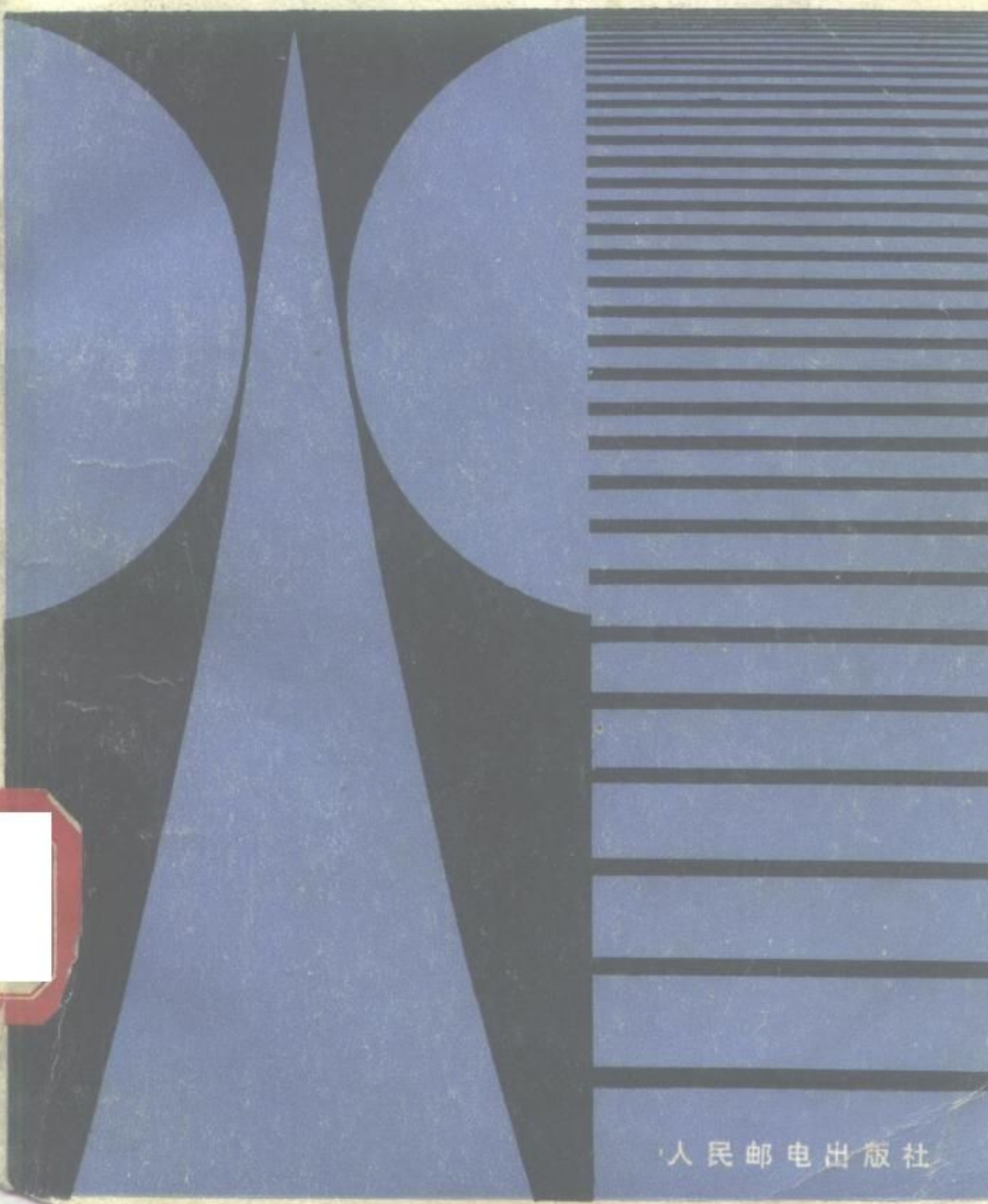


中频放大器

王诚训 张安东 林瑞莲 编著
微波接力通信技术丛书



人民邮电出版社

微波接力通信技术丛书

中 频 放 大 器

王诚训 张安东 林瑞莲 编著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书主要讲述中频放大器的基本工作原理、设计方法、测试原理及方法以及维护方面的有关经验等。

