

Zaibo Tongxin Yuanli

载波通信原理 中

北京邮电学院多路通信教研室编

人民邮电出版社

载 波 通 信 原 理

中 册

北京邮电学院多路通信教研室编

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书主要通过对国产晶体管60路对称电缆载波系统的分析讨论,介绍载波通信系统及其主要部件的工作原理及分析方法。全书分上、中、下三册,每册都有相对的独立性。这是其中的中册,它主要是介绍载波通信系统的重要组成部分——增音系统。全书共分四章。第六章介绍增音系统的作用、构成,均衡的基本原理和几个附属系统。第七章讨论群放大器的原理,介绍其电路分析与设计方法。第八章介绍自动电平调节系统构成原理、电路及调节特性的分析。第九章分析讨论各种可变均衡器电路。

本书适用于通信院校多路通信专业作教学用书,也可作为载波通信设备设计、制造、维护方面的工程技术人员的参考用书。

载 波 通 信 原 理 中 册

北京邮电学院多路通信教研室编

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

轻工出版社印刷厂印刷

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1月 第一版

印张: 17²⁰/₃₂ 页数: 282 1983年5月北京第二次印刷

字数: 406千字 印数: 19,001-28,400册

统一书号: 15045·总2244-有5101

定 价: 1.45 元

目 录

第六章 增音系统	1
第一节 增音系统的任务与组成	1
1.1 增音系统的任务	1
1.2 增音系统的作用	4
1.3 增音系统的组成	5
第二节 增音系统均衡的基本原理	7
2.1 均衡与调节的概念	7
2.2 均衡和调节的安排	10
2.3 双端均衡	24
第三节 业务通信系统	26
3.1 60路系统业务电路的组成	26
3.2 1800路系统业务电路的组成	30
第四节 远供系统	32
4.1 远供方式	32
4.2 60路系统的远供系统	34
4.3 1800路系统的远供系统	40
第五节 遥测系统	48
5.1 概述	48
5.2 60路系统的遥测系统	50
5.3 1800路系统的遥测系统	51
第六节 遥信系统	53
6.1 60路系统的遥信系统	54
6.2 1800路系统的遥信系统	56
*第七节 线路转换系统	59

第八节 增音设备	61
8.1 60路系统的增音设备	61
8.2 1800路系统的增音设备	67
第九节 明线增音系统的特点	75
本章小结	79
思考题	80
参考书目	80
第七章 群放大器	82
第一节 线路放大器的基本特点	82
第二节 混合线圈深负反馈放大器分析 ^[2]	88
2.1 混合反馈的提出	88
2.2 单桥负反馈放大器电路定性分析	93
2.3 具有输出六端体电路的计算	98
2.4 双桥负反馈放大器电路分析	114
2.5 几点简短的结论	122
2.6 深负反馈放大器的一般分析	125
2.7 双桥深负反馈放大器桥路的计算	142
第三节 群放大器的稳定问题	159
3.1 判定放大器的自激及稳定的依据	159
3.2 放大器的稳定	166
3.3 理想开环特性	201
第四节 群放大器设计	241
4.1 技术要求	241
4.2 对放大器各部分的考虑及初步电路	243
4.3 设计计算	247
本章小结	272
习题	274

参考书目	277
第八章 自动电平调节系统	278
第一节 引起传输电平变动的主要因素	278
1.1 线路衰减的扰动	279
1.2 其它各种扰动	283
第二节 自动电平调节系统的构成	285
2.1 地温调节系统的构成和作用原理	285
2.2 导频调节系统的构成和作用原理	287
第三节 ZL 3 型载波设备的线路导频调节系统	293
3.1 三导频的必要性和三调系统的构成	293
3.2 平调系统电路分析	298
3.3 线路导频调节系统的调测	314
小结	316
第四节 其它类型的导频调节系统	317
4.1 明线和同轴电缆载波机的导频调节系统的特点	317
4.2 其它类型的导频控制器	323
第五节 自动电平调节系统的静态特性	354
5.1 调节系统的静态特性及其分析方法	354
5.2 各部件、元件的传递系数	356
5.3 调节系统的静态误差	365
5.4 调节系统与反馈放大器的类比	371
小结	372
第六节 自动电平调节系统的动态特性	373
6.1 各部件、元件的动态特性	374
6.2 单站自动电平调节系统的动态特性	387
6.3 多站串接时的动态特性	409
小结	421

