

中 等 专 业 学 校 试 用 教 材

信 号 传 输 原 理

西安铁路运输学校 张冠莹 编
天津铁路工程学校 施庆昌 主审

中 国 铁 道 出 版 社

1989年·北京

前 言

《信号传输原理》一书是按照铁道部中等专业学校信号专业四年制教学计划及大纲所规定的84学时内容编写的教材。

本书内容主要从网络理论的概念去分析研究信号传输方面的问题，尤其对铁路信号中传递信息的基本信号设备——轨道电路作了较为详细的分析计算。

本教材在编写过程中得到了铁道科学研究院通号所，电化工程局和成都、西安等铁路局的大力帮助和支持；又经过了天津、锦州、沈阳、南京、内江、洛阳、兰州、乌鲁木齐和柳州等兄弟学校两次审稿会的认真审阅。在此向以上单位表示衷心感谢。限于编者的水平，书中难免有错误与不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

内 容 简 介

本书内容包括网络传输和线路传输两大部分。网络传输有四章：第一章为两端口网络的基本理论及网络的匹配概念，第二章介绍纯电抗一端口网络的基本概念和频率特性，第三、四章介绍滤波器、衰减器和固定均衡器的电路和用途；线路传输有三章：第五章讲述均匀传输线的概念，第六章分析研究轨道电路传输信号的特性及其计算，第七章介绍了轨道电路的测试和参数计算。最后在附录四中介绍了微机在轨道电路计算中的应用。

本书为中等专业学校铁路信号专业教材，也可供铁路信号技术人员学习参考。

中等专业学校试用教材

信 号 传 输 原 理

西安铁路运输学校 张冠莹 编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 倪嘉寒 封面设计 崔达

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/32 印张：12.5 字数：307 千

1989年10月 第1版 第1次印刷

印数：1—6,000册 定价：2.25元

目 录

第一章 两端口网络	1
第一节 两端口网络的一般概念	1
第二节 两端口网络的方程式及 T 参数	2
第三节 传输单位及电平	7
第四节 两端口网络的输入阻抗与影像阻抗	11
第五节 两端口网络的固有传输常数	16
第六节 两端口网络的匹配链接	20
第七节 两端口网络的工作衰耗与介入衰耗	23
习 题 一	26
第二章 一端口网络	28
第一节 一端口网络的一般概念	28
第二节 电抗一端口网络及其频率特性	28
第三节 等效一端口网络	34
第四节 倒量一端口网络	44
习 题 二	47
第三章 滤波器	48
第一节 滤波器的一般原理	48
第二节 K 式滤波器	50
第三节 m 式滤波器	62
习 题 三	80
第四章 衰耗器和均衡器	82
第一节 衰耗器的用途	82
第二节 固定衰耗器和可变衰耗器	83
第三节 固定衰耗均衡器	89
习 题 四	93
第五章 均匀传输线	94
第一节 均匀传输线的概念	94
第二节 均匀传输线的等效电路、二次参数及传输方程式	98
第三节 电磁波在均匀传输线中的传播	107
习 题 五	112
第六章 轨道电路的分析计算	113
第一节 轨道电路的电气参数	113
第二节 轨道电路的分析	119

第三节 轨道电路的计算 128
 第四节 电力牵引区段轨道电路的分析和计算 151
 习 题 六 163
 第七章 轨道电路的测量 164
 第一节 直流轨道电路基本参数的测量 164
 第二节 交流轨道电路基本参数的测量 165
 第三节 移频轨道电路基本参数的测量 172
 第四节 轨道电路测量技术和对仪表器材的要求 173
 第五节 轨道电路一般特性的测量及调整方法 176
 习 题 七 179
 附录一 双曲线函数 180
 附录二 两端口网络工作衰耗表达式的推导 181
 附录三 指数函数及双曲线函数表 183
 附录四 应用微机程序计算轨道电路 187

第一章 两端口网络

随着科学技术的不断发展, 铁路信号从机械信号到机电信号, 发展到目前出现的电子信号, 并逐步向高度的自动化、远动化方向发展。在自动化系统中, 当传送信息时, 常常要遇到各种不同性能的复杂电路, 如滤波器、变压器和衰耗器等。它们都是由元件或器件连接成一个具有一定电特性的传输部件或单元, 叫做网络。在电工学与电子电路中, 讨论的是电路, 构成一个完整的电路应包括电源和负载及连接导线, 虽有元件或器件串联、并联或混联, 但电源与负载距离很近, 连接导线比较短。而在电信号传输中, 电源与负载相距很远, 中间靠许多部件与很长线路相连, 构成了信号传输通道。因此, 网络作为信号传输的单元, 对外有接线端口。本章就是研究网络传输的普遍规律, 重点是研究两端口网络的影像参数和匹配链接, 为学习滤波器、衰耗器、均衡器、传输线和轨道电路等内容打下基础。

