

DIANXIN WANGLUO JICHU

北京邮电学院教材专业

# 电信网络基础

## 上册

人民邮电出版社

# 电信网络基础

上册

北京邮电学院载波专业

人民邮电出版社

## 内 容 提 要

本书由浅入深地阐明了载波通信系统中无源线性网络的基本理论及分析方法，对载波机中的主要无源部件——滤波器、均衡器的设计方法进行了介绍，并附有若干设计图表。全书共七章，分上下两册出版，上册包括：工作参数滤波器，四端网络，影象参数滤波器。下册包括：高通、带通和带阻滤波器的设计，滤波器的并联运用，晶体滤波器、压电陶瓷滤波器和机械滤波器，均衡器。

本书可供从事载波通信工作的维护人员、生产工人、工程技术人员及有关专业的工农兵学员学习和参考。

## 电 信 网 络 基 础

上 册

北京邮电学院载波专业

人民邮电出版社出版

北京东长安街 27 号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/16

1977 年 12 月第一版

印张：14 <sup>3</sup>/<sub>16</sub> 页数：116

1977 年 12 月北京第一次印刷

字数：362 千字

印数：1—13,200 册

统一书号：15045·总2176-有568

定价，1.20 元

# 毛主席语录

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

## 前 言

伟大的无产阶级文化大革命促进了我国通信事业的蓬勃发展，大容量同轴电缆载波通信系统及微波通信系统正在逐步地成为全国通信网络的骨干，使邮电通信事业更好地为社会主义革命和社会主义建设服务。为了适应通信技术发展的需要，适应广大从事载波通信工作的工人，工程技术人员及通信院校师生学习电信网络的要求，根据几年来我们对于电信网络这门课程所进行的教育革命实践，在原有教材的基础上，编写了这本《电信网络基础》。

《电信网络基础》着重介绍网络分析的基本原理，载波机中的主要无源部件的作用，电路分析以及基本的设计方法。并附有一定的设计图表。关于无源部件的生产制作，我们准备另行编写一本书来介绍。

在编写的过程中，我们根据教材要彻底改革，有的首先删繁就简。理论的基础是实践，又反过来为实践服务的精神，力图以辩证唯物论的认识论为指导，贯彻理论联系实际，按由浅入深，由特殊到一般，由感性认识上升到理性认识的原则来组织教材内容。并力求用通俗的语言，阐明物理概念，避免繁琐的数学推导，有一些比较重要的理论证明则放于附录之中，以便于读者自学参考。

在编写的过程中，我们曾多次到邮电通信工厂和企业，接受工人阶级的再教育，学习广大工人、工程技术人员生产实践的科学经验，得到了他们的大力支持和帮助。但是由于我们的政治思想水平和业务水平不高，虽经反复修改，也还会存在许多缺点和错误，请读者予以批评指正，以便进一步修改。

北京邮电学院 载波专业  
《电信网络基础》编写组

# 目 录

概论 .....	(1)
第一章 工作参数滤波器 .....	(6)
1-1 电平和衰减 .....	(6)
一、什么是电平? 为什么要采用电平? .....	(6)
二、功率电平和电压电平 .....	(6)
三、电平的单位及其换算 .....	(9)
四、传输衰减 $a_{ch}$ .....	(10)
五、工作衰减 $a$ .....	(12)
1-2 LC 梯型滤波器的概念 .....	(14)
一、电抗元件的频率特性 .....	(15)
二、电抗元件的滤波特性 .....	(19)
三、由 LC 电抗元件构成梯型滤波器的概念 .....	(21)
1-3 工作参数滤波器的图表 .....	(25)
一、工作参数滤波器的类型 .....	(25)
二、椭圆函数型 (CC 型) 低通滤波器图表简介 .....	(27)
1-4 低通滤波器的设计 .....	(30)
一、标称化 (归一化) .....	(30)
二、设计方法及举例 .....	(34)
1-5 滤波器的调测 .....	(39)
一、滤波器的元件 .....	(39)
二、滤波器的调谐及装配 .....	(41)
三、滤波器特性的测量 .....	(42)
四、滤波器的常见故障产生的原因和维修方法 .....	(45)
第二章 四端网络 .....	(48)
2-1 四端网络的概念 .....	(48)
2-2 四端网络的输入阻抗和开、短路阻抗 .....	(49)
一、四端网络的输入阻抗 .....	(49)
二、四端网络的开路阻抗和短路阻抗 .....	(51)
2-3 滤波器的反射系数 $p$ 和反射衰减 $a_r$ .....	(52)
一、滤波器的工作衰减 $a$ 与输入阻抗 $Z_{sr1}$ 之间的联系 .....	(52)
二、反射系数 $p$ 和反射衰减 $a_r$ .....	(54)
三、 $p$ , $a_r$ 与 $a$ , $Z_{sr1}$ , $R_l$ 间的关系式 .....	(55)
2-4 四端网络的影象 (特性) 参数 .....	(56)
一、四端网络的特性 (影象) 阻抗 .....	(56)
二、四端网络的固有传输常数 .....	(61)
2-5 四端网络的匹配链接及常用四端网络的影象参数 .....	(67)

