

有线传输原理

河南省邮电学校 编

人民邮电出版社



内 容 提 要

本书首先介绍二端网络和四端网络的基本理论，然后对四端网络的实用网络如衰减器、滤波器和衰减均衡器等加以介绍。在讨论传输线的电气特性的基础上，介绍回路的串音和交叉以及交叉效果的分析。

本书为中等专业学校有线通信各专业的教学用书，也可供邮电技术工人自学参考。

有 线 传 输 原 理

湖南省邮电学校 编

•

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

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 1979年9月第 一 版

印张：10 24/32页数：172 1979年9月河北第1次印刷

字数：246 千字 印数：1—26,700 册

统一书号：15045·总2324—有5129

定价：0.84 元

前 言

本书是邮电中等专业学校教学用书。为适应新形势下邮电教育事业发展的需要，1978年，我们组织部分邮电学校分工编写微波、载波、市内电话、线路、电报、电源、综合电信和邮政机械等八个专业所用的基础课和专业课的教学用书，并将陆续出版，以应各邮电中等专业学校教学急需。

编好教材，是提高教学质量的关键。我们组织编写本教材时，力求以马列主义、毛泽东思想为指导，努力运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律，内容上注意了少而精，尽量反映科学技术的新成就。由于编写、审定的时间仓促，又没有经过教学实践的检验，书中会有不少缺点和错误。希望有关教师和同学在使用过程中，把发现的问题提供给我们以便修改提高。

邮电部人事教育局

一九七八年十二月

序 言

本书系根据邮电中专基础课教材编写大纲在湖南省邮电学校试用教材基础上选编而成的。

本书包括网络和传输线两部分内容，授课从讲述一般基本知识入手，着重掌握实用网络的基本特性和有线传输基本理论。

本书第一章重点介绍电平的概念、绝对电平和相对电平。第二章讲述电抗二端网络的电抗曲线、倒量和等效网络。第三章介绍四端网络的传输方程、输入阻抗、特性阻抗、传输常数以及工作衰减和介入衰减等。第四章讲述衰减器。第五章讲述传输线的电气性质、二次参数及其与频率的关系。第六章讲述通信线路间串音及交叉的概念。第七章讲述滤波器的一般原理，分析 K 型 m 型滤波器的电路及其特性，并对 mm' 型滤波器、不对称带通滤波器、晶体滤波器和机械滤波器作概念性介绍。第八章讲述衰减均衡器的原理和实用电路的分析。