第一节 两端口网络的一般概念

凡具有两对端子对外连接的网络, 都称为两端口网络。如图 1—1 所示。方框表示网络, 它与电源连接的一对端子称为网络的输入端, 与负载连接的一对端子称为网络的输出端, 习惯上用 1—1 端表示输入端, 用 2—2 端表示输出端。

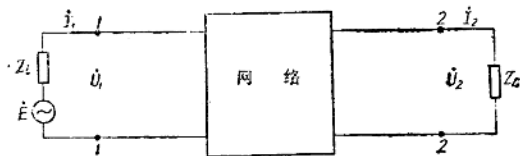


图 1—1

输入端的电压值和电流量表明电源向网络输送信号的情况, 输出端的电压值和电流量说明负载接收信号的情况。因此输入端和输出端的电压及电流的量值比较能反映网络传输信号的效果。

衰耗器、均衡器、滤波器、放大器、变压器以及其他具有两对端子连接于电源和负载间的装置都属于两端口网络。传输线和轨道电路也可视为两端口网络。

两端口网络可分为以下几类:

按网络的元件是否为线性, 可分为线性网络和非线性网络。如电阻、电感和电容 (其阻抗值不随通过的电流或所加电压的大小成线性变化) 所组成的两端口网络, 称为线性网络; 反之由电子管、晶体管和铁心变压器所组成的两端口网络, 称为非线性网络。

按网络内部是否存在电源, 可分为有源网络 (如放大器) 与无源网络 (如滤波器、衰耗器等)。

按网络的结构可分为 L 型、T 型、 π 型、桥 T 型和 X 型 (格型) 等种类。如表 1—1 所列两端口网络的基本结构形式。

如果以网络纵轴为中心, 左右两侧的阻抗对应相等, 则为对称网络。否则为不对称网络。

如果通过网络中心的水平轴为界, 上下两边的阻抗对应相等, 则为平衡网络。否则为不平衡网络。

平衡网络。

两端口网络的各条支路称为臂。串接于电源与负载之间的臂称为串臂（格型者称为直臂）。并接于上下两串臂之间的臂称为并臂（格型者称为斜臂）。在表1—1所列的各个网络结构中， Z_1 、 Z_2 、 Z_3 和 Z_4 在不同情况下可能是纯电阻，可能是纯电抗，也可能是阻抗。由电抗元件（电感、电容）构成的两端口网络，叫做电抗两端口网络， LC 滤波器就属于这类网络。由纯电阻构成的两端口网络叫电阻两端口网络，衰减器就是这类网络。由电阻、电感、电容等构成的两端口网络，叫 RLC 两端口网络，衰减均衡器就属于这类网络。

表 1—1

	不对称不平衡网络	对称不平衡网络	对称平衡网络
L 型			
T 型			
π 型			
桥 T 型			
X 型 (格型)			

第二节 两端口网络的方程式及 T 参数

一、两端口网络的基本方程式

联系两端口网络输入端和输出端的电压、电流的关系式，称为两端口网络的基本方程式。

两端口网络基本方程式的一般表示形式为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1a)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_2 &= D\dot{U}_1 - B\dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 &= -C\dot{U}_1 + A\dot{I}_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-1b)$$

上式中 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{I}_1$ 为两端口网络正向传输时输入端的电压和电流； $\dot{U}_2$ 、 $\dot{I}_2$ 为两端口网络正向传输时输出端的电压和电流。式 (1-1a) 和式 (1-1b) 分别为两端口网络正向传输时输出端和输入端的电压、电流的关系式（它们之间满足 $AD - BC = 1$ ），系数 A 、 B 、 C 和 D 称为两端口网络的 T 参数。不同结构的两端口网络，具有不同的 T 参数。

下面以 L 型网络为例来求网络的 T 参数，如图 1-2 所示。正向传输方向习惯上从左向右，即从 1-1 端到 2-2 端。

由电工原理知：

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 + Z_1 \dot{I}_1 \\ \dot{I}_1 &= \frac{\dot{U}_2}{Z_2} + \dot{I}_2 \end{aligned}$$