一、匹配链接网络的影象参数 .....	(67)
二、常用四端网络的影象参数 .....	(69)
2-6 衰减器——电阻四端网络 .....	(73)
一、衰减器的影象参数 .....	(73)
二、衰减器元件值的计算 .....	(75)
三、衰减器设计图表 .....	(76)
四、衰减器设计中的一些问题 .....	(78)
五、可变衰减器的概念 .....	(80)
2-7 中分定理和等效四端网络 .....	(81)
一、中分定理 .....	(81)
二、等效四端网络 .....	(83)
2-8 四端网络的传输方程和参数 .....	(88)
一、四端网络的传输方程式和 $A$ 参数 .....	(88)
二、求 $A$ 参数的方法 .....	(91)
三、 $A$ 参数与实验参数, 影象参数间的关系和用影象参数表示的传输方程式 .....	(93)
四、其他形式的传输方程式和参数简介 .....	(95)
<b>第三章 影象参数滤波器 .....</b>	<b>(97)</b>
3-1 纯电抗二端网络 .....	(97)
一、什么叫二端网络? 什么叫纯电抗二端网络? .....	(97)
二、纯电抗二端网络的电抗频率特性 .....	(98)
三、纯电抗二端网络的典型结构 .....	(104)
四、电抗二端网络的等效和倒量 .....	(110)
五、电抗二端网络的测量 .....	(115)
3-2 影象参数滤波器的传通条件 .....	(118)
一、什么是影象参数滤波器 .....	(118)
二、滤波器的传通条件和截止频率 .....	(119)
3-3 $K$ 式低通滤波器 .....	(125)
一、 $K$ 式滤波器的特征 .....	(125)
二、 $K$ 式低通滤波器的特性分析及计算公式 .....	(125)
三、 $K$ 式低通滤波器的电路结构 .....	(131)
四、 $K$ 式滤波器的优缺点 .....	(134)
3-4 $m$ 式低通滤波器 .....	(134)
一、 $m$ 式滤波器的构成 .....	(135)
二、 $m$ 值对固有传输常数的影响 .....	(138)
三、 $m$ 值对特性阻抗的影响 .....	(142)
四、 $m$ 式低通滤波器应用举例 .....	(144)
五、低通滤波器基本节特性总结 .....	(145)
3-5 复合滤波器 .....	(149)
一、滤波器的复合原则 .....	(149)
二、复合滤波器的特性分析 .....	(150)
3-6 低通滤波器的设计及样板法的应用 .....	(152)
一、通带设计 .....	(153)

二、阻带设计 .....	(164)
三、设计举例 .....	(168)
3-7 失配和损耗对滤波器衰减特性的影响 .....	(176)
一、失配对滤波器衰减特性的影响 .....	(177)
二、元件损耗对滤波器衰减特性的影响 .....	(180)
附表 .....	(184)
附表 1-1 CC 03 ( $p=8\%$ , $p=15\%$ , $p=20\%$ , $p=45\%$ ) .....	(184)
附表 1-2 CC 0405 b ( $p=5\%$ , $a_{\max}=0.011$ dB) .....	(185)
附表 1-3 CC 0420 b ( $p=20\%$ , $a_{\max}=0.18$ dB) .....	(186)
附表 1-4 CC 0405 C ( $p=5\%$ , $a_{\max}=0.011$ dB) .....	(187)
附表 1-5 CC 0420 C ( $p=20\%$ , $a_{\max}=0.18$ dB) .....	(188)
附表 1-6 CC 0505 ( $p=5\%$ , $a_{\max}=0.011$ dB) .....	(189)
附表 1-7 C 0510 ( $p=10\%$ , $a_{\max}=0.044$ dB) .....	(190)
附表 1-8 CC 0520 ( $p=20\%$ , $a_{\max}=0.18$ dB) .....	(191)
附表 1-9 CC 0605 b ( $p=5\%$ , $a_{\max}=0.011$ dB) .....	(192)
附表 1-10 CC 0620 b ( $p=20\%$ , $a_{\max}=0.18$ dB) .....	(193)
附表 1-11 CC 0605 C ( $p=5\%$ , $a_{\max}=0.011$ dB) .....	(194)
附表 1-12 C 0610 C ( $p=10\%$ , $a_{\max}=0.044$ dB) .....	(195)
附表 1-13 CC 0620 C ( $p=20\%$ , $a_{\max}=0.18$ dB) .....	(196)
附表 1-14 CC 0705 ( $p=5\%$ , $a_{\max}=0.011$ dB) .....	(197)
附表 1-15 CC 0710 ( $p=10\%$ , $a_{\max}=0.044$ dB) .....	(199)
附表 1-16 CC 0720 ( $p=20\%$ , $a_{\max}=0.18$ dB) .....	(201)
附表 1-17 CC 0805 b ( $p=5\%$ , $a_{\max}=0.011$ dB) .....	(203)
附表 1-18 CC 0820 b ( $p=20\%$ , $a_{\max}=0.18$ dB) .....	(204)
附表 1-19 CC 0805 C ( $p=5\%$ , $a_{\max}=0.011$ dB) .....	(206)
附表 1-20 CC 0820 C ( $p=20\%$ , $a_{\max}=0.18$ dB) .....	(207)
附表 1-21 CC 0905 ( $p=5\%$ , $a_{\max}=0.011$ dB) .....	(209)
附表 1-22 CC 0920 ( $p=20\%$ , $a_{\max}=0.18$ dB) .....	(211)
附录 .....	(213)
附录 2-1 中分定理的证明 .....	(213)
附录 2-2 公式 (2-8-22)~(2-8-25) 的推导过程 .....	(214)
附录 2-3 关于四端网络影象参数相等是四端网络等效条件的证明 .....	(215)
附录 3-1 公式 (3-6-4) $p \leq 2 p_L$ 的证明 .....	(216)
附录 3-2 采用二级阻抗时 $R_K$ , $f_c$ 及 $m_n$ 值的确定 .....	(218)
附录 3-3 工作衰减与固有衰减的一般关系式及式 (3-6-23) $a = a_0 - 0.69 N$ 的证明 .....	(219)
附录 3-4 不同 $m$ 值的滤波器其 $a_0 - \log q$ 曲线形状相同的证明 .....	(221)
常用符号说明 .....	(223)