第七节 自动电平调节系统的技术要求和改善动态特性的方法	422
7.1 静态特性的要求	422
7.2 动态特性的要求	425
7.3 其它要求	428
7.4 改善动态特性的方法	429
第八节 群导频系统	438
8.1 组成方式	438
8.2 ZL3型机群导频系统	441
小结	463
思考题与习题	464
参考书目	468
第九章 可变均衡器	469
第一节 变阻型可变均衡器	469
1.1 第Ⅰ类可变均衡器	471
1.2 第Ⅱ类可变均衡器	485
1.3 第Ⅲ类可变均衡器	514
第二节 定阻型可变均衡器	536
2.1 波特型定阻可变均衡器	537
2.2 奥斯瓦尔德型定阻可变均衡器	541
思考题与习题	554
参考书目	557

第六章 增音系统

为了延长通信距离,实现远距离载波通信,仅有载波终端设备和传输线路是远远不够的。要做到这一点,就必须在线路上加设若干增音设备。从完整的信号传输系统来说,除进行频率搬移的调制系统外,增音系统是传输系统中不可缺少的组成部分。

所谓增音系统,就是指不包含调制系统在内的线群频谱信号的传输部分。或者具体说,它的范围是包括从发送端调制设备输出到接收端调制设备输入的整个传输通道。

本章和后续三章的内容都属增音系统范围。作为开始,本章是一个综述,它将说明增音系统的作用及其组成,重点介绍系统中均衡的基本原理,并介绍几个附属系统及各类增音设备的构成。至于增音系统中调节问题的进一步讨论以及其中主要部件放大器和可变均衡器,则在后面三章叙述。

第一节 增音系统的任务与组成

1.1 增音系统的任务

增音系统的任务是在保证一定质量指标的条件下,完成对线群信号的远距离传输。

因此,增音系统面临的是一定质量指标和远距离传输这样一对矛盾。

是哪些因素构成这对矛盾呢?主要是

1. 杂音^[1]的客观存在

杂音是客观世界不可避免的产物。信号无论在哪里传输，杂音总是同时存在着。杂音（包括机内杂音、线路杂音、外界干扰等）是危害信号、限制通信距离的主要因素。杂音对信号的影响主要不决定于杂音绝对数值的大小，而决定于信号对杂音的比值，这一比值通称为“信杂比”。如果不存在杂音（即信杂比为 ∞ ），那末尽管传输信号电平很低，总可以设法把它放大，使通信距离无限延长。但是，由于杂音到处都存在，线路有线路的杂音，增音设备有增音设备的杂音等。随着通信距离的增长，信号电平逐渐降低，而杂音则积累加大，信杂比随之下降。当信杂比下降到指标所规定的允许范围以下时，通信距离就不能再继续延长了。

2. 线路的传输衰减以及它的变化

由线路特性可知，信号在任何线路上传输都将受到衰减，线路越长，衰减越大。因此，由于上述杂音的存在，为了保持一定的信杂比，信号被衰减至一定值时，就应当对它进行放大，这样才能使通信距离得到延长。

另外，线路传输衰减也随信号频率的增高而加大，也即在信号传输频段内高、低频率所受到的衰减不一样，从而造成信号振幅频率特性变坏。图6·1绘出了13公里4×4对称电缆的衰减频率特性。由曲线可见，在温度为13℃时，其衰减 $\alpha_{13^\circ\text{C}}(12\text{kHz}) = 1.2$ 奈， $\alpha_{13^\circ\text{C}}(252\text{kHz}) = 4.45$ 奈，高低端频率的衰减差达3.25奈，若以全程1500公里计算，衰减差竟达375奈之多。

[1]关于杂音的分析，请参阅本书下册第十一章。

同时，线路衰减特性还随气候等客观条件的不同而变化：图6·1中虚线所示就是温度为0℃时的衰减特性，可见线路衰减将随季节（时间）的气温变化而产生波动。这个波动量对13公里来说似乎不是太大，约40~50毫奈，但如距离延长至数百以至上千公里，则会造成传输电平的很大波动。