书中偏重于物理概念的叙述，说理简明，通俗易懂。为了给读者以量的概念适当地引用了必要的数学推导。书中还附有实践数据和电路，以供实际应用。

本书主要供从事微波通信工作的维护、设计及生产技术人员参考。对大专院校有关专业的学生及从事仪表设备方面的工作人员也有一定的参考价值。

微波接力通信技术丛书

中 频 放 大 器

王诚训 张安东 林瑞莲 编著

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 1983年1月 第 一 版
印张：8 4/32 页数：130 1983年1月河北第一次印刷
字数：185千字 插页：2 印数：1—16,000 册

统一书号：15045·总2634—无6205

定价：1.10 元

出 版 者 的 话

几年前，我社曾给微波站的维护人员出版了一套微波设备维护手册，帮助他们了解微波设备的简单原理，学会值机操作和处理简单的障碍，起到了较好的作用。但时隔数年，全国微波电路有了新的发展，微波站维护人员的水平也在不断提高，需要为他们编写切合实际而又较为深入的读物，以便帮助他们进一步提高技术水平，做好维护检修工作。《微波接力通信技术丛书》就是在这个思想指导下组织编写的。

这套丛书准备结合当前使用的微波通信设备，分部件讲述各部分原理，各元器件作用，工作性能、指标以及调整、测试等问题。力求结合实际进一步阐明原理，并能适合当前大部分维护人员的实际水平。

丛书的读者对象主要是微波站的维护人员，也可以供微波设备的研制、生产人员和有关专业的大专院校师生参考。

我们希望广大读者对这套丛书的编辑出版提出要求和建议，帮助我们做好这一工作。

前 言

在微波收发信机中，中频放大系统的好坏对整个收发信机的性能起着很重要的作用。为了使从事微波通信工作的维护、科研和生产人员中对中放系统有较全面、深入的了解，根据我们在多年研制过程中的体会，编写了这本书。

本书对中放系统的低噪声前置中放、带通滤波器、群时延均衡器、主中放、限幅器、代振器和功率中放等各部件的基本工作原理、电路方案的选择与比较、设计计算方法，调测步骤及有关检修、维护等均作了叙述。同时对中放部件的技术指标要求、各技术指标的含义、测试原理及方法也作了介绍。

本书主要着重于物理概念方面的叙述，力求深入浅出，通俗易懂。对一些基本电路，在阐述其基本工作原理时，适当引用了数学推导，这样不但能得出必要的设计数据，而且也能帮助读者了解分析的思路及方法。

本书虽然是论述调频制微波通信系统的，但对数字通信设备的中放系统、仪表设备、遥控、遥测设备的宽带放大等仍有一定的参考价值。

书中在有关章节后面还给出了电路图(主要是960路和1800路设备用的中放部件)。这些电路都经过实际测试和验证。各设备经过高、低温，潮湿，振动，冲击等条件试验，均能达到预期的设计要求，数据可靠，可供有关单位制作时参考。