# 概 论

“电信网络基础”着重介绍载波机中主要无源部件(无源部件由内部不包含电源的电阻、电容、电感等元件组成)的作用, 电路分析及其基本的设计方法和网络分析的基本原理。为了帮助读者更好地掌握这些内容, 我们首先介绍一下多路通信的概念, 载波机的构成和这些无源部件在载波机中所起的作用。

所谓多路通信。简单说来就是指许多对用户可以同时在一对通信线路(通信架空明线或电缆)上通话而互不干扰, 即每个用户只听得到对方的讲话而听不到其他用户的声音。在一对通信线路上实现多路通信也叫作通信线路的复用。多路通信能提高通信线路的利用率, 它实质上是把一对通信线路当作几对线, 几十对线, 几百对甚至成千上万对线来用。目前长途电话多路通信广泛采用频率划分制(又叫频分制), 它是通过频带的搬移, 把各个用户的信号放在不相重复的频段上传输。我们称这种通信为载波通信, 这种通信的设备叫载波通信设备。

为了进一步了解频分制多路通信的概念, 我们先介绍一下语音信号的特点。

电话信号就是人的语音。语音是由强弱和高低互不相同的声音所组成, 例如男人的声音中低音多, 女人则高音多, 可见语音不是单一的频率而是由一个频带所组成, 通常语音的频段约为 80~8000 赫。在电话通信中一般只传送这个频段中的一部分频段。当传送的频段愈宽, 传输质量就愈高, 语音就愈逼真, 但是通路利用率降低, 不经济。作为通话, 只要保证一定的了解度和清晰度就够了, 实践证明, 对语言清晰度最重要的频带是 500~2000 赫。

一般供铁线通话用 300~2000 赫,

供短程载波用 300~2700 赫,

供远程载波用 300~3400 赫。

在广播中, 除了语音外还有乐器演奏和歌唱, 信号频带就要宽一些, 加上广播对逼真度要求很高, 因此就不能使传输频带过窄, 所以广播通路的传输频带为 50~10000 赫左右, 约为电话频带的三倍, 所以在实际传输中, 传一路广播就相当于传三路电话。

载波通信的基本原理就是将语音信号搬移到适合于传输线传输的频带。前面说过, 语音信号的频带约为 0~4 千赫(实际为 0.3~3.4 千赫), 而传输线可以传输的频带则远远超过这个数值。例如, 架空明线传输的频率可达 150 千赫或更高, 因而通过频率搬移将语音信号分别搬移至不同的频带, 就可实现多路通信, 充分发挥了线路的作用。图 1. 为通过频率搬移将语音频带搬移至线路所能传输的频带实现多路通信的示意图。

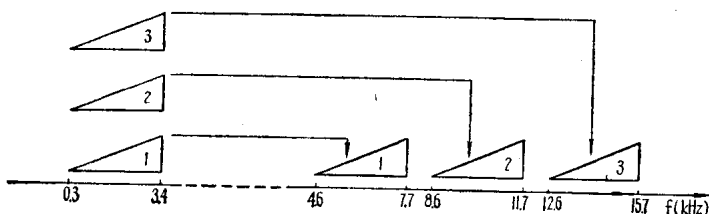


图 1

被搬移到线路传输频带的多路信号传输到对方后，还必须把它们一个个分开，并搬回到原来的语音频带 0~4 千赫。这是因为人的耳朵只能听到音频频率，象 10 千赫以上的高频人耳是听不到的。

不难想象，如果各路话音不经过频带搬移，都直接送到传输线上，则由于它们的频带都相同，就会混到一起而无法分开，实现不了多路通信。

关于频带搬移的概念对我们来说应该是不陌生的，我们天天收听的无线电广播，就是用频带搬移的方法，把话音和音乐信号的频带搬移(变频)到某一个频带上，以便将信号由空间发射出去。例如中央人民广播电台是搬到 640 KHz 左右，而北京人民广播电台是搬到 820 KHz 左右，这些不同频带的信号都向空间传送，当我们要收听中央台的广播时，就转动收音机选台的旋钮，分出中央台的频带并把它搬回(变频)到原来的话音和音乐信号的频带，就可收听了。如果我们要收听北京台的广播，就应变动选台旋钮的位置，使收音机只让北京台的频带进入。不难想象，如果中央台和北京台都把信号搬到同一个频段来播送，收音机就将同时收到两个台的广播，而无法收听。另外，如果收音机分辨频率的能力很差(一般叫作选择性差)，收中央台时北京台的信号也能进来(一般叫作混台)，这样也收听不好。