经过整理后，可得传输方程式为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right) \dot{U}_2 + Z_1 \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= \frac{1}{Z_2} \dot{U}_2 + \dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

将式 (1-2) 与式 (1-1a) 比较即得：

$$\begin{aligned} A &= 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & B &= Z_1 \\ C &= \frac{1}{Z_2} & D &= 1 \end{aligned}$$

并且，四个系数之间满足关系式

$$AD - BC = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} - \frac{Z_1}{Z_2} = 1$$

若改变传输方向，即从 2-2 端到 1-1 端（右向左）如图 1-3 所示

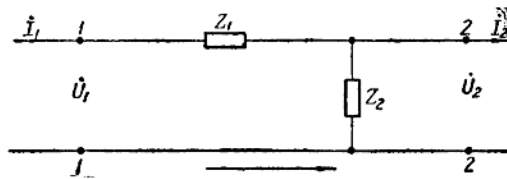


图 1-2

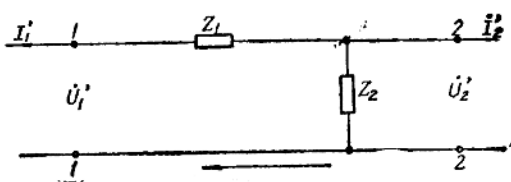


图 1-3

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \dot{U}'_1 + \dot{I}'_1 Z_1 \\ \dot{I}_2 &= \frac{\dot{U}'_1}{Z_2} + \dot{I}'_1 \end{aligned}$$

上式经过整理后, 即得

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_2 &= \dot{U}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 &= \frac{1}{Z_2} \dot{U}_1 + \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right) \dot{I}_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

将式 (1-3) 与式 (1-2) 比较, 不同点仅仅是参数 A 与 D 的位置对调。

参照式 (1-1 a) 可写出反向传输方程式:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_2 &= D \dot{U}_1 + B \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 &= C \dot{U}_1 + A \dot{I}_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

由式 (1-1 a) 和式 (1-4) 可以看出, 当网络结构不变时, 改变网络的传输方向, 在传输方程中 A 、 D 位置互换, 而 B 、 C 不变。

二、两端口网络的 T 参数

(一) T 型网络的 T 参数

在图 1-4 所示的 T 型网络中

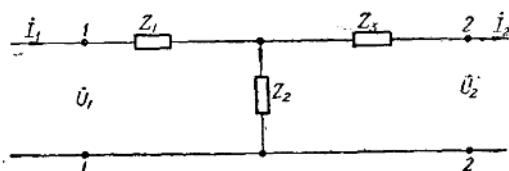


图 1-4

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= Z_1 \dot{I}_1 + Z_3 \dot{I}_2 + \dot{U}_2 \\ \dot{I}_1 &= \frac{Z_3 \dot{I}_2 + \dot{U}_2}{Z_1} + \dot{I}_2 \end{aligned}$$

经过整理后, 可得:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right) \dot{U}_2 + \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}{Z_2} \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= \frac{\dot{U}_2}{Z_2} + \left(1 + \frac{Z_3}{Z_2}\right) \dot{I}_2 \end{aligned}$$

这时两端口网络的 T 参数分别为:

$$\begin{aligned} A &= 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & B &= \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}{Z_2} \\ C &= \frac{1}{Z_2} & D &= 1 + \frac{Z_3}{Z_2} \end{aligned}$$

并且系数也满足下列关系式:

$$AD - BC = \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right) \left(1 + \frac{Z_3}{Z_2}\right) - \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}{Z_2^2} = 1$$

同理, 当改变传输方向时, AD 位置对调而 BC 不变,

当 T 型两端口网络对称时, $Z_1 = Z_3$, 则 T 参数分别为:

$$A = D = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \quad B = 2Z_1 + \frac{Z_1^2}{Z_2} \quad C = \frac{1}{Z_2}$$

仍然满足关系式: $AD - BC = 1$ 。

(二) T 参数的特性

综合以上的分析, 对于任何一个两端口网络都有如下的结论:

1. 两端口网络的 T 参数只与网络的结构及各臂的阻抗值有关, 与外电路的电源和负载无关。

2. 同一网络, 当传输方向改变时, 它们的基本方程式中只有 A 、 D 对调而 B 、 C 不变。若为对称网络, 则 $A=D$ 。

3. 因为 T 参数满足 $AD-BC=1$ 的关系, 所以一个两端口网络只有三个独立参数。对称网络只有两个独立参数。

(三) T 参数的简易求法

两端口网络的 T 参数有一种简单的求法, 即所谓开路、短路法。这也是一种常用来实际测量网络 T 参数的方法。

当输出端开路 ($\dot{I}_2 = 0$) 时, 式 (1-1a) 可写为:

$$A = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_2=0} \quad 2-2 \text{ 端开路时的电压比 (无量纲)}$$

$$C = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_2=0} \quad 2-2 \text{ 端开路时的转移导纳 (S)}$$