书中有关中频滤波器的计算、实测数据是由居丽、张路以同志提供的。电路的试验还得到了邮电部第四研究所马云生、

• 1 •

白志华、费荣芬同志的帮助，北京邮电学院谢沅清同志对全书进行了审阅，谨致谢意。

由于我们的水平有限，许多分析与实验难免存在着错误和不足之处，恳切地希望读者提出批评和意见。

编著者

目 录

• 1 •

第四节	中频阻抗匹配电路	(140)
第五节	主中放实例	(148)
第七章	限幅放大器与代振系统	(152)
第一节	概述	(152)
第二节	限幅器的技术指标	(152)
第三节	限幅器的电平图	(152)
第四节	二极管串联限幅器的工作原理	(156)
第五节	电路实例及性能	(164)
第六节	其他限幅器削波级电路举例	(166)
第七节	中频代替振荡器	(169)
第八章	功率中放	(174)
第九章	中频部件各主要技术指标的含义和基本概念	(179)
第一节	幅频特性	(179)
第二节	阻抗匹配特性 (回波损耗特性)	(179)
第三节	群时延特性	(181)
第四节	噪声系数	(182)
第五节	寄生调幅抑制制度	(183)
第六节	中频谐波抑制制度 (或谐波衰耗)	(184)
第七节	调幅—调相转换的基本概念	(185)
第八节	微分增益和微分相位特性	(189)
第十章	中放系统的测试与维护	(205)
第一节	概述	(205)
第二节	中频部件各测试项目的基本测试原理	(205)
第三节	中频部件的维护	(241)
参考资料		(250)

第一章 概 论

微波接力通信是一种比较先进的通信技术，它具有容量大、质量高、稳定可靠、抗干扰能力强、经济等优点。目前国内外已将微波接力通信作为多路电话、彩色及黑白电视、新闻传真、快速电报、广播、数据传输等远距离传送的主要手段之一。微波接力通信还可以和卫星通信、海底电缆通信等转接，成为构成国际通信网的重要通信手段。我国微波接力通信已经从无到有，初步形成了一个以北京为中心的通信网。

一、微波接力通信的特点

微波接力通信和常用的中短波通信一样，也是一种无线电通信，但是这种无线电电波的频率较高（通常微波频段的频率是指 $1000\text{MHz}\sim 1000\text{GHz}$ ），波长较短（微波波段的波长在 $30\text{cm}\sim 0.3\text{mm}$ ）。为什么要用这么高的频率进行传播呢？最主要是微波频段具有很宽的频带。一般中短波频段的频带总和只不过 30MHz ，因此对于传送宽频带的信号（如电视图象要求频带达 6MHz ，1800路电话信号要求频带达 8.2MHz ）就不能适应了。微波频段的频带可达中短波频带总和的1000倍，因此便提供了实现大容量多路通信的可能性。比如 $6\text{GHz}/1800$ 路微波通信系统占有频带从 $5925\text{MHz}\sim 6425\text{MHz}$ ，共 500MHz 频带。一个波道便可容纳一路彩色电视图象加四路伴音或1800路电话，全系统共配置八个波道，因此通信容量很大。另一方面，传送大容量的信息，就必须用很高的载频。载频不够高，则信

号频带与载频之比(称为相对频带)太大,在技术上很难实现。而微波频率高,对于上述大容量信息,易于获得小的信号频带与载频之比。

由于载频扩展到微波频段,而微波在空间只能做直线传播(我们知道,地球表面是弯曲的,因此微波只能在视距范围内传播)。为了实现长距离通信,可以采用接力通信的方式,每隔50公里左右设置一个微波接力站,把信息传送到远方。

另一方面,微波信号能穿透电离层,也会遇到地面上的反射以及由于气象的变化而产生衰落现象。通常,微波信号有两种不同的传播途径:一是由发信天线直接到达收信天线的电波,称为直射波;另一部分是经过地面反射到达收信天线的电波,称为地面反射波。因此,接收端的信号场强是直射波和反射波的合成场强。由于这两个电波在空中所走的途径不同而引起相位差,当两种传播途径的传播条件发生不同变化时,结果使接收端合成场强发生变化。在大多数(约占90%时间)情况下,接收端的信号电平有不超过6dB的衰落变化。因此对于接收机以至中放系统来讲,在上述电平变化范围内应该保持优良的传输特性。在少数情况下,信号会衰落到更低的电平,通常最低电平要比正常接收电平低35~40dB(算深衰落)。有时,地面反射波恰好与直射波相位相同,使接收端的信号电平比正常接收电平还要高,这种现象称为上衰落。上衰落电平比正常接收电平一般最多高6dB。因此作为接收机内处理信号衰落的机构——中放自动增益控制系统,必须能适应从上衰落到深衰落的电平变化,使输出电平基本恒定。

