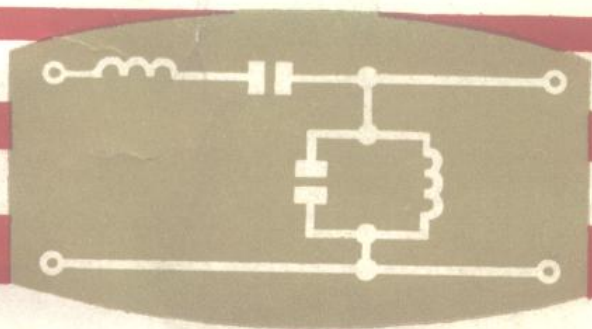


网络与传输线

徐玉恒 邬克栋 编
黄大卫 李学文



Wang luo yu chuan shu xian

中国铁道出版社

73.762
519

网络与传输线

徐玉恒 邬克栋 编
黄大卫 李学文

中国铁道出版社

1982年·北京

内 容 简 介

本书通俗简明地阐述了组成有线通信和铁路信号传输通道的各种电网络和传输线的工作原理、使用方法和简单设计计算。主要包括：通道的基本概念、衰减器、均衡器、特性参数滤波器、有源滤波器、谐振滤波器及传输线等内容。

本书供具有初中文化程度从事通信、信号、电力等工作的技术人员、工人自学参考，也可作为中等专业学校教材。

网 络 与 传 输 线

徐玉恒 鄢克栋 编

黄大卫 李学文

中国铁道出版社出版

责任编辑 张 冲

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{4}$ 印张：11.125 字数：250 千
1982年5月第1版 1982年5月 第1次印刷
印数：0001—10,000册 定价：1.40元

前 言

有线电信系统中的“通道”，是由各种类型的电网络和传输线等部件构成的。它是传送电信号的途径。从事电信工作的同志要求对这些通道部件的工作原理、使用方法和简单的设计计算有所了解，电信专业学校和进修班的学员也需要有这方面的参考书籍，因而编写了本书。考虑到目前关于放大器和振荡器等有源网络方面的参考书籍已经很多，所以本书着重介绍通道中的滤波器、均衡器等无源网络与有源网络方面的内容。

为了使本书能够适应具有初中文化程度、掌握一些电工原理知识，从事通信、信号、电力等工作的技术人员和工人学习使用，书中文字叙述力求通俗易懂，着重物理概念，尽量避免使用高等数学。同时，为了直接适应现场工作的需要，理论联系实际，讲解内容是以目前实际使用的设备为主，对于将要发展的新型部件，仅作一些基本概念的介绍。设计计算方面则尽量介绍一些使用图表的方法，使之能够较简便地解决一些实际问题。

由于我们水平不高，实践经验又很少，书中可能存在错漏不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 通道的基本概念	1
第一节 “频分制”多通道系统	1
第二节 传输电平	9
第三节 阻抗匹配	17
第二章 衰减器	20
第一节 衰减器的用途	21
第二节 衰减器的特性参数	23
第三节 衰减器的设计	45
第四节 分压式可变衰减器	59
第三章 均衡器	64
第一节 衰减均衡器的用途	64
第二节 衰减均衡器的分析	67
第三节 衰减均衡器的设计	97
第四节 时延均衡器的用途	123
第五节 时延均衡器的分析	125
第四章 特性参数滤波器	133
第一节 LC滤波器通带、阻带的判别	136
第二节 低通滤波器	140
第三节 高通滤波器	170
第四节 对称带通滤波器	178
第五节 元件损耗和阻抗失配的影响	187
第六节 特性参数滤波器的设计	190
第五章 有源滤波器	218

第一节	RC 有源滤波器的技术指标	219
第二节	有源滤波器的工作原理	220
第三节	隔离节	223
第四节	有源低通滤波器	227
第五节	有源高通滤波器	239
第六节	有源带通滤波器	243
第六章	谐振体滤波器	256
第一节	压电振子的物理特性	257
第二节	格形滤波器电路的分析	265
第三节	晶体窄带通滤波器	271
第四节	晶体窄带阻滤波器	274
第五节	陶瓷带通滤波器	278
第六节	机械带通滤波器	283
第七章	传输线	287
第一节	传输线的参数	288
第二节	信号沿传输线的传输	300
第三节	传输线原理的应用实例	315
附 图		324
附 表		328

