

高等学校教材

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书对微波通信的工作原理、系统组成及设备性能作了较全面的论述，并结合典型设备介绍了工程设计的一些考虑。

全书共分十一章：微波通信的基本概念；FDM-FM制微波中继通信系统的高频设备；微波中继通信系统的噪声及失真；微波传播及天线；微波中继通信系统的设计考虑；数字微波通信的特点与组成；数字微波调制与解调技术；提高频谱利用率的高速传输方法；同步信号恢复；数字微波通信线路设计与系统举例；其它方式的微波通信。

本书是高等工科院校通信专业、无线电技术专业、微波专业及信息与电子系统专业的专业课教材，也可供从事这方面工作的科技人员参考。

高等学校教材  
微 波 通 信  
杨家成 曹达仲  
责任编辑 夏大平

---

西安电子科技大学出版社出版

空军工程学院印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 14 12/16 字数 346 千字

1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷 印数1—2500

---

ISBN 7-5606-0072-7/TN·0027

定价:2.95元

## 出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”(第三轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

## 前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材 1986~1990 年编审出版规划,由无线电技术与信息系统教材编审委员会通信编审小组征稿,推荐出版,责任编辑黄戴禄教授。

本教材由天津大学担任主编,华中理工大学熊兆飞担任主审。

本课程的参考学时数为 50 学时,其主要内容为微波通信系统的构成原理及有关设备的组成方案。全书共分十一章。第一章讲述微波通信的基本概念及模拟式微波中继通信系统的基本原理;第二章讨论了 FDM-FM 制微波中继通信系统的高频设备,并尽量结合我国的 960 路设备进行介绍;在第三章里对微波中继通信系统的噪声及失真进行了分析及计算;第四章着重讨论了微波传播的特点,电波衰落、分集接收及微波天线的一些基本知识;在第五章里对微波中继通信系统的设计及路由选择进行了分析及计算;第六章~第九章讨论了数字微波中继通信的特点及数字微波的调制、解调、同步提取技术;第十章讨论了数字微波通信线路的设计问题;在第十一章里对其他方式的微波通信进行了介绍。本书的难点是第三章的内容。在使用本教材时应注意建立系统概念,但对于第四章的内容各校可根据是否已开设过《电波及天线》课程而决定取舍。考虑到各门课程的分工,有关微波元件、微波器件的内容,读者可参阅《微波技术》教材;有关脉冲调制的内容可参阅《通信原理》教材;有关热噪声的内容可参阅《高频电子线路》教材。

本教材由杨家成编写前五章,曹达仲编写后六章,最后由杨家成统编全稿。参加审阅工作的还有鲁昆生同志,他们为本书提出了许多宝贵意见,这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

序言 .....	1	(二) 微波混频器 .....	31
第一章 微波中继通信的基本概念		(三) 分路滤波系统 .....	35
一、微波中继通信概述 .....	3	第三章 微波中继通信系统的噪声及失真	
二、模拟微波中继通信系统的 工作原理 .....	4	一、噪声的基本概念 .....	37
三、多路电话信号的复用及基带 .....	6	(一) 概述 .....	37
(一) 概述 .....	6	(二) 等效输入噪声温度 .....	37
(二) 频分复用原理 .....	7	(三) 多级网络的总等效输入 噪声温度 .....	38
(三) 基带信号组成 .....	8	(四) 无源网络的噪声系数和等效 噪声温度 .....	38
四、电视信号的基带 .....	11	二、调频热噪声 .....	40
(一) 电视信号的组成 .....	11	(一) 单正弦波对载频信号的干扰 .....	40
(二) 电视信号的基带 .....	12	(二) 群频热噪声 .....	41
第二章 FDM-FM 制微波中继通信 系统的高频设备		(三) 话路单元频带 $dF$ 内调频热噪声 功率 .....	42
一、微波中继通信系统的组成 .....	14	(四) 话路中的热噪声及信噪比 计算 .....	43
(一) 微波中继通信系统的各类站 .....	14	三、微波中继通信系统里的 信号失真 .....	45
(二) 各类站的频谱关系 .....	15	(一) 概述 .....	45
二、微波中继通信系统中的调制 .....	15	(二) 群时延 .....	45
(一) 调制系统的分类 .....	15	(三) 群频电路的非线性失真 .....	46
(二) 微波中继通信中的调制制式 .....	15	(四) 调频通道的线性失真 .....	47
三、频分制微波中继系统的高频设备 .....	16	(五) 微分增益与微分相位 .....	49
(一) 调制制式的确定 .....	16	(六) 调频传输系统中的小反射对 基带信号的失真 .....	54
(二) 终端站的高频设备 .....	16	第四章 微波传播及天线	
(三) 中继站的高频设备 .....	17	一、电波在自由空间里的传播 .....	56
四、微波收发信机 .....	20	二、地面对电波传播的影响 .....	57
(一) 微波收发信机的组成 .....	20	(一) 概述 .....	57
(二) 电平的概念及表示法 .....	21	(二) 电波在光滑地面上的传播 .....	58
(三) 微波收发信机的主要技术指标 及其意义 .....	22	(三) 电波在球形地面上的传播 .....	60
(四) 微波收发信机电平图 .....	23	三、大气对微波传播的影响 .....	62
五、波段倒换与导频 .....	24	(一) 几个基本概念 .....	62
六、微波联络机 .....	25	(二) 影响传播余隙的因素 .....	67
七、中站设备组成及系统方框图 .....	26		
八、基本的微波部件 .....	28		
(一) 微波固态振荡源 .....	28		