由上可知，要实现频分制多路通信，就应有搬移频带的设备(调制器又叫变频器)，和选出所需频带的设备(滤波器)。有了这些概念以后就来谈谈载波机的构成和主要无源部件的作用。

三路载波电话(可以容许三对用户 11', 22', 33' 同时在一对线上通话)的示意图如图 2, 为了简明起见，图中用单线代表一对线。在发送端，三个话路的调制器分别将用户 1, 2, 3 的话音搬到不同的频带，1 搬到 4.6~7.7 KHz, 2 搬到 8.6~11.7 KHz, 3 搬到 12.6~15.7 KHz。这些信号在同一对线上传到对方后，首先由三个带通滤波器(它只容许某一个频带的信号通过而阻止其它频带的信号进入)把三个不同频带的信号分开，然后再用反调制器将频带搬回原来的话音频带，使收听者能听到。由于调制器和反调制器是非线性器件，它除了把信号搬到某指定频带之外，还会产生许多其他的频率成份，为了除掉这些不需要的频率成份，所以在每个调制器及反调制器之后都要加上一个滤波器来阻止它们通过。

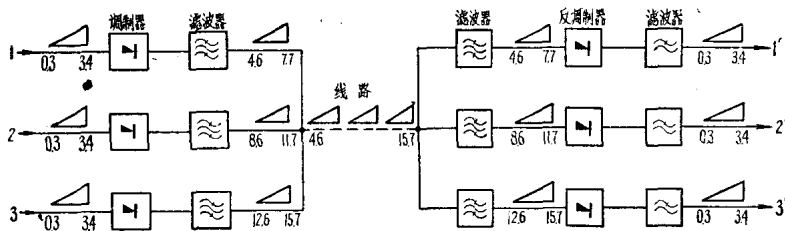


图 2

在图 2 中只画出了一个方向的通信，实际上通电话是相互的，图 2 中右边用户 1', 2', 3' 的讲话也应传输过来，这只要再增加一套图 2 的设备即可。当然，为了使各个用户的信号互不相混，右边各用户的话音要搬到与左边用户不同的频带(1' 搬到 26.3~29.4 KHz, 2' 搬到 22.3~25.4 KHz, 3' 搬到 18.3~21.4 KHz)。另外，为了把收信支路和发信支路与用户的话机联接起来，并使收发支路互不影响，要用一个“混合线圈”，它的作用是只让由用户来的话音进入发信支路，并只让由收信支路来的话音送到用户去而不进入发信支路。双向通信的原理图如图 3，其中只画了一路的电路。

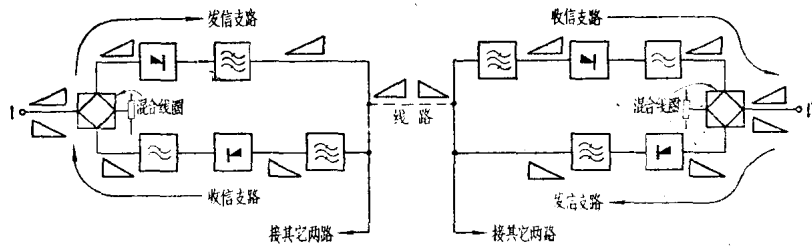


图 3

要着重指出，图 2，图 3，只是为了建立载波通信的概念而画的原理图，在实际载波机中，由于经济和技术上的原因，往往要经过多次的频带搬移(即多级调制)。为了增加通信距离，还需要加放大器。另外，信号在传输过程中，还会由于多种因素的影响而失真，使通信质量下降，为了纠正这些失真，就应增加一些纠正这些失真的部件，如均衡器或校正网络。为了保证载波机各个部件的正常工作，应使加到各部件上的信号强度局限在某一规定的范围，这就需要调节信号强度的部件，如衰减器，均衡器等。总之，实际载波机的电路比上述原理图要复杂得多，但是它们的主要作用仍是实现频带的搬移。它的组成部件主要的就是上述几种。图 4 画出了某三路载波机的方框图。下面结合这图对衰减器，滤波器，均衡器在载波机中的作用作进一步的介绍。

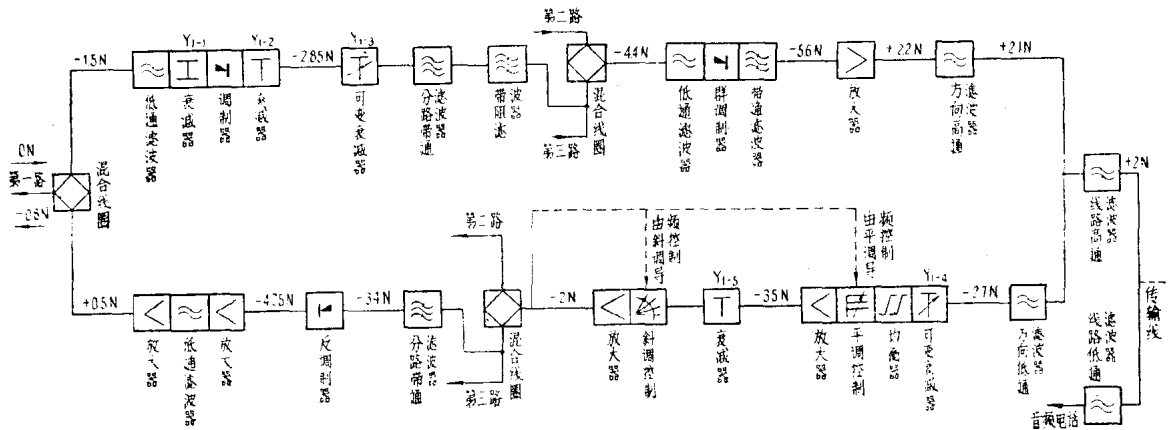


图 4

### 1. 衰减器

衰减器在载波机中的作用主要有：

① 调整信号大小(如图 4 中的  $Y_{1-1}$ )