第一章 通道的基本概念

第一节 “频分制”多通道系统

多通道系统是指在一对传输线上可以开通很多个通道的通信、信号设备。如果这些通道是以它们的工作频率不同而加以划分的，就称为“频率划分制”多通道系统，简称“频分制”多通道系统。目前，在铁路上应用的电子调度集中设备中的通道部分和多路载波电话机、载波电报机等，大多数属于这种“频分制”多通道系统。

一、电子调度集中设备中的通道

电子调度集中是一种遥控、遥信设备。所谓“遥控”，就是在调度端先将控制指令通过一定的编码系统，将它们转换成电信号，然后经由传输线路传送到执行端。在执行端中，通过译码系统将这些电信号还原成控制指令后，再作用于相应的被控制对象。所谓“遥信”，就是把执行端所在处的各个被控制对象的状态，通过相应的电信号发回到调度端加以记录或显示。

如果没有附加设备，一对传输线路在同一时间内只能传送一种信号，即在线路上传送了遥控信号后，就不能再传送遥信信号；反过来也是这样。否则这两种信号就会相互混淆不清。目前，在DD型电子调度集中设备中，由于采用了“频分制”多通道系统，在一对线路上就可以同时传送遥控和遥信两种信号。这两种信号在各自的通道中传输，彼此间不会发生干扰。

关于“频分制”多通道系统的原理方框图如图1—1所示。

1110116

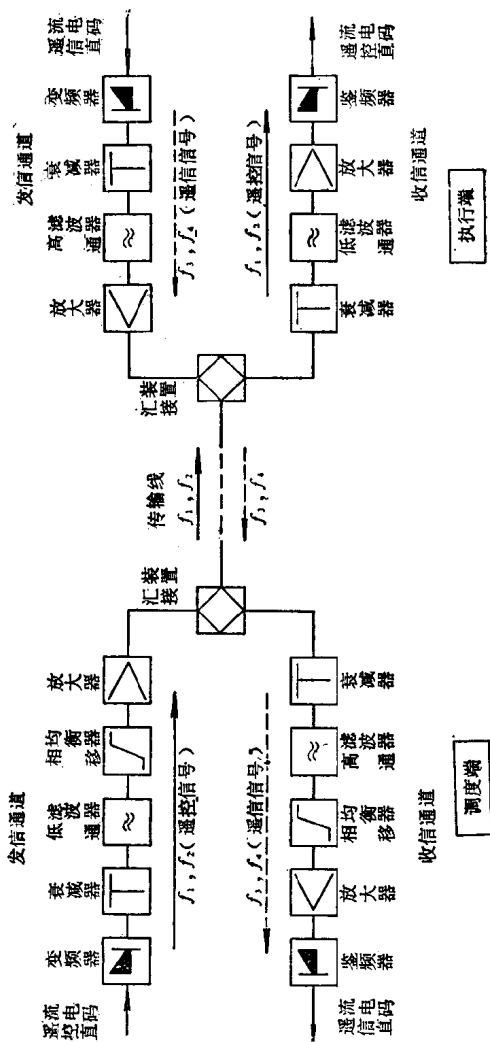


图 1-1

在调度端的发信通道中，直流电码形式的遥控信号经过变频器后，就被转换成交流电码信号。例如，有一个“1 0 1 1”直流电码波形如图 1—2 (a)所示，电码有“1”、“0”两种状态。在“1”状态时，变频器输出一个频率为 f_1 的交流信号；而在“0”状态时，变频器则输出另一个频率为 f_2 的交流信号。变频器输出的交流电码的波形如图 1—2 (b)所示。这些遥控交流信号的频率 f_1 和 f_2 值规定都低于 1800 赫；即 f_1 为 1200 赫， f_2 为 1500 赫。当这些低频交流信号