(三) 余隙对接收场强的影响 .....	68	<b>第六章 数字微波通信的特点与组成</b>	
(四) 余隙的确定 .....	70	一、数字微波通信网的组成 .....	105
四、微波在传播中的衰落 .....	71	二、数字微波中继通信的特点 .....	106
(一) 衰落的分类 .....	71	(一) 多路复用 .....	106
(二) 衰落的机理 .....	71	(二) 中继方式 .....	106
(三) 衰落的表示法 .....	72	(三) 微波传播 .....	107
五、分集接收技术 .....	74	(四) 射频波道的频率配置 .....	107
(一) 分集的类型 .....	74	(五) 假想参考电路及其质量指标 .....	108
(二) 空间分集原理 .....	74	三、信号的 PCM 编码 .....	109
(三) 频率分集原理 .....	76	(一) 原理及特征 .....	109
六、微波天线的主要特性及形式 .....	77	(二) 同步与时分多路 .....	112
(一) 天线的方向性图 .....	77	(三) 信噪比与传送差错的关系 .....	116
(二) 天线增益 .....	78	(四) 再生中继 .....	117
(三) 微波天线的形式 .....	79	<b>第七章 数字微波调制与解调技术</b>	
<b>第五章 微波中继通信系统的设计考虑</b>		一、基本概念 .....	119
一、射频频率配置 .....	83	二、二相调相与解调器 .....	121
(一) 概述 .....	83	(一) 中频调相法 .....	121
(二) 波道频率配置的原则 .....	83	(二) 微波调相器 .....	121
(三) 波道频率配置与系统内各种 干扰的关系 .....	84	三、四相调相器 .....	122
(四) 波道频率排列的设计方法 .....	87	(一) 四相制中的两种相位 矢量关系 .....	122
(五) 微波中继系统射频配置举例 .....	89	(二) 四相调相电路 .....	123
二、对系统特性的主要要求 .....	92	四、数字调相信号的解调 .....	125
(一) 微波中继通信线路的 基本方程 .....	92	(一) 同步解调 .....	125
(二) 基本参数 .....	92	(二) 延迟解调 .....	126
三、系统设计中的抗噪声考虑 .....	93	<b>第八章 提高频谱利用率的高速传输方法</b>	
(一) 调频接收机的门限电平 .....	93	一、八相 PSK 方式 .....	128
(二) 预加重及去加重技术 .....	94	(一) 正交调制法 .....	128
四、路由选择及微波电路计算 .....	95	(二) 环形器和开关管构成的八相 调制器 .....	129
(一) 设计原则及步骤 .....	95	(三) 八相解调器 .....	131
(二) 计算举例 .....	98	二、正交调幅(QAM) .....	131
五、系统的主要指标分配及计算 .....	99	(一) 性能分析 .....	131
(一) 频分制微波中继系统的假设 参考电路 .....	99	(二) 调制解调的实现 .....	134
(二) 加权 .....	100	三、幅相键控(APK) .....	138
(三) 噪声分配(Noise Assignment) .....	101	(一) APK 系统的基本原理 .....	138
(四) 举例 .....	102	(二) APK 系统的性能 .....	138
(五) 电视假设参考线路 .....	103	四、正交部分响应(QPR)技术 .....	140
		(一) AM-PSK 双二进制系统 .....	141