本书适用于载波、市话、综合及线路各专业，根据专业特点在讲授时对各章节内容可有所侧重。

本书原稿由湖南省邮电学校郑清泉同志编写。黑龙江省邮电学校汤钦圣同志和长春邮电学校王植槐同志审校。

由于经验不足，编审时间较短，本书内容难免有不够妥善之处，希望读者提出意见，以便今后修订时改进。

1978年12月

目 录

序言

概论	(1)
----	-------

第一章 传输电平	(5)
----------	-------

第一节 电平及其单位	(5)
------------	-------

第二节 绝对电平	(7)
----------	-------

第三节 相对电平	(10)
----------	--------

第二章 二端网络	(13)
----------	--------

第一节 电抗二端网络及其频率特性	(13)
------------------	--------

第二节 等效二端网络	(23)
------------	--------

第三节 倒量二端网络	(35)
------------	--------

第四节 有损耗二端网络的 $ Z -\omega$ 曲线	(39)
------------------------------	--------

第三章 四端网络	(46)
----------	--------

第一节 四端网络的一般类型	(46)
---------------	--------

第二节 传输方程及 A 参数	(49)
------------------	--------

第三节 输入阻抗和特性阻抗	(54)
---------------	--------

第四节 四端网络的固有传输常数	(65)
-----------------	--------

第五节 四端网络的匹配链接	(72)
---------------	--------

第六节 中分定理	(74)
----------	--------

第七节 四端网络的工作衰减和介入衰减	(78)
--------------------	--------

第八节 四端网络的等效变换	(83)
---------------	--------

第九节 通信变量器	(91)
-----------	--------

第四章 衰减器	(109)
第一节 衰减器的结构和用途.....	(109)
第二节 衰减器的计算.....	(111)
第三节 可变衰减器.....	(120)
第五章 传输线的电气特性	(123)
第一节 通信线路概述.....	(123)
第二节 均匀传输线的电气特性.....	(125)
第三节 电磁波在无限长均匀线中的传播.....	(133)
第四节 电磁波在有限长均匀线上的传播.....	(143)
第五节 均匀线二次参数的分析.....	(151)
第六节 传输线输入阻抗.....	(157)
第七节 传输线的工作衰减.....	(160)
第八节 均匀线中的信号畸变.....	(161)
第九节 不均匀线概念.....	(165)
第十节 回路衰减与通话距离.....	(168)
第十一节 同轴电缆的传输特性.....	(169)
第六章 通信线路间串音及交叉的概念	(177)
第一节 线路间串音及其原因.....	(177)
第二节 未交叉回路的串音方程式.....	(181)
第三节 串音衰减及串音防卫度.....	(185)
第四节 明线交叉的概念.....	(189)
第七章 滤波器	(214)
第一节 滤波器的一般原理.....	(214)
第二节 K 型滤波器.....	(218)
第三节 m 型滤波器.....	(233)
第四节 组合滤波器.....	(247)
第五节 mm' 型滤波器.....	(252)

第六节	不对称带通滤波器·····	(255)
第七节	滤波器的并联运用·····	(262)
第八节	失配及元件损耗对滤波器衰减特性 的影响·····	(267)
第九节	晶体滤波器和机械滤波器的概念·····	(271)
第八章	衰减均衡器 ·····	(280)
第一节	固定衰减均衡器·····	(280)
第二节	可变衰减均衡器·····	(286)
附录一	双曲线函数·····	(304)
附录二	电平的计算·····	(310)
附录三	四端网络工作衰减表达式的推导·····	(317)
附录四	阻抗匹配线圈特性分析·····	(320)
附录五	未交叉回路串音方程式推导·····	(324)
附录六	指数函数及双曲线函数表·····	(328)
附录七	功率电平和功率、电压及电流的对照表·····	(333)

概 论

随着社会和生产的发展，对电信技术提出越来越高的要求。以电话通信来说，对它的要求在不断提高，例如从要求延长通话距离到多路复用，从最初的音频电话开始，发展到今天的大通路通信。

人们在解决这些问题的过程中，不断地推动着电信传输与网络理论的研究和发展，比如说要实现多路通信，就必须采用高频传输方式，而高频多路通信首先要解决的是要有能分隔开各个不同频带的网络。同时，信号在传输过程中不可避免地要产生各种畸变，这就要求我们研究一种可以减小畸变的网络，借以提高通信质量。由于高频通信的频率越来越高，对传输线路的要求也越来越高，对称电缆和同轴电缆就应用日益广泛。总之，为了解决高频多路通信及提高信号的传输质量，就要加强电信方面基础理论的研究。本课程是一门专业基础课，所讲述的是电气通信中经常用到的无源网络和线路传输方面的一些基本原理。为了进一步了解课程的内容，以及它在通信中的地位，下面我们介绍一下载波通信的概念。

目前长途电话多路通信广泛采用频分多路制，因此，首先介绍电话通信所使用的频带。人说话的声音所占频率范围大约从100赫到10000赫。人耳所能感觉到的频带范围比较宽，约自20赫到20000赫。如果要求电话通信采用这样宽的频带，对于通信机械和线路设备要有很高的要求，也使通路的数量大大减少，这是很不经济的。因为为了通话，只要保证一定的了解度

和清晰度就够了。根据清晰度方面的试验，确定了电话通信所需频带如下：

- 最基本的通话频带 300赫~2700赫；
- 可以满意的通话频带 300赫~2400赫；
- 质量优良的通话频带 300赫~3400赫。

在广播中，除话音外还要传送其它节目，因而对逼真度要求很高。这样，对传输频带的要求更宽一些。

图0—1所示为三路载波单方向通信原理示意图。图中左端为发送端，经传输线到达接收端，各话路使用频带设为 300~2700赫。由于三路的话音频带相同，如果不采取措施，而是简单地一同送往线路，传输到对方就会互相干扰，达不到多路通信的目的。