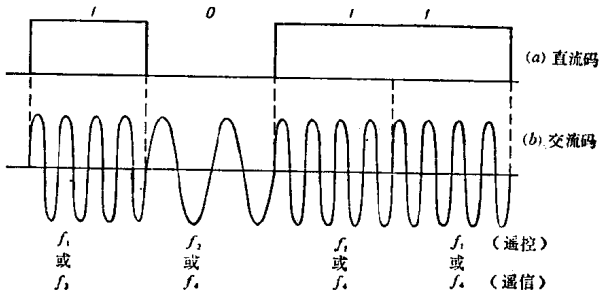


图 1—2

经由线路传送到执行端后，由执行端收信通道中的鉴频器再将频率为 f_1 和 f_2 的交流电码信号，还原成直流电码形式的遥控信号。再来看一看另外一个传输方向的工作情况。在执行端的发信通道中，直流电码形式的遥控信号也由变频器将它们转换成交流电码信号。不过，与“1”、“0”直流电码相应的频率分别为 f_3 和 f_4 ，而且它们都高于 2100 赫；即 f_3 为 2400 赫， f_4 为 2700 赫。当这些较高频率的遥信交流信号沿相反方向经线路传送到调度端后，由调度端收信通道中的鉴频器，将由 f_3 和 f_4 组成的交流电码信号还原成直流电码形式的遥信信号。为了防止遥控信号和遥信信号互相之间发生干扰，在调度端和执行端的收信通道中都设置有一种称为“滤

波器”的部件。滤波器是一种具有频率选择性能的复杂电路（网络）。它能够根据需要让某些频率的信号电流在电路中畅通无阻；而对其他不需要的频率的信号电流，则进行有效的遏止。具体地说，在调度端的收信通道中，有一个只允许频率高于2100赫的信号电流可以通过的高通滤波器。它的作用是使从执行端经由线路送来的频率高于2100赫的 f_3 、 f_4 遥信信号，可以畅通无阻地进入收信通道，从而完成调度端接收遥信信号的任务；同时，对于那些不该进入同一端机收信通道的 f_1 、 f_2 遥控信号（频率都低于1800赫），就进行遏止，不让它们串入。相类似地，在执行端的收信通道中，有一个只允许频率低于1800赫的信号电流可以通过的低通滤波器。它专门接收从调度端经由线路送来的频率低于1800赫的 f_1 、 f_2 遥控信号，来完成执行端接收遥控信号的任务；与此同时，它又有效地遏止了本执行端发出的 f_3 、 f_4 遥信信号（频率都高于2100赫）的串入。显然，有了这些滤波器后，频率不同的遥控信号和遥信信号就可以在同一对传输线上传送，在调度端和执行端各走各的通道，彼此之间不会发生干扰。

从图1-1中还可以看出，在调度端（或执行端）的发信通道中，还配置了一个与对方端机的收信通道中结构相同的低通滤波器（或高通滤波器）。这是因为在变频器输出的信号中，除了所需要的两个工作信号外，还包含有很多种寄生组合信号（是变频器的非线性产物）。这些寄生组合信号往往是潜在干扰的根源，必须用相应的滤波器加以遏止。例如，调度端发信通道中的变频器，除了正常输出频率低于1800赫的 f_1 、 f_2 两个遥控信号外，还同时产生了一些频率为 $2f_1$ 、 $2f_2$ 、 $f_1 \pm f_2$ 、 $2(f_1 \pm f_2)$ 等寄生组合信号，其中有些频率高于1800赫。如果对这些寄生组合信号不加以遏止，它

们中间有的与遥信信号 f_3 、 f_4 的频率相近，就会串入同端机的收信通道，造成对遥信工作的干扰。因此，在调度端发信通道中的变频器后面，加设了一个只允许频率低于1800赫的信号通过的低通滤波器后，就能遏止频率高于1800赫的寄生组合信号输出，防止这些寄生组合信号对遥信工作造成干扰。

与滤波器密切配合的，是一种称为“均衡器”的复杂电路。它的作用是为了纠正由于信号通过传输线以及滤波器等部件后可能产生的各种畸变——信号幅度畸变或相移畸变。在图1—1中还有很多个衰减器，它的作用主要是用来调节通道中信号的功率大小。