(二) 正交部分响应系统的 调制方法 .....	142
(三) 正交部分响应信号的解调 .....	145
<b>第九章 同步信号恢复</b>	
一、数字信号的频谱 .....	147
二、用直接法提取载波 .....	148
(一) 平方变换法和平方环法 .....	148
(二) 同相-正交环法 .....	150
(三) 逆调制环法 .....	151
三、四相松尾环 .....	152
四、具有选择控制的 16QAM 解调环 .....	155
五、其它高性能的载波恢复环路 .....	156
(一) 通用环 .....	156
(二) 一种新的联合控制环 .....	158
六、位同步信息的提取 .....	161
(一) 外同步法 .....	161
(二) 自同步法(直接法) .....	162
<b>第十章 数字微波通信线路设计与系统举例</b>	
一、引言 .....	165
二、数模兼容 .....	165
(一) 同一波道内数模同时传输 (混合 FM 系统) .....	166
(二) 数-模兼容传输 .....	171
三、中、小容量数字微波线路设计 的有关问题 .....	174
(一) 传输容量的选择 .....	174
(二) 电视信号的传输方式 .....	175
(三) 电路通信组织与通信系统 .....	176
(四) 设备选型 .....	178
(五) 系统性能指标及其分配 .....	179
(六) 系统性能指标的估算 .....	180
(七) 无人(值守)维护问题 .....	181
四、大容量数字微波通信线路设计	

的一些问题 .....	181
(一) 大容量数字微波技术特征 .....	181
(二) 采用带宽效率高的数字 调制技术 .....	182
(三) 限带传输 .....	182
(四) 信道线性化 .....	182
(五) 多径衰落的影响及对抗措施 .....	183
五、2GHz/480 路(PCM 三次群)数 字微波通信系统介绍 .....	186
(一) 线路结构及设备构成 .....	186
(二) 系统主要技术指标 .....	191
<b>第十一章 其它方式的微波通信</b>	
一、一点对多点微波通信系统 .....	193
(一) 引言 .....	193
(二) 一点对多点用户系统的特点、 组成和设计原则 .....	193
(三) 设备概况介绍 .....	197
二、卫星通信介绍 .....	198
(一) 卫星通信的基本概念 .....	198
(二) 卫星通信的种类及多址方式 .....	201
(三) 卫星通信使用的频段 .....	206
(四) 卫星通信现状及动态 .....	206
三、对流层散射通信 .....	207
(一) 散射通信的基本概念 .....	207
(二) 对流层散射传播特性 .....	209
(三) 对流层散射系统的组成、基本 功能及主要技术指标 .....	213
(四) 分集接收技术和调制方式 .....	215
(五) 当前一些技术问题的 发展动向 .....	217
结束语 .....	220
复习题 .....	223
参考文献 .....	225

## 序 言

微波通信是本世纪 50 年代开始实际应用的一种先进通信技术。由于它具有通信容量大, 建设速度快, 质量稳定, 通信可靠, 维护方便, 费用相对较低, 与有线通信相比可节省大量有色金属并易于跨越复杂地形等优点, 目前已迅速发展成为现代化通信的一种重要传输手段, 是国际上公认的最有发展前途的三大传输手段(微波、光纤、卫星)之一。在通信发达国家, 微波通信在现代通信网中占有相当大的比重。1985 年, 美国的微波通信电路占本国干线电路的 66%, 法国占 54%, 日本占 60%, 澳大利亚占 49%, 我国目前占 7.8%<sup>〔1〕</sup>。