根据实测,微波信号在大多数(约占99%以上的时间)情况下,最快的衰落速度不超过每秒100dB。因此,还要求接收机的自动增益控制系统能跟上100dB/S的快衰落变化。

二、微波通信的调制方式

目前,国内外微波接力通信系统大部分采用频分复用的调频系统,它属于模拟制微波系统。近年来由于脉冲技术的发展,已经开始建立属于时分制的脉码调制(PCM)系统,并且实现了用微波来传输脉码调制信号。

频分复用调频系统的主要优点是通信容量大、抗干扰性强、稳定可靠、技术较成熟等。脉码调制系统由于采用了再生中继,可以去掉传输电路中的噪声和失真积累,抗干扰性强,能实现高质量的信息传输。所以目前脉码调制系统发展很快。

不论是调频制还是脉码调制制,对于中放系统的各项技术要求基本是一样的。本书以调频制微波系统中的中放系统进行分析。其工作原理、技术指标分析等也都适用于脉码调制系统。

三、微波收发信机的组成

微波收发信机是微波接力通信设备的重要组成部分。目前,在频分制微波接力通信中,微波收发信机都广泛采用外差接收和发送信号的方式,它的原理和外差收音机的原理是一样的。下面,我们以960路Ⅰ型机为例,来介绍他们的组成。

图1-1是微波收信机和发信机的方框图。其基本工作原理是:在微波收信机中,由天线来的微波信号经变频后变为载频为70MHz的中频调频信号。对于不同载频的微波信号,可通过改变收信本振频率使两者之差为70MHz。然后经过收信中放系统中的前置中放,带通滤波校相器和主中放,得到输出电平稳定的中频调频信号。在微波发信机中,输入的中频信号经中频限幅器、功率中放而至发信混频器,然后变频为微波信号,经

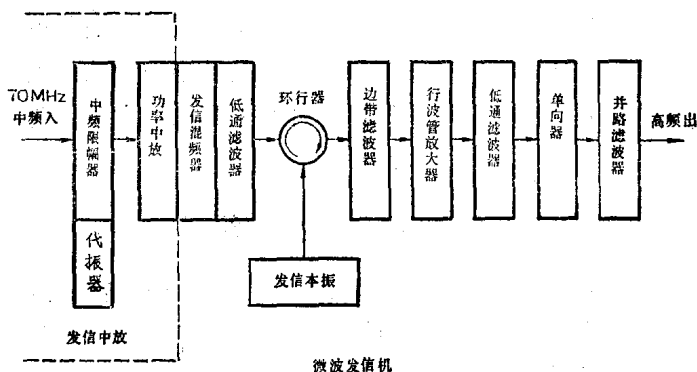
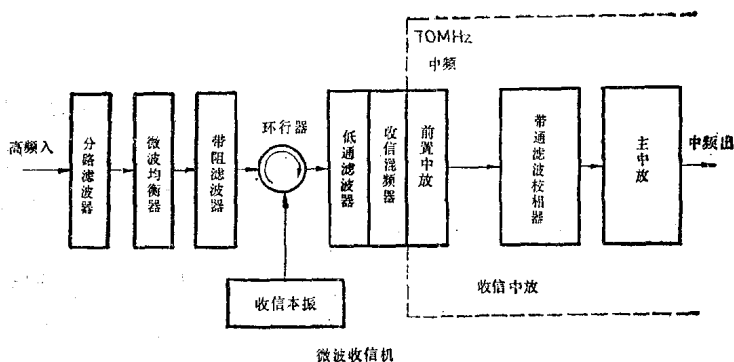