从上面的分析可见：在同一条传输线上，由于使用不同频率的信号并借助于滤波器的划分作用，就构成了两条传送信号的通道：调度端到执行端的遥控信号通道和执行端到调度端的遥信信号通道。这就是“频率划分制”多通道系统增加通道数量的基本原理。

二、载波机系统

“频分制”的多路载波机，具有相类似的工作原理。简单的三路载波机原理方框图如图1—3(a)所示。在一对传输线的两端，装置了这种载波机后，就可以同时产生三对电话通道。

我们知道，从电话机中输出的话音信号电流的频率，主要是从300赫到2700赫（或3400赫）。在载波机的发信通道中，首先是将这些话音信号进行调制，调制是在调制器中进行的。调制器内有一个频率为 F 的载波信号，当外加频率为 f 的话音信号输入后，在调制器的输出端就输出一个载波频率经话音频率调制后的信号。在三路载波机中，三个通道的调

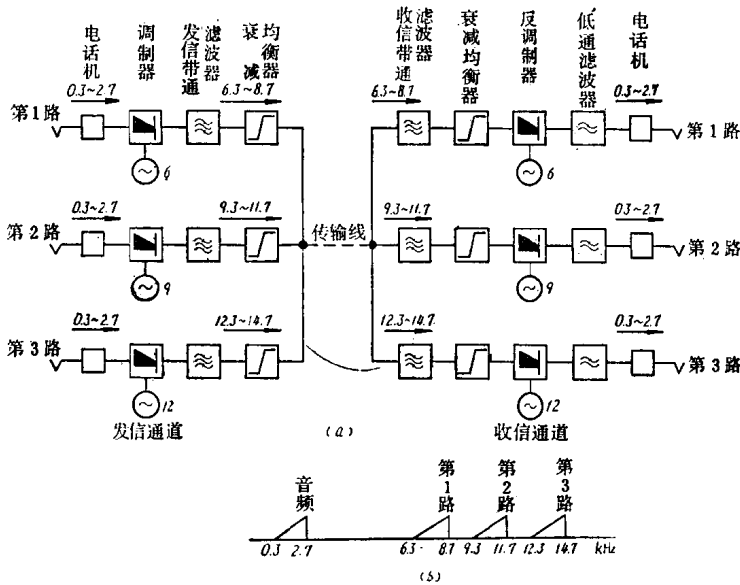


图 1-3

制器的载波频率 F 值各不相同，它们分别为6、9和12千赫，因而频率为300~2700赫话音信号 f 经过调制器，再用带通滤波器取出上边带 $F + f$ 后，就变成了频率彼此不同的高频信号，具体频谱如图1-3(b)所示。它们分别为6.3~8.7、9.3~11.7和12.3~14.7千赫。由于三个通道的工作频带各不相同，因而经由同一传输线传送到对方载波机后，就可以依靠三个收信带通滤波器将它们划分开来。例如，第2路的收信带通滤波器只允许频带为9.3~11.7千赫的工作信号顺利通过；对于第1路频率较低以及第3路频率较高的信号，它都可以有效地遏止。当每一路的工作信号经过各自的收信带通滤波器后，就由反调制器将高频信号还原成原来的话音信号，最后再由低通滤波器将话音信号选择出来送往电话机。

在图 1—3 (a) 所示的载波机发信通道中的三个发信带通滤波器，起着遏止各个调制器中寄生组合信号输出的作用，它与图 1—1 电子调度集中发信通道中的低通滤波器（或高通滤波器）的作用相类似。均衡器是用来纠正由于信号通过传输线以及滤波器等部件后所引起的各种畸变。

图 1—3 只表示了三路载波机单方向的通话原理方框图以及它们的传输频谱。而实际上通话总是双向的，它的双方向通话原理方框图如图 1—4 (a) 所示，图 1—4 (b) 是两个方向的传输频谱。