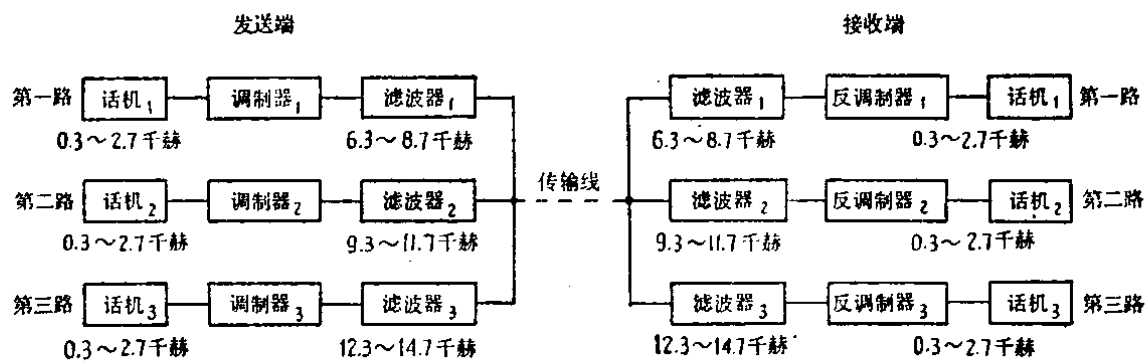


图 0—1

如果传输线采用架空铜线，最高能传输 150 千赫的高频电流，而 0.3~2.7 千赫的话音频带相对来说低得多。为了达到多路通信的目的，我们可以通过一些装置把各话路音频频带分别搬移到较高的频段。如图0—1中，将第一路从 0.3~2.7 千赫搬移到 6.3~8.7 千赫，第二路搬移到 9.3~11.7 千赫，第三路搬移到 12.3~14.7 千赫。

这样一来，三个话路在一个传输方向上共占用 6~15 千赫宽的频带。由于话路在线路上各占不同的频段，所以互不

干扰。到达接收端后，再设法从各个不同频段将高频电流还原为原来的话音电流，送往相应的接收端。

这里要解决两个问题：第一，在发送端如何将话音频带搬移为高频电流；在接收端又如何将高频电流还原为话音电流。第二，如何将不同频带的电流分开。

下面以第一路为例说明上述问题的解决方法：用户从话机发送0.3~2.7千赫的话音电流，经变频装置将音频电流转变为高频电流，也就是前面所说的搬移到6.3~8.7千赫高频。这样搬移的结果，除了有用信号频带之外，还会产生其它附加频率成分。采用滤波器选取有用频带电流，阻止非工作频带电流通过。这里滤波器就是起分隔不同频带的作用，使各路信号频带互不干扰。例如，第一路滤波器选出6.3~8.7千赫电流，而阻止这频带以外的其它电流。经线路将6.3~8.7千赫的信号传输到对方。

在接收端首先经过滤波器选出各路信号频带，例如滤波器1将6.3~8.7千赫的信号电流选出，而阻止了其它频率成分的电流通过。这时虽然选取了与发送端相对应的频率成分，但这还不是原来人讲话时的频率成分，必须把这种高频电流经反调制器还原成话音电流，才能被人听懂，然后将话音电流送往用户。这就是载波通信的基本原理。

图0—1为说明载波通信原理的示意图，当然还要有其它部件。例如为了延长通话距离要加上放大器；为了调节信号大小要有衰减器；为了减少信号畸变要应用均衡器等等。总之，实用载波机电路要复杂得多。