3. 设备部件增益（或衰减）的变化

增音系统中包含有许多由有源和无源部件构成的增音设备。在小容量载波系统中，中间增音设备数量不多，其部件增益（或衰减）变化所引起的电平波动，与上述线路特性变化所造成的电平波动相比几乎可忽略不计。但在大容量载波系统中，设

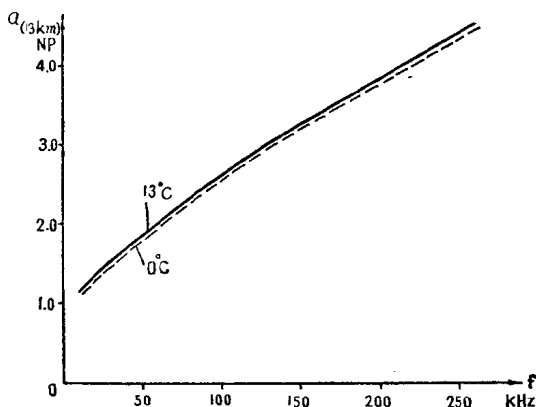


图 6·1 HEQ-252型4×4对称电缆
13公里的衰减频率特性

备部件所造成的电平波动已占相当份额，不可忽视。

上述这些因素所造成的各种现象对于由很多增音机组成的载波电路的质量将带来严重影响。

影响之一，使有些通路的接收电平降低，通路净衰减增大，对于电话则造成音量减小收听困难；同时又使有些通路接收电平增高，通路净衰减降低，甚至可能出现通路振鸣，破坏正常通信。

影响之二，使有些通路在传输过程中因信号电平降低，使信杂比变坏；同时又使有些通路因电平增高使放大器等部件产生的非线性杂音增大，甚至可能使它们过载，引起严重串话。

影响之三，由于传输电平波动太大使分路和转接发生困难。

1.2 增音系统的作用

增音系统不仅仅是起放大的作用，也要解决均衡和调节的问题。现简述如下：

放大作用——补偿线群信号所受到的线路衰减。

均衡作用——主要是补偿线路和部件所造成的信号振幅频率特性的偏差。

调节作用——是补偿线路和部件所产生的信号传输电平随时间的波动值。

总的说来，就是用放大、均衡和调节的办法来补偿全频段信号所受的衰减及其变化，保持信号传输电平稳定在某一既定范围，保证全频段信号的杂音指标，这就是增音系统的基本作用。

应当指出：传输信号是多种类型的，如电话、电报、数据、传真、电视等，它们都不是单一的正弦波，而是包含许多频率成分的非正弦信号。这些信号经过线路传输后，除了受到衰减外，尚有相移的变化。因此，增音系统频率特性的变化应包括振幅频率特性和相位频率特性两部分，均衡与调节的作用理应对二者均给予补偿。但是，对于电话信号，由于人耳不能感觉相位的变化，所以往往只补偿前者。只是当增音系统传输高质量传真或电视信号时才考虑用相位均衡器对相位失真进行校正。本书所述的均衡（或调节）如不特别说明，则指仅补偿振幅频

率特性而言。

1.3 增音系统的组成

前面介绍了增音系统的基本作用是放大、均衡和调节。除此之外，电缆载波系统由于路数多、频带宽、线路衰减大，增音段长度比较短，所以增音站数目就比较多。因此，大多数增音站可能远离城市或居民集中的地方。从经济性和可靠性方面考虑，要求把极大部分增音机做得尽可能简单，做成无人经常维护的设备，设立无人值守增音站。为此，增音系统还应当具有下列辅助作用：