从图 1—4 中可以看出，如果两个方向采用相同的频带传送，显然就会造成“自发自收”的现象。这个现象是由于载波机的两个方向通道在与传输线的汇接处直接相连而引起的。解决这个问题的方法是：两个方向采用不同的传输频带，然后依靠方向滤波器的作用，将两个方向的信号划分开来。具体地说，一个方向的三路总的传输频带为 6.3~14.7 千赫，另一个方向的三路则必须再经过一次集体调制。集体调制是在群调制器中进行的，群调制器的载波频率为 33 千赫，被集体调制后的三路总的传输频率就由 6.3~14.7 千赫提高到 18.3~26.7 千赫。在两个方向通道的汇接处，设置一个由低通滤波器和高通滤波器共同组成的方向滤波器组。方向滤波器组中的两个滤波器的分界频率为 16 千赫左右，这样就可以很方便地将两个方向的信号划分开来。这时，发信通道的信号就不会再串入本端机收信通道，从而十分有效地避免了“自发自收”的现象。对三路载波机来说，发送低频群、接收高频群的端机称为“A”端机，发送高频群、接收低频群的端机称为“B”端机。A→B 和 B→A 两个方向的传输频谱，如图 1—4 (b) 所示。

由于三路载波机采用频率大于 6 千赫的高频信号传输，

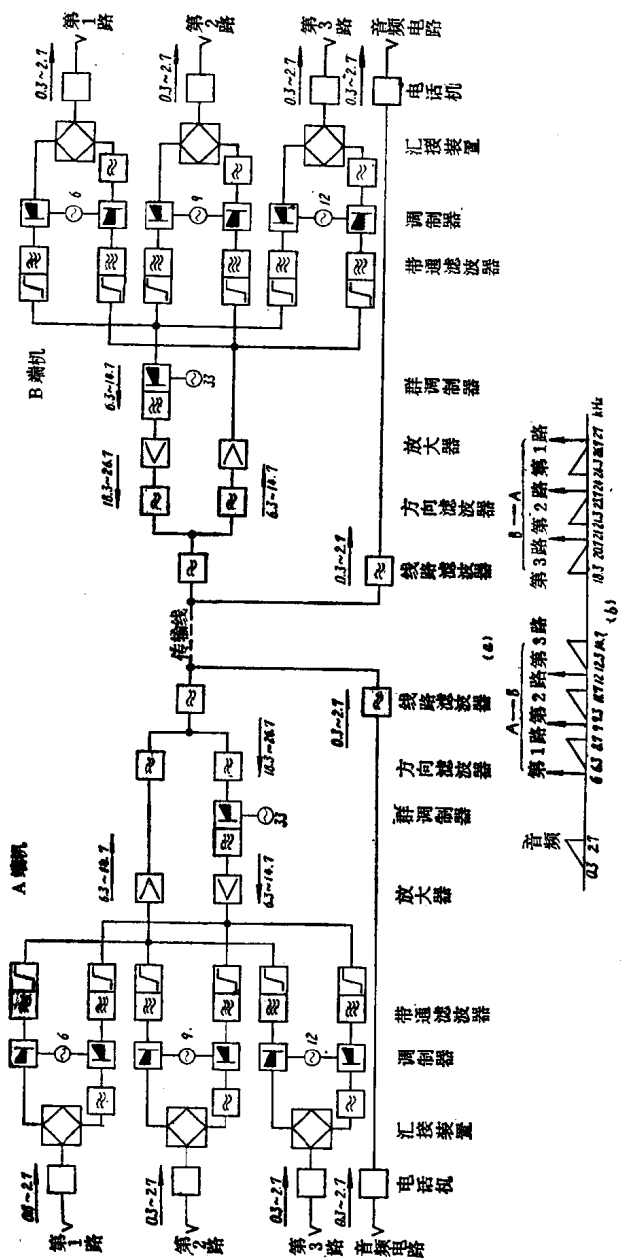


图 1-4 (图中频率单位: kHz)

因此在载波机与传输线的汇接处，再设置一个由低通滤波器和高通滤波器共同组成的线路滤波器组后，就能再增加一对音频通道。如图 1—4 (a) 所示，线路滤波器组中的低通滤波器连接音频电话机，高通滤波器连接载波通道，两个滤波器的分界频率在 4 千赫左右。这时，从传输线传送过来的载波信号和音频信号，就可以由这个线路滤波器组很方便地划分开来。