本书在网络方面将讨论二端网络、四端网络的特性，四端网络的实用电路如衰减器、均衡器、滤波器和变量器等。在传输线方面讨论传输线的电气特性，回路串音和回路交叉的基本

知识。

学习本课程要求对数学、电工有一定的基础知识。树立正确的学习态度，刻苦钻研，不怕艰难，敢于攻关。我们坚信广大学员一定能很好地完成学习任务。

第一章 传 输 电 平

第一节 电平及其单位

一、电平的意义

在电信传输中，功率、电压和电流的大小往往不直接用瓦、伏和安来衡量。如用这些单位来衡量信号的传输情形，往往不能很好地说明问题。例如信号传输经过网络时，输入功率为100毫瓦，输出功率为90毫瓦，减少了10毫瓦；另一情形输入功率为10毫瓦，输出功率为9毫瓦，减少了一毫瓦。前一种衰减的功率值大于后一种。但两者都是衰减了十分之一，其衰减程度是相同的。所以说只用衰减的功率的绝对值，或输入功率与输出功率的差值来表示信号传输的衰减程度，是不容易说明实际情形的。因此，在电信技术中采用传输电平来度量信号的大小。用传输电平来度量既能适应人的听觉特性对信号能量的变化，又便于计算和应用。

根据物理学可知人耳对声音强弱变化的感觉不是与功率变化值成正比，而是与功率变化的对数值成正比。例如声能增加了一倍，人的听觉仅感觉到增加了30%，即 $\lg 2 \approx 0.3 = 30\%$ 。另一方面利用对数可以简化计算。

我们知道，对一切事物进行比较时必须有参考量或称为基准值，然后才能进行比较。在确定传输电平时也要采用一基准值。

所谓某点电平，就是指该点的功率（或电压、电流）与基准功率（或基准电压、基准电流）之比的对数值。

当取常用对数时，其单位为分贝，符号为dB。

以功率进行计算时，称为功率电平，

$$L_P = 10 \lg \frac{P_1}{P_0} \quad \text{分贝} \quad (1-1)$$

以电压进行计算时，称为电压电平，

$$L_U = 20 \lg \frac{U_1}{U_0} \quad \text{分贝} \quad (1-2)$$

以电流进行计算时，称为电流电平，

$$L_I = 20 \lg \frac{I_1}{I_0} \quad \text{分贝} \quad (1-3)$$

当取自然对数计算电平时，电平的单位是奈培，简称奈，符号为Np。

功率电平

$$L_P = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_0} \quad \text{奈} \quad (1-4)$$

电压电平

$$L_U = \ln \frac{U_1}{U_0} \quad \text{奈} \quad (1-5)$$

电流电平

$$L_I = \ln \frac{I_1}{I_0} \quad \text{奈} \quad (1-6)$$

式中： P_1 、 U_1 、 I_1 系被测点的功率、电压和电流值；

P_0 、 U_0 、 I_0 系基准值。

二、奈培与分贝的换算关系

由式（1-4）可得：

$$L_P = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_0} \approx \frac{1}{2} \times 2.3 \lg \frac{P_1}{P_0} = 0.115 \times 10 \lg \frac{P_1}{P_0}$$

已知 $\frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_0}$ 表示的是奈培数； $10 \lg \frac{P_1}{P_0}$ 表示

的为分贝数，因此上式可改写为：

$$\text{奈培数} = 0.115 \times \text{分贝数}$$

因此奈培与分贝的换算关系为：

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ 分贝} = 0.115 \text{ 奈} \\ 1 \text{ 奈} = 8.686 \text{ 分贝} \end{array} \right\} \quad (1-7)$$

第二节 绝对电平

以600欧电阻上消耗一毫瓦作为基准值，则基准电压值

$$U_0 = \sqrt{P_0 Z_0} = \sqrt{10^{-3} \times 600} = 0.775 \text{ 伏}$$

基准电流值

$$I_0 = \sqrt{\frac{P_0}{Z_0}} = \sqrt{\frac{10^{-3}}{600}} = 1.29 \times 10^{-3} \text{ 安} = 1.29 \text{ 毫安}$$

一、绝对电平

1. 绝对功率电平

$$\left. \begin{array}{l} L_P = 10 \lg \frac{P_1}{10^{-3}} \quad \text{分贝} \\ \text{或} \quad L_P = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{10^{-3}} \quad \text{奈} \end{array} \right\} \quad (1-8a)$$

若 P_1' 以毫瓦为单位，则

$$\left. \begin{array}{l} L_P = 10 \lg P_1' \quad \text{分贝} \\ \text{或} \quad L_P = \frac{1}{2} \ln P_1' \quad \text{奈} \end{array} \right\} \quad (1-8b)$$