为了满足日益增长的信息传输需要, 新的技术与系统使通信事业发生了革命性的变化。卫星通信是一种远距离及超远距离通信的有效手段, 但是若需要通信的两个城市相距不远, 或者沿通信干线的一些小地区需要引下话路时, 卫星通信就难以实现了。微波通信以较灵活地组成点、线相结合的通信网, 使一些海岛、山区、农村的用户较方便地利用干线进行信息交换。光纤通信系统的线路容量比微波通信系统宽, 它的频谱不易受到干扰, 也不受传播环境的衰落影响, 但其缺陷是必须有安装光缆用的公用通道, 当遇到恶劣的地形条件时这种要求会给施工带来很大的困难。所以, 在实用上, 微波、光纤、卫星通信三种通信手段是互相补充的, 在不同的要求与条件下它们各自可以发挥自己的优势。

我国的微波通信建设可分为四个阶段, 即①1958~1969 年为技术开发阶段, 主要任务是完成北京-天津之间的 60 路及 600 路设备的研制、安装, 这为我国的微波通信事业奠定了基础。②1969~1973 年是大规模发展的阶段, 在这个时期内建成的 14 000km 的干线, 为开通国内外电话、电视、数据、传真业务发挥了作用并现仍发挥着作用。③从 1974 年开始到 1978 年期间, 由于种种原因, 新干线的建设基本上停滞了, 而一些专用网的建设却有了发展。④1978 年后, 由于经济发展的需要, 对信息的传递提出了新的要求, 微波通信也重新开始快速发展起来。

80 年代的微波通信, 在技术上有了新的飞跃。由于数字电路技术的成果使微波通信从传统的模拟方式过渡到了数字方式。数字传输与模拟传输相比虽然频谱容量较小, 但有许多优点: 由于每个中继站的再生作用防止了噪声的积累, 所以系统的噪声性能与线路的跳数无关, 能够以比模拟系统低的信噪比工作, 即与模拟系统相比, 数字微波中继通信能容忍更低的载波干扰比。所以, “数字化”是微波通信的发展方向。我国近年来已为此进行了大量研究, 并于京-沪-杭之间建设了我国第一条长距离的数字微波中继通信电路。至于模拟微波中继通信, 除了要充分利用已经建成的线路之外, 本身也要改进技术。采用比 FM 制更有效的单边带调制可以获得更高的频谱利用率, 使通道容量大大增加, 这是增大现已拥挤的微波电路容量的有效方式。

总之, 对于象我国这样幅员辽阔的国家, 通信事业的现代化对于发展整个经济、文化建设无疑是非常重要的。今后的发展趋势是: 进一步发展包括各种业务和应用在内的微波数字通信及光纤通信, 而卫星通信将在国际通信中发挥巨大作用; 需要极高密度传输的地方将继续改善和使用模拟传输, 在容量不大、费用要求低的某些工业应用中, 模拟式微波



通信还将起着重要作用。

# 第一章 微波中继通信的基本概念

## 一、微波中继通信概述

微波中继通信(Microwave Radio Relay Communication)是现代化的通信手段之一。它是要解决城市与城市之间、地区与地区之间大容量信息的传输问题。微波中继通信线路主要是用于长途电话及电视节目的传输。采用微波中继通信线路在某些工矿企业,如石油、电力、铁路部门可以建立专线来传输遥控、遥测及通讯信号。

在大容量信息的传输中,传递的信号是多路信号。因此,这种系统的重要特点之一,就是要实现多路复用(Multiplexing)。

现在常用的复用方法是频分复用及时分复用两种制式。在大容量的多路通信中,多采用频分复用的制式;如果要求有较好的抗干扰性,则采用时分复用方式为宜。为了能容得下多路信号,微波中继系统就要有较宽的通频带。另外,为了能传输较宽频谱的基带信号,通信系统的射频频率就应当高一些。所以这种系统的第二个特点就是射频工作在微波波段。微波是以空间波的形式在站间进行传播的,在传播过程中容易受地面障碍物的影响而产生反射及绕射。它的传播特性与光的传播特性相似,通常只能在视距内传播。所以,如果要进行远距离传输的话,就只能采取接力的方式,即采用中继方式,这就是此种通信系统的第三个特点。

微波中继通信干线的射频波长通常是5cm到20cm。从技术上讲,工作在高波段的设备在制作上比较困难,但却较易获得足够宽的频带。在大容量干线上常用的波段有三个:1700~2300 MHz,平均波长为15cm;3400~4200 MHz,平均波长为7.89 cm;5900~6400 MHz,平均波长为4.88 cm。第一个波段用于600路的设备,第二个波段用于960路,第三个波段用于1800路。在微波中继通信中不使用波长短于3 cm的波段,因为在这个波段上大气对传播的影响较大。