十二路或更多路数的载波机系统，它们的工作原理与三路载波机是相类似的。

第二节 传 输 电 平

在电子调度集中和多路载波机等设备中，电信号功率的强弱及其变化，都是用“电平”及其差值来表示的。就是说，“电平”是通道系统中电信号的一个最基本量度。

一、电平的定义

为了讲清电平的定义，我们采用比喻的方法来叙述。大家知道，说一座山的高度为多少米，是指这座山与海平面相比较而言。例如，称某山的高度为 1000 米（或称海拔 1000 米），就是说这座山比海平面要高出 1000 米。海平面是衡量山高低的一个基准。除了上面所说山的绝对高度（通常就简称为高度）外，有时还说这座山比那座山高多少米，这是指两座山之间的相对高度。相对高度就是两座山绝对高度之差。

相类似地，反映一个电信号的强弱是用绝对电平来表示的，绝对电平高就意味着电信号强，绝对电平低就意味着电信号弱。而衡量电平高低的基准，在有线电信传输系统中规定是 1 毫瓦（由于一般电话机输出的标准功率规定为 1 毫

瓦，因而常取1毫瓦做为衡量信号电平高低的基准），即标准功率 $P_0=1$ 毫瓦。但是，某一个电信号的绝对电平值 p 并不是用该信号的实际功率 P 与1毫瓦标准功率 P_0 的差值来表示的，而是被定义为

$$p = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \ln P(N) \quad (1-1)$$

式中 p ——信号的绝对电平值；

P ——信号的实际功率 (mW)；

P_0 ——标准功率 1 mW。

即信号的绝对电平值等于该信号的功率与标准功率比值的自然对数的一半。它的单位是“奈培”（简称“奈”），符号是Nep，或简写成N。

除了上面所说的某一信号的绝对电平外，反映两个信号之间强弱的差异，是用相对电平来表示的。相对电平值就是两个信号绝对电平的差值，即

$$p_{1-2} = p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \ln P_1 - \frac{1}{2} \ln P_2 = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2} (N) \quad (1-2)$$

式中的 P_1 、 P_2 分别为两个信号的实际功率（毫瓦）。相对电平的单位也是奈。

为什么要用对数值来定义电平呢？主要有以下二个原因：

1. 适应人耳的听觉特性

实践证明，音响信号与人的听觉灵敏度具有下列关系：人耳对声音强弱变化的感觉并不与音响功率变化成正比，而是与音响功率变化的对数成正比。例如，将一个功率为0.1毫瓦的话音信号提高到1毫瓦，与将功率为0.1毫瓦的话音信号提高到10毫瓦的两种情况进行比较，后者的功率变化是前

者的10倍。但是，对人耳的听觉来说，两种情况的声音强度变化并不是增加了10倍，而仅仅是增加了一倍，即它们之间具有以下关系式：

$$\ln \frac{1}{0.1} : \ln \frac{10}{0.1} = 1:2$$

因而用公式（1—1）的电平值做为衡量电信号强弱的物理量是符合客观规律的。

2. 便于运算

多路载波机以及电子调度集中通道系统中的实际电路，都是由很多个网络互相链接而成的，如图1—5所示。

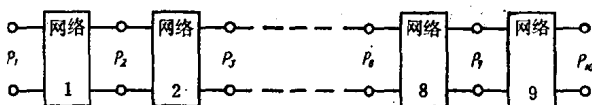


图 1—5

电信号每经过一个网络，功率都会有所变化。假设各个网络两侧的功率分别为 P_1 、 P_2 、 P_3 、…、 P_{10} ，根据公式（1—2）可以写出网络的相对电平分别为

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{1-2} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2} \\ p_{2-3} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_3} \\ \vdots \\ p_{9-10} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_9}{P_{10}} \end{array} \right. \quad (1-3)$$

整个复杂网络的相对电平就等于

$$p_{1-10} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_{10}} \quad (1-4)$$

从公式（1—3）、（1—4）可以看出，整个复杂网络总的相对电平与每一个网络的相对电平之间，存在着一种