图 1-1

行波管放大器放大后送到天线。输出的微波信号频率可通过改变发信本振频率而改变。

为什么要采用外差式接收和发送信号呢？其优点主要有：
 (1) 直接在微波频率上进行信号放大、自动增益控制、限幅以及调制、解调、校正等比较困难。因为微波频率相当高，从技术上讲要实现上述各功能，选取器件就比较困难，测试也比较困难。将频率降到较低的中频上来处理，则无论在技术上，选

取器件上或测试手段上都要容易得多。(2)由于不同波道的微波信号频率都可以变成相同的70MHz中频,因此可以实现中频转接,使终端站和中间站的微波收、发信机统一规格,给生产和维护带来很大方便。

中频频率的选择要折衷考虑下述两个因素:中频频率选得偏高会增加技术上的难度;中频频率选得偏低,相对频带便会增大,影响通信容量,同时,镜象干扰会增大。又考虑到中频频率的品种过多将不利于设备的标准化,因此,目前国内外基本统一为:容量在60路以下的设备中,采用35MHz为中频频率;容量在60路~1800路的设备中,采用70MHz为中频频率,容量在1800路以上(如2700路),则采用140MHz为中频频率。

第二章 中频放大系统

第一节 中频放大系统的功能、特点及技术指标

一、中频放大系统的功能

微波收发信机中频放大系统（简称中放系统），分为收信中放和发信中放系统两部分。收信中放系统包括：低噪声前置中频放大器（简称前置中放）、带通滤波校相器、主中频放大器（简称主中放）；发信中放系统包括中频限幅放大器（简称中频限幅器）、中频代替振荡器（简称代振器）、功率中频放大器（简称功率中放）*。它们的方框图分别示于图2-1和图2-2。

在终端站，收信中放的输出端用中频电缆通过波道倒换机架与电话或电视解调机架的反调制器相连接。发信中放的输入端与来自电话或电视机架调制器输出端（经波道倒换机架）相连接，以便接收对方发来的信息和发出本站的信息。在主站，除了需要上、下信息的情况按上述连接外，一部分中频信号直接自收信中放连接到发信中放，继续传送至下一站。在中间站，则收信中放的信号直接接至发信中放。这种通过中频70MHz

*有些书中按各个放大器在中放系统中的排列顺序，把滤波校相网络叫作一中放，主中放叫作二中放，限幅放大器叫作三中放，本书则按其主要功能来命名。

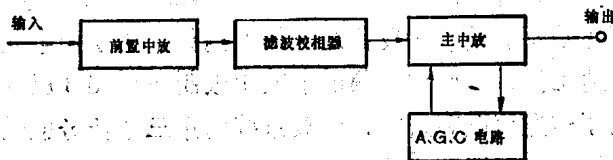


图 2-1

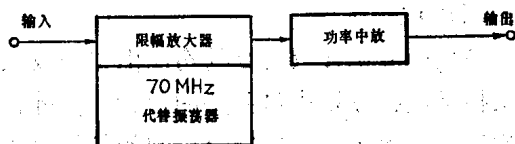


图 2-2

的连接，在微波接力通信中称作中频转接。

中放系统在微波收发信机中起什么作用呢？前面我们已经说过，由于微波信号在传播过程中有损耗，所以，收信机收到的信号是很微弱的，中放系统的第一个部件——前置中放的输入端，接收电平处在整个微波通信信号电平的最低点。微弱的信号最易受到噪声的干扰，因此，中放系统的第一个任务就是要进行低噪声放大，把微弱的信号放大到足够高的电平，并且要尽可能少地引入额外的噪声。

目前，为获得优良的传输特性，晶体管中频放大电路均采用宽频带放大形式。为了保证一定的信号通频带，抑制噪声信号和邻近波道的干扰，宽频带的中放系统必须要有选取必要通频带的网络，这就是中频带通滤波器。校相网络则是用以校正滤波器本身的相位失真的。这是中放系统的第二个任务。