根据微波的传播特点,微波中继通信线路上的中继站(或称中间站)的配置通常是彼此之间相隔40~60km,以相距46km为一个标准段。微波天线通常被安装在铁塔上,铁塔的高度应当保证两相邻台站的天线满足微波作视距传播的要求。由于地面的高低不平及为了避开地面上的一些障碍物,天线塔一般高达几十米。微波收发设备就安装在天线塔附近。为了缩短连接天线与微波收发机的高频馈线的长度,可以建筑一个专门的混凝土塔楼,在楼顶安放天线,在塔楼里安装有关设备并设置工作室。

在山区架设天线时,不一定要架塔,当地理条件有利时还可适当增加两站间的距离,一般以不超过100~150km为宜,否则由于信噪比过分减小而影响传输质量。如我国已建成的一万多公里960路微波中继通信线路中,由于多种原因,普遍存在着站距过长的问題。据不完全统计,站距超过60km的中继段占总段数的37%,其中超过80km以上的中继段占8.5%,有的站距达到160km。在这些中继段上,两端站的接收信号电平比标准段收到的电平低,线路的噪声电平增加,通信质量受到严重影响。若由于地形条件不能缩短站距,就只能从改进设备性能来提高信噪比。解决的措施是在高频机架收信混频器之前

加装低噪声前置放大器，以便降低接收机的噪声系数，保证获得足够的输出信噪比，使通信质量达到要求。

微波中继通信与其他波长较长的无线电通信相比，有以下的优点：

① 工作在微波波段的收发信机可以具有很宽的通频带，所以能传输宽频带的信号如电视信号或路数很多的电话信号。

② 微波波段的电磁波传播受昼夜及季节的影响较小，所以比较稳定。

③ 在微波波段，天电及工业干扰等脉冲性干扰实际上不起作用，所以，微波中继通信受这些干扰的影响很小。

④ 在微波波段工作的天线可以获得很好的方向性。由于天线增益高，所以可用较小的发射功率而获得满意的通信效果。

⑤ 在某种程度上能比较方便地克服地形带来的不方便，有较大的灵活性，比电缆通信的成本低，可以节省有色金属，施工也较容易。

微波中继通信的缺点是中继站比较复杂，有时为了适合地形条件，不得不把中继站设置在山顶上，这就给维护检修工作带来不便。从通信保密性上看，与其他形式的天线通信一样，微波中继通信也是容易失密的。但由于电波传播的方向性好，所以其保密性比一般的无线通信要好一些。

## 二、模拟微波中继通信系统的工作原理

微波中继通信系统是由若干个终端站及中继站所构成，对于一条线路，具有两个终端站，而中继站的数目将决定于线路的传输距离。在每个站上设置许多复杂的设备，包括微波收发信机，天线及馈线设备，电源及辅助设备等。对于要“加上”或“取下”话路(或电视)的站，还应设置相应的复用设备。

在微波中继通信线路上可以传输多路电话及电视节目。为了提高通信容量并节省设备，通常在一条线路上配置几个“高频波道”。每一个高频波道本身就是一个完整的传输系统，它有独立的射频及相应的设备。我国现已投入使用的 960 路微波设备包括有 6 个高频波道，每一个高频波道可以传输 960 路电话或一路彩色电视节目。各个高频波道之间有一定的频率间隙以防止互相干扰。从设备上，每个高频波道是由一连串的收发信机等组成，如图 1-1 所示。各高频波道的发射机所输出的信号经过相应滤波网络(称为分路滤波器)加到同一副天线上辐射出去。图中共有  $N$  个高频波道， $T$  表示微波发射机， $R$  是微波收信机， $F$  表示相应的分路滤波器。对于同一个方向，每一个站上可安装一副发射天线及一副接收天线，也可共用一副天线兼作发射及接收之用。如果是共用一副天线，就应采用不同的电波极化方式，用极化分离器把收、发信号分开。