当输出端短路 ($\dot{U}_2 = 0$) 时, 式 (1-1a) 可写为:

$$D = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0} \quad 2-2 \text{ 端短路时的电流比 (无量纲)}$$

$$B = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0} \quad 2-2 \text{ 端短路时的转移阻抗 } (\Omega)$$

例如求图 1-2 所示的 L 型两端口网络的 T 参数

$$A = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_2=0} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2}$$

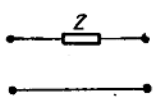
$$B = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0} = Z_1$$

$$C = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{\dot{I}_2=0} = \frac{1}{Z_2}$$

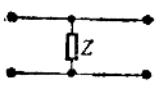
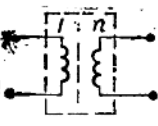
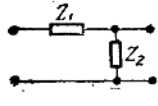
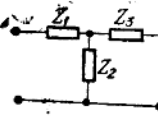
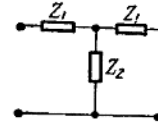
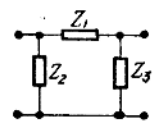
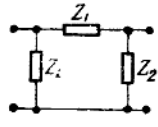
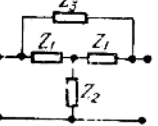
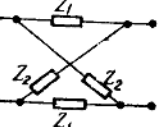
$$D = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} \right|_{\dot{U}_2=0} = 1$$

其它各类型网络的 T 参数均列于表 1-2。

表 1-2

网 络 结 构	A	B	C	D
	1	Z	0	1

续上表

网 络 结 构	A	B	C	D
	1	0	$\frac{1}{Z}$	1
	$\pm \frac{1}{n}$	0	0	$\pm n$
	$1 + \frac{Z_1}{Z_2}$	Z_1	$\frac{1}{Z_2}$	1
	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1}$	$\frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_1 Z_4}{Z_1}$	$\frac{1}{Z_1}$	$\frac{Z_2 + Z_3}{Z_1}$
	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1}$	$\frac{Z_1 (Z_1 + 2Z_2)}{Z_1}$	$\frac{1}{Z_1}$	$\frac{Z_2 + Z_1}{Z_1}$
	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1}$	Z_1	$\frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{Z_1 Z_2}$	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1}$
	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1}$	Z_1	$\frac{2Z_2 + Z_1}{Z_1^2}$	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1}$
	$\frac{Z_1 (Z_1 + Z_2) + Z_2 (2Z_1 + Z_3)}{Z_1^2 + Z_2 (2Z_1 + Z_3)}$	$\frac{Z_1 Z_2 (Z_1 + 2Z_2)}{Z_1^2 + Z_2 (2Z_1 + Z_3)}$	$\frac{2Z_1 + Z_2}{Z_1^2 + Z_2 (2Z_1 + Z_3)}$	$\frac{Z_1 (Z_1 + Z_2) + Z_2 (2Z_1 + Z_3)}{Z_1^2 + Z_2 (2Z_1 + Z_3)}$
	$\frac{Z_2 + Z_1}{Z_2 - Z_1}$	$\frac{2Z_1 Z_2}{Z_2 - Z_1}$	$\frac{2}{Z_2 - Z_1}$	$\frac{Z_2 + Z_1}{Z_2 - Z_1}$

第三节 传输单位及电平

一、传输单位

信号在轨道电路的两根钢轨中传输时，要损耗一定的功率。由于钢轨本身存在一定的阻抗，因此信号电流通过钢轨时，就要产生电压降，并且在传输过程中，有一部分电流经过两轨之间的大地在传输过程中直接返回发送端。这样，钢轨上传输的电压随传输距离的增加而越来越低，电流也越来越小，也就是说功率越来越小。而且钢轨线路越长，损耗的功率也越大，信号的强度也就越来越弱。所以，信号经过一定传输距离之后，需要集中加以放大，以补偿传输过程中功率的衰减。信号在传输中的这种衰减或增益的情况，需要有个计量的单位，即传输单位。它是建立在功率比的对数基础之上，这是一个很重要的概念。