为使通路调制器能正常工作，要求送入的信号(下面我们用电压表示信号的大小)不能太大，而长途台送入的信号电压经过差动系统后仍比通路调制器所需要的大，故在它的前面接入一个无源部件  $Y_{1-1}$ ，将信号电压减小以便满足通路调制器输入端的要求。

$Y_{1-1}$  由电阻构成，如图 5 所示。这种电路减小信号的作用(或称衰减作用)是由  $R_1$  的降压和  $R_2$  的分流来完成的，显然  $R_1$  愈大  $R_2$  愈小时，其减小信号的作用(衰减作用)就愈强，即输出电压  $U_2$  比输入电压  $U_1$  小得更多。

与  $Y_{1-1}$  作用相同的还有  $Y_{1-3}$ ， $Y_{1-4}$ ，它们是可变衰减器，电阻是可变的，它们对信号的衰减可以根据需要加以改变。

## ② 缓冲阻抗的变化

如在图 4 中位于调制器和滤波器之间的衰减器  $Y_{1-1}$ ,  $Y_{1-2}$  等, 就担负了缓冲阻抗变化的任务。这是因为滤波器要求与它相联的阻抗应该比较恒定, 如果变化太大就会使滤波器的性能变坏。但由于调制器的阻抗特性不太好, 变化较大, 因此, 二者不宜直接相联。为了解决这个矛盾, 可以在其间加入一个衰减器, 如图 6 所示。加了衰减器以后, 接在滤波器  $22'$  端上的阻抗  $Z_{sr2}$  的变化将比调制器的阻抗  $Z_{sr1}$  的变化小得多, 从而缓冲了两者之间的影响。

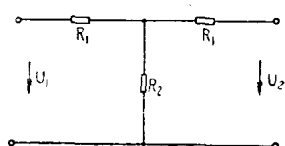


图 5

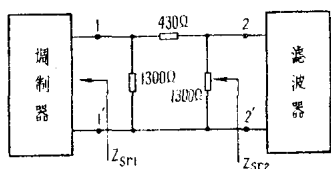


图 6

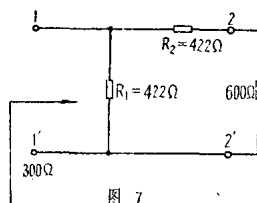


图 7

为了更具体的了解衰减器缓冲阻抗变化的作用, 我们来计算一下当调制器的阻抗  $Z_{sr}$  由 0 变到  $\infty$  时(调制器的阻抗变化实际上没有这样大), 在滤波器  $22'$  端的阻抗  $Z_{sr2}$  的变化范围, 这只需一般的电阻串并联的计算方法就可求得

$$Z_{sr2} |_{Z_{sr1}=0} = \frac{1300 \times 430}{1300 + 430} = 324 \Omega$$

$$Z_{sr2} |_{Z_{sr1}=\infty} = \frac{(1300 + 430) \times 1300}{1300 + 430 + 1300} = 740 \Omega$$

即  $Z_{sr1}$  由 0 变到  $\infty$  时  $Z_{sr2}$  由  $324 \Omega$  变到  $740 \Omega$ 。可见衰减器大大的缓冲了阻抗的变化。实际上, 由于  $Z_{sr1}$  的变化范围没有这样大, 所以  $Z_{sr2}$  还要恒定些, 可以满足滤波器的要求。衰减器的衰减作用愈大, 则其缓冲阻抗变化的作用也愈强。

此外衰减器还可以起阻抗变换的作用, 如图 7 所示, 设某部件需要终接  $300 \Omega$  负载, 而实际负载是  $600 \Omega$ 。要使  $600 \Omega$  变为  $300 \Omega$ , 可以采用衰减器, 如  $R_1$  和  $R_2$  选择适当, 就可使图 7 中  $1-1'$  端的等效电阻为  $300 \Omega$ 。

## 2. 滤波器

上面已谈到, 滤波器的作用是分离信号, 即让某一频带的信号顺利通过而阻止其它的。如图 2 中的通路反变频低通滤波器就只能通过  $0.3 \sim 3.4$  千赫频带的信号而阻止其它频率的信号。

