = bZ_1$$

将⑯式、⑩式的 b 值和 Z_1 代入上式得：

$$j\omega L_5 = \frac{L_2(L_1 + L_2)}{L_1^2} j\omega L_1$$

$$j\omega L_5 = j\omega \frac{L_2(L_1 + L_2)}{L_1}$$

所以

$$L_5 = \frac{L_2(L_1 + L_2)}{L_1} \quad (1-4)$$

同样，从图1-3(b)，可见：

$$j\omega L_6 = dZ_1$$

将⑩、⑭式的 Z_1 和 d 值代入上式得：

$$j\omega L_6 = \frac{L_1 + L_2}{L_1} j\omega L_1$$

$$j\omega L_6 = j\omega(L_1 + L_2)$$

所以

$$L_6 = L_1 + L_2 \quad (1-5)$$

从图1-3(b)，可见

$$\frac{1}{j\omega C_5} = cZ_2$$

将⑪式 Z_2 值、⑮式 c 值代入上式得：

$$\frac{1}{j\omega C_5} = \left(\frac{L_1 + L_2}{L_1} \right)^2 \frac{1}{j\omega C_1}$$

$$\frac{1}{j\omega C_5} = \frac{1}{j\omega C_1} \frac{L_1^2}{(L_1 + L_2)^2}$$

所以

$$C_5 = C_1 \left(\frac{L_1}{L_1 + L_2} \right)^2 \quad (1-6)$$

从式(1-4)、(1-5)和(1-6)式可知，如果图1-3(a)中元件值 L_1 、 L_2 和 C_1 已知时，就可求得图1-3(b)的 L_5 、 L_6 和 C_5 的值。反之，如图1-3(b)电抗二端网络的元件 L_5 、 L_6 和 C_5 之值

为已知时，要求出图1-3(a)各元件 L_1 、 L_2 和 C_1 值时，可从(1-4)、(1-5)和(1-6)式解出 L_1 、 L_2 和 C_1 ，其结果如下：

$$L_1 = \frac{L_6^2}{L_5 + L_6} \quad (1-7)$$

$$L_2 = \frac{L_6^2}{L_5 + L_6} \quad (1-8)$$

$$C_1 = C_5 \left(1 + \frac{L_5}{L_6} \right)^2 \quad (1-9)$$

三元件电抗二端网络的等效网络及等效条件列于表1-1。
四元件电抗二端网络的等效网络及等效条件列于表1-2。
表1-3列出常用的等效二端网络。

三、等效二端网络的应用

1. 利用等效二端网络变换二端网络的元件值

在实用上，例如滤波器的制作，有时为了元件数值选用上的要求，使电路元件数值适宜于制作，常利用等效二端网络变换其元件值。

例1 电抗二端网络如图1-4(a)所示， C_1 值较大，试用等效二端网络代替，变换其元件值。

解： 等效二端网络如图1-4(b)所示。

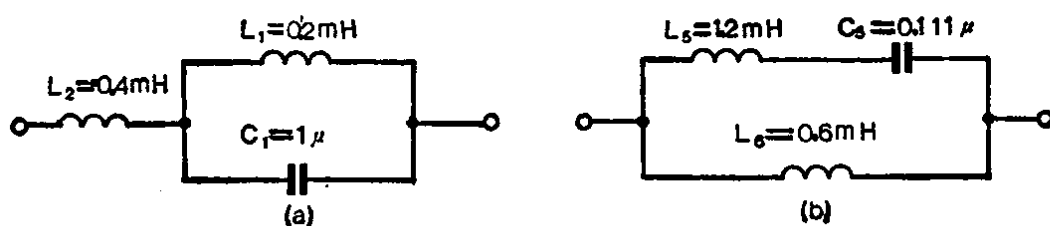


图 1-4 例 1 图