如果直接用瓦特、伏特和安培来衡量信号在传输中的功率、电压和电流的变化是不能很好说明问题的。例如某线路的输入功率为100mW，输出功率为10mW，在传输中减少了90mW；当输入功率为10mW，输出功率为1mW时，则减少了9mW。虽然前者在传输中衰减了90mW，后者在传输中衰减了9mW，但两者衰减的程度是相同的，都是衰减了十分之九，即输出功率与输入功率之比均为 $\frac{1}{10}$ 。比值 $\frac{1}{10}$ 就是一个反映该传输设备损耗性能的值。此外，又根据物理学可以知道，人耳对声音强弱变化的感觉不是与功率变化的倍数成正比，而是与功率变化的对数成正比。例如声能增加了一倍，人的听觉仅感觉到增加了30%，即 $\lg 2 \approx 0.3 = 30\%$ 。鉴于上述原因，因此，采用了功率比值的对数作为度量信号传输的单位。它不仅反映了信号传输的规律（即线路上传输的信号电压和电流在输入端与输出端之间的衰减不是直线关系而是指数曲线关系，而指数形式又可以很方便地用对数的形式来表达），同时它还便于运算、记忆和书写。线路上若干个网络连接起来的总损耗，等于将其每个网络的输入与输出功率的比值相乘，如果取用对数则将相乘简化为比值的对数相加即可。人耳能听到的声音，从细微的蚊鸣到响雷，其功率相差一万亿倍，写成数字就是1,000,000,000,000倍，对这样大的功率无论作比较，记忆或书写都很不方便。如果写成指数形式即为 10^{12} 倍，从而启发了用取对数的方式使书写与记忆更为方便。由此可见，以功率比值的对数作为传输单位，既科学又方便。

国际上常用的传输单位有两种，一种为分贝（用符号dB表示），另一种为奈培（用符号Np表示）。而分贝确定为我国法定的计量单位，也被确定为国际单位制的单位，所以在这里我们只介绍分贝。分贝是贝尔（用符号B表示）的十分之一。贝尔是以功率比的常用对数来定义的。设部件输入功率为 P_1 ，输出功率为 P_2 ，则贝尔的定义式为

$$\lg \frac{P_2}{P_1}$$

当 $\frac{P_2}{P_1} = 10$ 时， $\lg \frac{P_2}{P_1} = 1$ B，所以1贝尔表示信号在传输过程中功率变化了10倍。因为贝尔单位太大，用起来不甚方便，所以常用其的十分之一为基本传输单位，则有

$$10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 1 \text{ dB}$$

$$1 \text{ B} = 10 \text{ dB}$$

当网络的输入与输出端的阻抗相同时，也即 $Z_1 = Z_2$ 时，则

$$10 \lg \frac{\frac{U_2^2}{Z_2}}{\frac{U_1^2}{Z_1}} = 10 \lg \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ (dB)}$$

当 $\frac{U_2}{U_1} = 10^{\frac{1}{20}} = 1.122$

则 $20 \lg \frac{U_2}{U_1} = 20 \lg 10^{\frac{1}{20}} = 1 \text{ dB} \quad (1-5)$

也就是说, 当网络的两个端口的阻抗相同时, 如果信号通过网络后, 电压变化了1.22倍, 则信号的强弱变化了一个分贝。

当采用自然对数的比值作为传输的单位, 即为以往常用的奈培 (符号 Np)。其定义式为

当 $\frac{P_2}{P_1} = e^2$ 时, 则 $\frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1}$

$$\frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{2} \ln e^2 = 1 \text{ Np}$$

两种单位的换算关系如下:

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ dB} &= 0.1151 \text{ Np} \\ 1 \text{ Np} &= 8.686 \text{ dB} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

(在本书后面附录三上的双曲函数表里, 查出的 x 值单位为奈培, 需乘上 8.686 即化为分贝单位)。

二、电 平

电平是用分贝或奈培作为单位来衡量电信号在传输过程中的强弱变化。电平高意味着信号强, 电平低则意味着信号弱。它是传输当中一个最重要最基本的指标。

电平分为绝对电平和相对电平。绝对电平是以 1 mW 功率为基准值来计算某点的电平。相对电平是任选某一点的功率为基准值, 把其他各点的功率高于或低于基准点功率的倍数以分贝或奈培表示出来, 这种电平表示, 即为相对电平。它可用来表示一个两端口网络两侧信号强弱的变化情况。