滤波器按它能传输的频带和阻止的频带可分为低通滤波器, 高通滤波器, 带通滤波器和带阻滤波器等。它们分离信号的能力简单说来也象前面所讲的衰减器那样, 是利用电路元件的分流和降压作用来达到的。它们之间的区别在于衰减器是全部由电阻构成的纯电阻电路, 它的各个元件的阻抗是不随频率变化的, 所以它对任何频率信号的分流降压作用都一样, 即对任何频率的信号都给以同样大小的衰减。而滤波器是由电感电容等元件组成, 我们知道, 电感和电容的阻抗是随频率变化的, 例如电感的阻抗随频率的增高而增大, 电容的阻抗则相反, 所以滤波器对不同频率的信号有不同的衰减作用。对需要通过的信号频带只有很小的分流和降压作用, 使输出很大(即衰减很小); 对于要阻止的频带则有很大的分流和降压作用, 使输出很小, 即衰减很大。如图 8(a) 就是一个低通滤波器, 它对低频的衰减小, 对高频的衰减大, 只让低频段的信号通过。图 8(b) 是一个高通滤波器, 它对高频的衰减小, 对低频的衰减大,

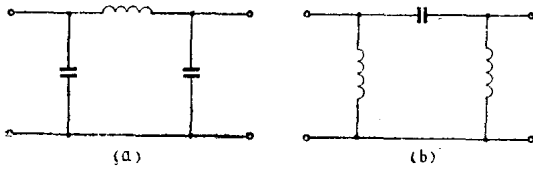


图 8

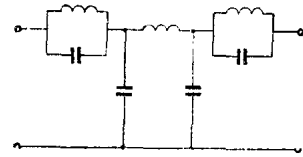


图 9

只让高频段的信号通过。当然，这里只是为了建立概念，介绍了这两个简单的滤波器，实际上在载波机中使用的滤波器，由于要求它有优良的特性，其电路往往要复杂些，在图 9 中画出了某低通滤波器的电路图，可见它们也都是由电感电容组成的，只是电路较复杂些而已。

滤波器是载波机中最主要和用得最多的一种无源部件。滤波器设计制作的好坏，直接影响载波机的质量和成本。后面将用较大的篇幅来介绍它。

### 3. 均衡器

我们知道，信号包括了许多频率成份，或者说信号是由一些不同频率的分量所组成，例如电话信号是由 300~3400 赫这些频率分量组成。对于一个具体的电话信号，组成它的各个频率分量之间有一定的相对大小和相位关系。如果在传输过程中这些相对关系被改变了，信号就会失真，这些相对关系改变得愈厉害，失真也愈大。信号在传输过程中要经过传输线，滤波器等诸多部件，它们对信号中每个频率分量的作用都不同(例如对不同频率分量的衰减不同)，或多或少总要使它们的相对关系受到改变，引起信号失真。要纠正这些失真，就应使信号的各个分量恢复到原来的相对关系，这就是均衡器的任务。恢复信号各频率分量大小关系的叫幅度均衡器，恢复相对相位关系的叫相位均衡器。图 10 给出一个幅度均衡器的电路图，它是

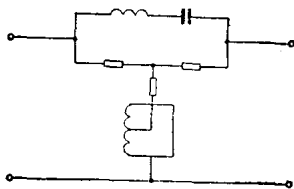


图 10

由电感，电容，电阻等元件组成，其作用简单说来，就是再对信号各频率分量，加上不同程度的衰减，使每个分量受到的总衰减相同，或者说使每个分量都按相同的比例减小。例如，对原来受到很大衰减的分量，只加上很小的(或不加)衰减，对原来受到很小衰减的分量，加上很大的衰减。由于总起来看信号中各个分量是按同一比例减小的，它们之间的相对大小关系没有改变，所以就消除了失真，当然实际上不能完全消除失真，只能把失真减小到一定程度。

# 第一章 工作参数滤波器

在概论中介绍了载波通信的概念和载波机的方框图，初步介绍了一些主要无源部件的作用。从本章开始，就要对滤波器、均衡器、衰减器等各类无源部件进行比较深入的分析讨论，学习电信网络的有关基本理论及设计方法。

在这一章里，我们首先讨论在载波通信以及其他通信技术中，广泛用来表示信号强度的一种方法—电平。以及用以描述各通信机部件传输性能的一种重要参数—衰减。其次，讨论如何应用电感，电容等电抗元件的特性构成  $LC$  梯形滤波器，以及这种滤波器的一种设计方法—图表法设计。最后介绍滤波器的生产维护方面的一些基本知识，这些内容在实际工作中，是会经常遇到的。

## 1-1 电平和衰减

在任何一种载波机的方框图上，我们都可以看到在各机盘(部件)的输入端和输出端上都标有一些正的或负的数值。例如概论中图 4 的 3 路载波机方框图，在通路调制器的输入端标有“ $-1.5 N$ ”，通路反调制器的输出端标有“ $+0.5 N$ ”，这些数值是很重要的，它表示了该处信号功率的大小，还表示了信号在传输过程中的变化情况。这些数值，叫做信号的电平。而“ $N$ ”是表示电平单位的符号，叫做奈培，或简称奈。