(1) 沟通各有人站、无人站、终端站相互之间的业务联络；

(2) 由终端站或有人站向无人站进行远距离供电；

(3) 当电缆漏气可能损坏电缆时，使有人站或终端站发出告警信号；

(4) 当同轴电缆中有一同轴管出现故障时，能自动倒换至另一同轴管；

(5) 由有人站或终端站对无人增音机的特性进行遥测；

(6) 当雷电袭击或受附近高压线影响时，保护增音设备不受损伤等等。

因此，增音系统一般应由以下几个不同功能的系统组成：

(1) 信号传输系统(包括放大、均衡和调节)；

(2) 业务通信系统；

(3) 远距离供电系统；

(4) 遥信系统；

(5) 线路自动转换系统；

(6) 遥测系统；

(7) 保护系统。

构成上述系统的电路均分别装设在各种增音设备之中。

图6·2和图6·3分别是晶体管60路载波系统和晶体管1800路载波系统的全程增音站配置图。

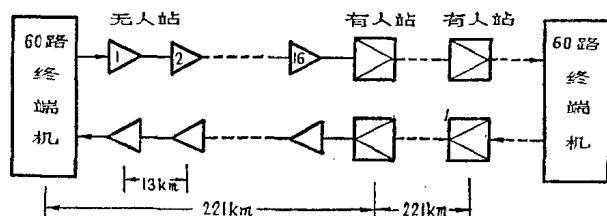


图 6·2 晶体管60路载波系统全程增音站配置图

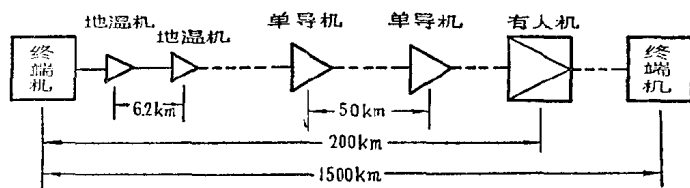


图 6·3 晶体管1800路载波系统全程增音站配置图

增音系统的范围如前所述，是包括从发送端调制设备输出到接收端解调设备输入的整个传输通道。因此，凡未经转接的载波系统长度（转接段长度）也就是增音系统长度。

由于整个系统中需要有大量的无人机和一定数量的有人机，它们的配置是一个综合性技术经济问题。有人机的配置，也即有人段长度的确定，从经济角度看，长度越长越好。但从技术上说存在着限制。它一方面关系到信号传输系统中均衡（或调节）偏差的积累，影响杂音指标；另一方面它又关系到各个辅助系统的性能，如影响远供电压、对设备和电缆耐压

要求等等。无人机（地温机）的配置，也即基本增音段长度的确定，技术上与许多因素有关，主要如：杂音定额、最高发信电平、最低接收电平等。这些问题将在本书下册讨论。

第二节 增音系统均衡的基本原理

2.1 均衡与调节的概念

均衡与调节的概念大家并不陌生。例如，当传输信号经过线路后，使高、低频信号出现电平差值时，用特性与线路频率特性相反的均衡器把这个电平差补偿掉，这就是均衡；而当线路衰减由于温度等原因发生变化，使电平出现偏差时，用能自动进行相反特性变化的调节器来补偿这个偏差，这就是调节。显而易见，均衡和调节都是用来补偿线路衰减偏差的。因此，在论及总的补偿作用时，均衡与调节可以不作区别，在有些地方往往就笼统以均衡称之，或者称为广义的均衡。但是二者并不能等同起来，例如在说到具体部件（或系统）时，调节器（或调节系统）的名称只能对自动调节电平变化的部件（或系统）而言，显然它不能与均衡器（或系统）混为一谈。至于调节系统中的调节网络（如斜调、曲调等），由于它常常用属于网络理论中的均衡器来实现，所以，调节网络与均衡网络也就常常不加区分。

均衡和调节概念的区别主要是根据所补偿的电平偏差的性质确定的。即：对于一类不随时间变化的偏差，主要由增音系统的均衡来解决；对于另一类随时间变化的偏差，则主要由增音系统的调节来解决。

下面就对电平偏差的性质和产生偏差的原因进行分析。

增音系统产生电平偏差的原因是多种多样的，归纳起来可

分为不随时间变化和随时间变化两大类。

一、不随时间变化的电平偏差

此类偏差按其叠加规律又可分为两类：

（一）有规律的累积偏差，其频率特性是可以预测的，此类偏差称为固定偏差。产生此类偏差大致有以下几个原因：

（1）线路衰减特性的偏差——由于线路的衰减常数 α （奈/公里）的原始数据不准确、电缆制造上特性的偏差等所造成；

（2）增音段实际长度与标称长度不一致造成的偏差；

（3）增音机制造上的设计偏差——增音机是按补偿一个增音段的线路衰减来进行设计的，它所必需的特性一般是由前置均衡器与放大器的反馈网络（B网络）组合而得到的。因此，设计偏差就是前置均衡器、B网络特性等设计所产生的偏差。