(一) 绝对电平

常用的绝对电平有绝对功率电平和绝对电压电平。它的表示式为

$$\left. \begin{aligned} L_p &= \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0} \text{ (Np)} \\ L_p &= 10 \lg \frac{P}{P_0} \text{ (dB)} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

$$\left. \begin{aligned} L_u &= \ln \frac{U}{U_0} \text{ (Np)} \\ L_u &= 20 \lg \frac{U}{U_0} \text{ (dB)} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

式 (1-7)、(1-8) 中, P_0 为基准功率值, 取 1 mW; U_0 为基准电压值, 取 0.775 V, 这是以 600 Ω 电阻上消耗 1 mW 功率而求得, 即 $U_0 = \sqrt{P_0 Z_0} = \sqrt{10^{-3} \times 600} = 0.775 \text{ V}$ 。式 (1-7) 和式 (1-8) 又可写为:

$$\left. \begin{aligned} L_p &= 10 \lg P \quad (\text{dB}) \\ L_p &= \frac{1}{2} \ln P \quad (\text{Np}) \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

$$\left. \begin{aligned} L_u &= 20 \lg \frac{U}{0.775} \quad (\text{dB}) \\ L_u &= \ln \frac{U}{0.775} \quad (\text{Np}) \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

式(1-9)、(1-10)从中可以看出,电平的高低表示了信号功率的大小,正电平表示信号功率大于基准值;负电平表示比基准值小;零电平则表示与基准值相等。

在测试电平时,大多数测出的是电压电平,因此常需要把电压电平换算成功率电平,那末二者之间有何关系呢?设测量点功率为 P ,电压为 U ,阻抗为 Z ,基准值 $P_0 = 1 \text{ mW}$, $U_0 = 0.775 \text{ V}$, $Z_0 = 600 \Omega$ 。

$$\text{因为} \quad P = \frac{U^2}{Z}, \quad P_0 = \frac{0.775^2}{600}$$

$$\text{则} \quad L_p = 10 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg \frac{\frac{U^2}{Z}}{\frac{U_0^2}{Z_0}} = 20 \lg \frac{U}{0.775} + 10 \lg \frac{600}{Z} \quad (\text{dB})$$

$$\text{即,} \quad L_p = L_u + S \quad (\text{dB})$$

$$\text{式中} \quad S = 10 \lg \frac{600}{Z}$$

称为修正值。

$$\text{同理} \quad L_p = \ln \frac{U}{0.775} + \frac{1}{2} \ln \frac{600}{Z} \quad (\text{Np})$$

此时的修正值

$$S = \frac{1}{2} \ln \frac{600}{Z}$$

当 $Z = 600 \Omega$ 时,修正值为零,这时的电压电平等于功率电平;对于测试点不同的阻抗可得出不同的修正值 S 。由此可见,对于不同的测试点测试电平时将测试结果进行修正即可。具体测试方法在后面讲述。

(二) 相对电平

常用的相对电平有相对功率电平和相对电压电平。采用功率电平时,可选某点的功率(如电路的始端功率) P_1 为基准值;采用电压电平时,可选某点的电压(比如电路的始端电压) U_1 为基准值,再与被测点的功率或电压作比较,即

$$\left. \begin{aligned} L_{p1-2} &= 10 \lg \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{dB}) \\ L_{p1-2} &= \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{Np}) \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

$$\left. \begin{aligned} L_{u1-2} &= 20 \lg \frac{U_2}{U_1} \quad (\text{dB}) \\ L_{u1-2} &= \ln \frac{U_2}{U_1} \quad (\text{Np}) \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

当 $P_1 > P_2$ 或 $U_1 > U_2$ 时,电平为负值,即为衰耗值;当 $P_1 < P_2$ 或 $U_1 < U_2$ 时,电平为

正值,即为增益值;当 $P_1 = P_2$ 或 $U_1 = U_2$ 时,电平为零值。

(三) 相对电平与绝对电平的关系

由相对电平与绝对电平的定义,可以写出下列关系式:

$$\begin{aligned} L_{P1-2} &= 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \lg \left(\frac{P_2}{1} \cdot \frac{1}{P_1} \right) = 10 \lg P_2 - 10 \lg P_1 \\ &= L_{P2} - L_{P1} \end{aligned}$$

上式说明两点间的相对电平就是两点间绝对电平之差。

(四) 电平的测量方法

要保证电信系统的畅通就离不开对信号传输情况的观测和分析,通常这种观测和分析,是通过电平测量进行的。所以信号电平的测量是最基本、最主要的一种电信测量,必须掌握基本测量方法。