维护载波机的同志经常要对载波机进行调测，其调测的主要内容之一就是测量并调整各点电平，使其达到载波机方框图上标明的数值。这样，载波机就能正常运行，保证通信的质量。

那么，电平是怎么回事，在通信技术中是如何规定和应用的呢？

### 一、什么是电平？为什么要采用电平？

电平是用来衡量电信号大小的一种方法。通常它比用瓦，伏，安等量度更能恰当地反映电信号传输的效果。

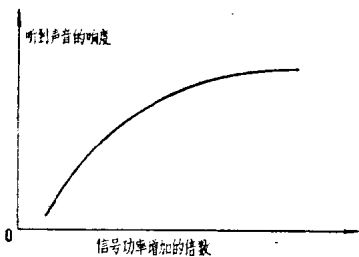


图 1-1-1

我们知道，在载波通信中，主要传输的是语言信号，是用耳通过受话器来接收的。实践证明，人耳的听觉灵敏度不与信号功率变化成正比，即当送入受话器的功率增大二倍、三倍时，人耳听到的响度并不增加二倍、三倍(参看图 1-1-1)。而是近似地与声音强度比值的对数成正比。

此外，信号在传输过程中，其大小的变化范围十分大，往往是千百万倍，因此，就需要对这些庞大数值的表示及其计算方法都进行简化。

为了适应这些特征和要求，就引入了电平的概念。

### 二、功率电平和电压电平

既然电平也是一种表示信号大小的方法，那么，如何来规定电平呢？

我们可以想到，为了比较信号在传输过程中通过线路及各部件的变化，可以选择一个比较标准，通过与选定标准的比较，就可知信号是增大多少或缩小多少。同时，又因为人耳听到的响度是与声强变化的对数成比例的，而且对数又能简化运算。于是，综合这些考虑，就得到规定电平的方法。

### 1. 功率电平

将载波机某  $X-X'$  端的信号功率  $P_x$  与一统一规定的标准功率  $P_0$  之比取自然对数的一半，就称为  $X-X'$  端功率电平，有时称为绝对功率电平，用  $L_{P_x}$  表示。即

$$\text{功率电平: } L_{P_x} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{P_0} \quad (\text{N}) \quad (1-1-1)$$

式中  $P_0$  是比较的标准功率，在载波通信中，一般规定为 1 毫瓦。

$$\text{当 } P_x = P_0 \text{ 时, } L_{P_x} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_0}{P_0} = \frac{1}{2} \ln 1 = 0 \quad (\text{N})$$

这就好象用海平面作为测量地势高度的参考标准，而海平面本身就是高度的零点。

**例 1-1** 某载波机传送到外线端的信号功率为 66.3 毫瓦，求外线端的功率电平是多少？

$$\text{解: } L_{P_x} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{P_0} = \frac{1}{2} \ln \frac{66.3}{1} = 2.1 \text{ N}$$

即外线端的功率电平是 2.1 奈。

**例 1-2** 在载波机发信支路中，通路调制器输入端信号功率电平为  $-1.5 \text{ N}$ ，求该处信号功率为多少毫瓦。

$$\text{解: } \because L_{P_x} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{P_0} = -1.5$$

$$\therefore P_x = P_0 \times e^{2(-1.5)} = 1 \times \frac{1}{e^3} = 0.05 \text{ mW}$$

即该处的功率为 0.05 毫瓦。

由此可见，功率电平可以为正，也可以为负，由对数的性质可知，当  $X-X'$  端的功率  $P_x$  比标准功率  $P_0$  大时电平值为正（如例 1-1），而当  $P_x$  比  $P_0$  小时，电平值为负（如例 1-2）。显然，当二者相等时，电平值就为零。

这里，应该注意用功率电平和直接用瓦或毫瓦来表示信号功率大小的区别。比如，我们说传输到负载上的信号功率（瓦或毫瓦数）为零，确实表示负载上没有得到任何信号，如果说传输到负载上的信号功率电平为零，则表示负载上的信号功率为 1 毫瓦，而不是没有信号。这就好象同海平面一样高的地势其高度为零一样，而高于海平面的地势其高度为正值，低于海平面的地势其高度则为负值。

### 2. 电压电平

与功率电平一样，信号的电压大小也可用电压电平来表示。

$X-X'$  端的电压  $U_x$  与标准电压  $U_0$  之比的自然对数，即为  $X-X'$  端的电压电平，有时又叫绝对电压电平。

$$\text{即 } L_{U_x} = \ln \frac{U_x}{U_0} \quad (\text{N}) \quad (1-1-2)$$

其中  $U_0$  的取法是以进入载波机输入端的信号电压为标准，由于载波机输入端的功率为 1 毫瓦，阻抗一般为  $600 \Omega$  纯电阻，所以  $U_0$  可以求出：

$$\begin{aligned} \therefore P_0 &= \frac{U_0^2}{600} \\ \therefore U_0 &= \sqrt{P_0 \times 600} = \sqrt{10^{-3} \times 600} = 0.775 \text{ V} \end{aligned}$$

故取  $U_0 = 0.775$  伏为电压的比较标准。

例 1-3 某载波机传送到  $600 \Omega$  明线上的电压为 6.32 伏，求此明线上的电压电平。

解：

$$L_{U_x} = \ln \frac{U_x}{U_0} = \ln \frac{6.32}{0.775} = \ln 8.15 = 2.1 \text{ N}$$

即此明线上的电压电平为 2.1 奈。

电压电平也同功率电平一样可正可负。当  $U_x > 0.775$  伏时， $L_{U_x}$  为正； $U_x = 0.775$  伏时， $L_{U_x} = 0$ ； $U_x < 0.775$  伏时， $L_{U_x}$  为负。