2. 绝对电压电平

$$\left. \begin{aligned} L_U &= 20 \lg \frac{U_1}{0.775} \quad \text{分贝} \\ \text{或} \quad L_U &= \ln \frac{U_1}{0.775} \quad \text{奈} \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

3. 绝对电流电平

$$\left. \begin{aligned} L_I &= 20 \lg \frac{I_1}{1.29 \times 10^{-3}} \quad \text{分贝} \\ \text{或} \quad L_I &= \ln \frac{I_1}{1.29 \times 10^{-3}} \quad \text{奈} \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

计算电平时以功率电平为准。在电信测量中最常用的是功率电平与电压电平，电流电平很少应用。

例1—1 已知被测点功率为30毫瓦，试求其电平值。

解： $L_P = 10 \lg \frac{P_1}{10^{-3}} = 10 \lg 30 = 10 \times 1.477 = 14.77 \text{ dB}$

或 $L_P = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{10^{-3}} = \frac{1}{2} \ln 30 = \frac{1}{2} \times 3.4 = 1.7 \text{ Np}$

例1—2 已知电路某点绝对功率电平为+0.5奈，试求该点功率。

解：设功率单位为毫瓦，则 $L_P = \frac{1}{2} \ln P_1'$ ，即

$$0.5 = \frac{1}{2} \ln P_1'$$

$$P_1' = e = 2.718 \quad \text{毫瓦}$$

二、功率电平与电压电平的关系

设测量点功率为 P_1 ，电压为 U_1 ，阻抗为 Z_1 。基准值为 $P_0 = 1 \text{ 毫瓦}$ ， $U_0 = 0.775 \text{ 伏}$ ， $Z_0 = 600 \Omega$ 。

因此
$$P_1 = \frac{U_1^2}{Z_1}$$

$$P_0 = \frac{0.775^2}{600}$$

$$L_P = 10 \lg \frac{P_1}{P_0} = 10 \lg \frac{\frac{U_1^2}{Z_1}}{\frac{0.775^2}{600}} = 20 \lg \frac{U_1}{0.775} + 10 \lg \frac{600}{Z_1}$$

$$L_P = L_U + K \quad \text{分贝} \quad (1-11)$$

式中
$$K = 10 \lg \frac{600}{Z_1} \quad (1-12)$$

称为修正值。

同理
$$L_P = \ln \frac{U_1}{0.775} + \frac{1}{2} \ln \frac{600}{Z_1} \quad \text{奈} \quad (1-13)$$

这时修正值
$$K = \frac{1}{2} \ln \frac{600}{Z_1} \quad (1-14)$$

式 (1-11)、(1-13) 说明电压电平值加修正值后等于功率电平值，当 $Z_1 = 600 \Omega$ 时修正值为零，此时电压电平等于功率电平。

三、正电平、负电平和零电平的意义

根据 (1-1) 式可见：

当 $P_1 > P_0$ 时，电平为正值，正电平表示该点功率大于基准功率；

当 $P_1 < P_0$ 时，电平为负值，负电平表示该点功率低于基准功率；

当 $P_1 = P_0$ 时，电平为零，称为零电平，所以零电平表示该点功率正好等于基准功率。

第三节 相对电平

在电路中任取一基准点，一般选用电路始端，令该点功率值作为基准值，这样求得的电平称为相对电平。

一、相对电平

设 P_2 为基准点的功率， P_1 为测量点的功率。两点间的相对电平为：

$$\left. \begin{aligned} L_P &= 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \quad \text{分贝} \\ \text{或} \quad L_P &= \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2} \quad \text{奈} \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

二、相对电平与绝对电平的关系

根据 (1-15) 式

$$\begin{aligned} L_P &= 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = 10 \lg \frac{\frac{P_1}{10^{-3}}}{\frac{P_2}{10^{-3}}} \\ &= 10 \lg \frac{P_1}{10^{-3}} - 10 \lg \frac{P_2}{10^{-3}} \end{aligned} \quad (1-16)$$

上式表明两点间的相对电平等于该两点绝对电平之差。

三、衰减与增益

当信号电能经过网络之后，如电平降低，我们说信号受到网络的衰减。衰减值的大小，等于输入电平与输出电平之差。