信号在传输中能量的变化是以功率电平来表示的。所以电平的测量应当是功率的测量。但是测量功率或者电流都没有测量电压方便。因而电平的测量常用电压测量的办法来实现,然后再把电压电平换算成功率电平。以往所用的电平表多数是根据 $L_v = \ln \frac{U}{0.775} \text{ Np}$ 的关系式制作的,这类电平表叫做电压电平表。只有在阻抗为 600Ω 时,所测得的结果和功率电平值相同,其它阻抗时测出的电压电平值与功率电平是不相同的,前面曾提到过,它们之间需考虑修正值的问题,即在电压电平的读数上加一个修正值 $S = 10 \lg \frac{600}{Z}$ 或 $S = \frac{1}{2} \ln \frac{600}{Z}$ 。

用电平表测量电平有两种基本方法,即终端法和跨接法。

终端法又叫衰耗测量法。它的主要特点是需要断开测试点以后的电路,如图 1—5 所示。首先选择电平表的输入阻抗 Z_{sr} 等于测试点处的输出阻抗 Z_L ,以电平表代替原来在测试点后所接的实际电路。

如果测试点以后的电路没有断开,则在电平表的读数电平值上加上 3.5 dB 这个偏差值。

虽然终端法要求电平表的输入阻抗 Z_{sr} 等于测试点阻抗 Z_L ,但电平表的输入阻抗仅有有限的几个档可供选用,而测试点的阻抗是各种各样的。在 $Z_{sr} \neq Z_L$ 时,电平表的读数上加上一个偏差值 $10 \lg \frac{(Z_L + Z_{sr})^2}{4Z_L Z_{sr}}$ 或 $\frac{1}{2} \ln \frac{(Z_L + Z_{sr})^2}{4Z_L Z_{sr}}$ 即可。

上述两种情况的偏差值 3.5 dB 和 $10 \lg \frac{(Z_L + Z_{sr})^2}{4Z_L Z_{sr}}$ 是根据电工原理推导出来的,这里不再讲述。

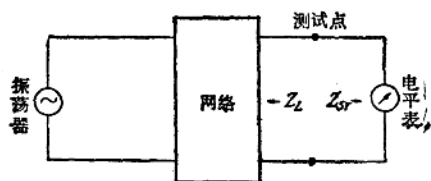


图 1—5

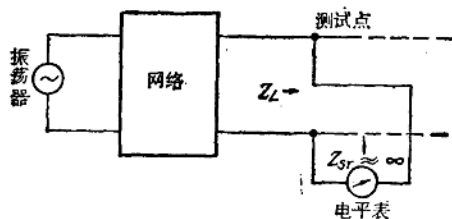


图 1—6

跨接法又叫做电平法。其特点就是电平表的阻抗必须置于高输入阻抗档(约 $10 \text{ k}\Omega$ 以上),不用切断被测电路,把电平表跨接在电路的测试点上进行测试。如图 1—6 所示。

如果在跨接测量时,切断了被测电路,电平表的读数将偏高 6 dB (0.69 Np)。也就是说,用跨接法测量时,若测试点开路,测试结果应当在电平表的读数上减去 6 dB (0.69 Np) 这个偏差值。

上述两种测量电平的方法都可以, 终端法比较准确, 而跨接法往往要受到电路连接点处信号反射的影响, 但用电平表跨接测量可以避免妨碍全部电路畅通, 而且有时需对某些不可能断开的点进行测量, 特别是在查找障碍时, 跨接法就更能发挥优越性。

总之, 用电平表测量电平要注意以下两个问题, 第一、要判定或搞清楚测试中使用的电平表是电压电平表还是功率电平表; 第二、对使用电压电平表所得出的测试结果要进行必要的修正。

【例 1—1】已知被测点功率为 30mW, 试求其电平值。

【解】 $L_p = 10 \lg P = 10 \lg 30 = 10 \times 1.477 = 14.77 \text{ dB}$

【例 1—2】已知电路某点绝对电平为 4.34dB, 试求该点功率。

【解】

$$4.34 = 10 \lg P$$

$$P = 10^{4.34/10} = 2.51 \text{ mW}$$

【例 1—3】已知测量点阻抗为 150Ω , 功率为 0.75mW, 试求其绝对电压电平。

【解】测量点电压 $U = \sqrt{PZ} = \sqrt{0.75 \times 10^{-3} \times 150} = 0.335 \text{ V}$