### 3. 功率电平和电压电平的关系

在实际工作中，经常会遇到电压电平和功率电平之间的换算问题，即知道了某处的电压电平  $L_{U_x}$  (可以方便地用“电平表”测出) 及阻抗求该处的功率电平  $L_{P_x}$  值，或已知功率电平值及阻抗求电压电平。这就要找出二者之间的换算关系。

设在某处  $X-X'$  端的负载电阻为  $R_x$ ，则根据式(1-1-1)有：

$$L_{P_x} = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{U_x^2}{R_x} / \frac{0.775^2}{600} \right) = \ln \frac{U_x}{0.775} + \frac{1}{2} \ln \frac{600}{R_x}$$

即

$$L_{P_x} = L_{U_x} + \frac{1}{2} \ln \frac{600}{R_x} \quad (1-1-3)$$

(1-1-3) 式表示出了功率电平和电压电平之间的换算关系，它在实际中是经常应用的。它实质上就是在电工学中大家熟悉的已知某电阻  $R_x$  上的电压，求功率或已知功率求电压的计算公式，只是表现形式有所不同。

在明线载波机(3路, 12路)中，各个机盘的输入输出阻抗几乎都是  $600 \Omega$  (即  $R_x = 600 \Omega$ )，因此测得的电压电平就等于功率电平。

即

$$L_{P_x} = L_{U_x} \left( \because \frac{1}{2} \ln \frac{600}{R_x} = \frac{1}{2} \ln \frac{600}{600} = 0 \right)$$

而在对称电缆载波机(如 60 路)中，许多地方的  $R_x = 150 \Omega$ ，则功率电平为：

$$L_{P_x} = L_{U_x} + \frac{1}{2} \ln \frac{600}{150} = L_{U_x} + 0.69 \text{ (N)}$$

就是说测得的电压电平要加上 0.69 N 的修正值才等于功率电平。

在维护载波机时，值班人员用电平表测得载波机各端的电平一般都是电压电平，而载波机方框图上规定的则是功率电平，因此在  $R_x \neq 600 \Omega$  的情况下，要注意按式(1-1-3)进行换算，否则将电平值调错，就会影响通信的质量。由于电缆载波机的发展，为了测试的方便，目前有些电平表的表头分别按  $75 \Omega$ ， $150 \Omega$ ， $600 \Omega$  三种阻抗进行刻度，这样在使用时，就可根据不同的负载阻抗直接读取相应的功率电平值，而不需换算。



### 三、电平的单位及其换算

上面讨论的电平单位奈(N)，是用信号的功率比或电压比取自然对数得到的，我们也可以取以10为底的常用对数，这时电平的单位叫做分贝，分贝的符号是[dB]。

用分贝为单位的各种电平关系如下，

功率电平：

$$L_{P_x} = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} \text{ 分贝 [dB]} \quad (1-1-4)$$

电压电平：

$$L_{U_x} = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} \text{ 分贝 [dB]} \quad (1-1-5)$$

式中  $P_0=1$  毫瓦， $U_0=0.775$  伏

为了便于计算，把电压比，功率比和它们与用分贝表示的电平间的关系，列在表 1-1 中。从表 1-1 中我们看到它们之间的数值关系是相当简单的，因而计算比较方便。

表 1-1

dB	电 压 比	功 率 比	dB	电 压 比	功 率 比
0	1	1			
10	3.162	10	-10	$3.162 \times 10^{-1}$	$10^{-1}$
20	10	$10^2$	-20	$10^{-1}$	$10^{-2}$
30	$3.162 \times 10$	$10^3$	-30	$3.162 \times 10^{-2}$	$10^{-3}$
40	$10^2$	$10^4$	-40	$10^{-2}$	$10^{-4}$
50	$3.162 \times 10^2$	$10^5$	-50	$3.162 \times 10^{-3}$	$10^{-5}$
60	$10^3$	10	-60	$10^{-3}$	$10^{-6}$
70	$3.162 \times 10^3$	$10^7$	-70	$3.162 \times 10^{-4}$	$10^{-7}$
80	$10^4$	$10^8$	-80	$10^{-4}$	$10^{-8}$
90	$3.162 \times 10^4$	$10^9$	-90	$3.162 \times 10^{-5}$	$10^{-9}$
100	$10^5$	$10^{10}$	-100	$10^{-5}$	$10^{-10}$

目前，奈和分贝这两种单位同时被采用，根据实际的需要进行选用，就象长度的单位一样，有时用米，有时又用市尺。这就需要找出奈和分贝之间的换算关系。

奈(N)与分贝(dB)的换算关系：

如设 X—X' 端电压电平为 1 奈，

即：
$$\ln \frac{U_x}{U_0} = 1, \quad \frac{U_x}{U_0} = e^1 = 2.72。$$

如用分贝单位表示应是多少 dB？

$$20 \log \frac{U_x}{U_0} = 20 \log 2.72 = 20 \times 0.4343 = 8.686 \text{ 分贝}$$

$$\therefore 1 \text{ N} = 8.686 \text{ dB} \quad (1-1-6)$$

而：

$$1 \text{ dB} = \frac{1}{8.686} \text{ N} = 0.115 \text{ N} \quad (1-1-7)$$

利用式(1-1-6)或(1-1-7)，已知一种单位的数值就可以求得另外一种单位的数值。