我们知道，微波信号是在空间对流层中传播的，因而对流层的不均匀结构、气候变化，以及地面湖泊、树木、建筑物的反射，都将使传输的信号有很大的起伏变化，这就使得接收机

的输入信号时强时弱，一般电平相差可达40dB以上。这么大的电平变化是不能使各种设备适应的（例如，为了使中频解调器能良好地工作，就要求中频电平变化限制在 $\pm 1\text{dB}$ 以内），因此，为了使通信顺利进行，中放系统的第三个任务就是要有自动增益控制系统（简写作A.G.C），通过自动调节放大器的增益，使收信中放系统输出端的电平变化控制在允许的范围内（如 $\pm 1\text{dB}$ ）。

目前，大多数微波机A.G.C的功能由主中放来完成，即主中放除了承担微波接收机中最主要的放大任务外，还具有自动增益控制作用，使得由于传播衰落引起的信号电平变化经主中放后，在接收机输出端的中频电平稳定在 $\pm 1\text{dB}$ 范围内。

信号在传输过程中往往会受到各种干扰，而且传输通道各部件总存在着热噪声和幅频特性的不均匀性，这些都会使信号产生寄生调幅。当有寄生调幅的信号通过具有较大非线性失真的部件（如发信混频器和行波管放大器），将产生调幅——调相转换失真而使传输的已调频信号产生失真。为此，发信中放系统采用限幅器来抑制寄生调幅，这就是限幅放大器的任务。通过抑制寄生调幅，提高通信质量，这是调频制微波通信的一大优点。在限幅器中还有一个70MHz的代替振荡器，它在信号中断时能自动开启，以70MHz载频信号来代替传输信号，以免下面各站倒换机架发生误动，同时也可以防止有故障的波道噪声干扰邻近波道。

最后，为了保证发信混频器有足够的中频激励功率，还设有中频功率放大器。

综上所述，我们可以把微波收发信机中放系统的功能归结为一句话，就是不失真地把信号进行放大和必要的校正，以补偿信号在传输过程中产生的损耗和失真。

二、中放系统的特点

微波收发信机中放系统和雷达接收机、中短波接收机中放系统相比较，既有共同点也有自己的特点。首先，正如我们前面提到的，微波接力通信的特点之一就是具有大的通信容量。以 $6\text{GHz}/1800$ 路微波设备为例，每个波道可以传输1800个电话，或一路彩色电视图象和四路伴音信号。所以，传输的调频信号能量占有相当宽的频带，为了不失真地放大信号，中放系统应该具有良好的宽频带放大性能。比如， $6\text{GHz}/1800$ 路微波收发信机中放系统的振幅频率特性要求在 $70 \pm 13\text{MHz}$ 内，不均匀度小于 0.1dB ，群时延特性在 $70 \pm 12\text{MHz}$ 内，时延差小于 1ns ， $4\text{GHz}/960-\text{II}$ 微波收发信机中放系统的振幅频率特性要求在 $70 \pm 10\text{MHz}$ 内，不均匀度小于 $\pm 0.1\text{dB}$ ，群时延在 $70\text{MHz} \pm 8\text{MHz}$ 内，时延差小于 1ns 。这些要求，比起一般雷达接收机和中短波接收机的中放系统的相对带宽要宽得多，振幅频率特性和群时延特性的不均匀度等指标要求也严格得多。和一般接收机一样，微波接收机的前置中放除同样要求低噪声放大外，还由于接收机接收到的电平起伏变化范围甚大，因此，低噪声的前置中放还必须具有足够的功率负荷能力。在传播出现上衰落或个别短站距的情况下，低噪声前置中放应该能承受足够高的信号电平，而不产生非线性失真。因此，前置中放既要求有足够低的噪声，又要有相当大的线性动态范围，才能满足微波接力通信的要求。

在微波收发信机中放系统中，部件之间的相互连接都是采用中频同轴电缆。在终端站或主站的机房中，连接用的中频电缆往往长达数米。如果中频部件之间失配连接，信号便会来回反射，结果将导致整机串杂音的恶化。所以，中放系统各部件