该点绝对电压电平为:

$$L_u = 20 \lg \frac{0.335}{0.775} = 20 \lg 0.432 = -0.78 \text{ dB}$$

第四节 两端口网络的输入阻抗与影像阻抗

一、输入阻抗

(一) 输入阻抗的定义及其表达式

两端口网络的输入阻抗是网络输入端口电压与电流之比, 如图 1—7 所示。

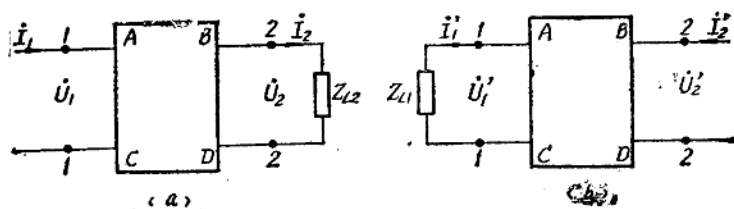


图 1—7

图 1—7 (a) 为正向传输时, “1” 端口的输入阻抗为 $Z_{s,1}$, 即

$$Z_{s,1} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}$$

图 1—7 (b) 为反向传输时, “2” 端口的输入阻抗为 $Z_{s,2}$, 即

$$Z_{s,2} = \frac{\dot{U}'_2}{\dot{I}'_2}$$

将式 (1—1a) 和式 (1—4) 代入上式可得如下形式:

$$Z_{s,1} = \frac{A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2}{C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2}$$

$$Z_{s,2} = \frac{D\dot{U}'_1 + B\dot{I}'_1}{C\dot{U}'_1 + A\dot{I}'_1}$$

因为 $\dot{U}_2 = Z_{L2} \dot{I}_2$, 所以 $Z_{s,1} = \frac{A\dot{I}_2 Z_{L2} + B\dot{I}_2}{C\dot{I}_2 Z_{L2} + D\dot{I}_2}$ 化简后可得:

$$\left. \begin{aligned} Z_{s,1} &= \frac{AZ_{L2} + B}{CZ_{L2} + D} \\ \text{同理} \quad Z_{s,2} &= \frac{DZ_{L1} + B}{CZ_{L1} + A} \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

式(1-13)是两端口网络输入阻抗的一般表达式。可见输入阻抗与网络的 T 参数及负载阻抗有关。

(二) 开路输入阻抗及短路输入阻抗

当网络输出端开路, 即 $Z_L \rightarrow \infty$, 这时输入端的阻抗叫开路输入阻抗, 用字母 Z_∞ 表示。若网络输出端短路, 即 $Z_L = 0$, 这时输入端的阻抗称为短路输入阻抗, 用字母 Z_0 表示。

将 $Z_{L2} \rightarrow \infty$ 、 $Z_{L2} = 0$ 及 $Z_{L1} \rightarrow \infty$ 、 $Z_{L1} = 0$ 分别代入式(1-13), 可得“1”端口及“2”端口的开、短路输入阻抗表达式。

$$\text{即} \quad \left. \begin{aligned} Z_{\infty 1} &= \frac{A}{C} \\ Z_{01} &= \frac{B}{D} \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

$$\text{及} \quad \left. \begin{aligned} Z_{\infty 2} &= \frac{D}{C} \\ Z_{02} &= \frac{B}{A} \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

若网络对称, 即 $A = D$,

$$\begin{aligned} \text{则} \quad Z_{\infty 1} &= Z_{\infty 2} = Z_\infty = \frac{A}{C} \\ Z_{01} &= Z_{02} = Z_0 = \frac{B}{A} \end{aligned}$$

由上式可知, 两端口网络的开、短路输入阻抗与网络的结构和元件值有关, 而与外电路无关。

二、影像阻抗

(一) 影像阻抗的定义及其表达式

由式(1-13)可以看出, 两端口网络的输入阻抗不仅与网络本身的阻抗有关, 还分别与两端所接的负载值有关, 所以输入阻抗不能完全表达两端口网络本身的特性, 因此引出了影像阻抗的概念, 为网络的匹配链接传输提供条件。有的书把影像阻抗又叫做特性阻抗。

两端口网络每端口的影像阻抗定义为该端口的开、短路输入阻抗的几何平均值。用 Z_{c1} 和 Z_{c2} 分别表示两端口网络“1”端口和“2”端口的影像阻抗, 即

$$Z_{c1} = \sqrt{Z_{\infty 1} Z_{01}} \quad (1-16)$$

$$Z_{c2} = \sqrt{Z_{\infty 2} Z_{02}} \quad (1-17)$$