这些固定偏差，各增音机基本相同，其迭加规律呈线性相加， n 个增音站的总偏差将是一个增音站偏差的 n 倍。

（二）无规律的偏差，其频率特性是不可预测的，此类偏差称为随机偏差。产生此类偏差的原因是电缆制造及增音机制造的不均匀性（特性的不一致性）、增音段长度不均匀和增音机与线路之间阻抗失配等造成的偏差。

这类偏差是随机的，各个增音机、增音段各不相同，其叠加规律随增音段数目 n 的增加按 $\sqrt{n}$ 积累。

二、随时间变化的电平偏差

这类偏差主要是由大气和土壤温度变化引起线路衰减变化而产生的。此外，也由于温度、电源变化和元件老化等原因使

增音机增益变化所产生。

上面分析的电平偏差的性质和产生偏差的原因，为我们对各项偏差有效而经济地进行精密补偿提供了方向。在电缆载波系统中，特别是大容量系统，其中每一项偏差都不可以轻视，因为很小的偏差在经过很多增音机以后就会变成相当可观的电平差值。一般地说，上述固定偏差可用固定均衡器进行补偿；随机偏差可用可变均衡器人工或自动进行补偿（大多数为人工）；随时间变化的偏差则主要由土温和线路导频控制的调节器来补偿，同时也用可变均衡器作辅助补偿，以弥补调节器补偿之不足（如非导频点的剩余偏差及元件长期老化引起的增益变化等）。

综上所述，可把分析结果归纳如表6·1所示。

表6·1 电平偏差的性质、产生原因和处理方法

偏差种类		偏差来源	偏差性质	处理方法
不随时间变化的电平偏差	固定偏差	线路衰减特性偏差、增音段长度偏差、增音机设计偏差等	频率特性可以预测，各增音段基本相同，按增音段数 n 倍积累，积累速度快	固定均衡
	随机偏差	增音机制造不均匀性、电缆制造不均匀性、增音机和线路间的阻抗失配等	频率特性变化无规律，无法预测，各增音段不相同，按 $\sqrt{n}$ 速度积累	可变均衡
随时间变化的电平偏差		线路衰减随大气温度和土壤温度的变化、增音机特性随温度、电源、元件老化的变化等	有固定和随机两种	调节 (和可变均衡)

2.2 均衡和调节的安排

现代电缆载波系统，随着通路容量的增多，增音机的间隔愈来愈短。对称电缆60路系统是13公里，小同轴300路系统是8公里，中同轴1800路系统是6.2公里，而10800路系统则只有1.55公里。增音机的基本效能总的来说就是使其增益频率特性等于前段线路的衰减频率特性，即 $G(f) = a(f)$ 。但是，如在沿途每个增音站都设置对前述各种电平偏差进行精密补偿的装置，一则很不经济；二则由于补偿电路的元件数目必然大量增加，从而使它很难维持稳定。所以，实际的安排必须考虑有效可靠而且经济。有鉴于此，在具体系统中往往采用多级均衡和逐级调节的方式，即把初步的均衡和调节放在数量最多的基本增音机中（如图6.2中的无人机和图6.3中的地温机）进行，而把进一步细致的均衡和调节，根据技术要求放在数量较少或少数几个增音机中进行。多级均衡则按堆积方式即后一级增音机中包含了前一级增音机的全部均衡内容来进行处理，使之最后达到规定的质量指标。

一、60路系统的均衡和调节安排

ZL3型晶体管60路电缆载波系统对均衡的安排，采用了三级均衡方式，即：

- （1）基本均衡；
- （2）偏差均衡；
- （3）随机及剩余偏差均衡（即所谓干线均衡）。

对调节的安排，则采用了二级调节方式，即：

- （1）地温调节
- （2）三导频调节