对微波中继通信设备的电气性能及结构性能有很严格的要求，这是为了保证整个系统有好的质量指标及可靠性。微波中继线路上的发信机功率不太大(约几瓦)，所以接收机要有很高的灵敏度和很小的固有噪声电平。为了降低串音，无论是发信机还是接收机都要有好的频率特性及小的非线性失真。对于频率失真可以用均衡网络来校正。非线性失真主要是由调制器与解调器的非线性特性所产生，因此要减少非线性失真必须减小这两个部件的非线性。为了使失真限制在允许的范围之内，在系统设计上采取配置几个高频波道的

办法，使每个高频波道的相对带宽不至于太宽，以确保调制设备、放大设备工作在线性区域。

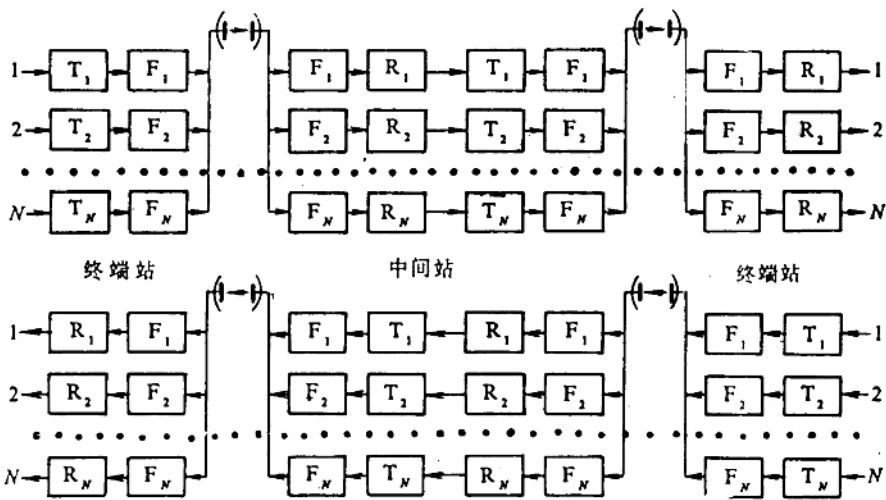


图 1-1 由  $N$  个高频波道组成的微波中继系统

在微波中继通信线路上的各站里既有发射设备，又有接收设备，它们被安装在同一个机架上。发、收的信号电平相差悬殊，为了防止回授干扰，即避免发射的信号被本机架的收信机接收到，收信和发信频率应当不相同。当然，每个中继站均可选择不同的频率，但这样会使系统占的频带太宽。实际上，微波波段的电磁波通常是在视距内传播的，超视距时信号就很微弱了，越站干扰(Over-reach Interference)是很小的。因此，可以每隔一站重复使用某一个射频频率，在整个线路上只需两个频率即可，这称为“二频制”，如图 1-2 所示。对于其中某一个站来讲，同时向两个方向进行发射和接收，该站的两部收信机工作

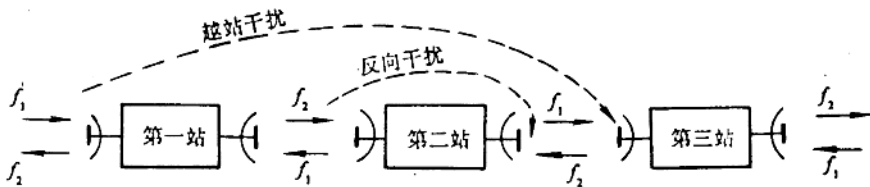


图 1-2 二频制频率配置

在相同频率；两部发信机则工作在另一个频率。相同电平级的信号具有相同的频率，而收、发频率之间保证有一定的频率间隔，这样就抑制了回授干扰。二频制的优点是所占的频带较窄，所以在多波道的系统中常采用二频制。其缺点是某个方向的收信天线可能会收到从相反方向来的信号，如图 1-2 中的虚线所示，第一站向第二站发射信号的频率为  $f_2$ ，第二站右边的天线应当接收第三站发射来的信号，其频率也是  $f_2$ 。实际上，第二站的左、右向两副天线是安装在同一个天线塔上的，如果右边天线的反向防卫度不够高，那么就可能收到从第一站来的信号而引起干扰。为了减少这种干扰，要求天线具有很高的天线背向防卫度(Back to Back Directivity Separation of Antenna)，使反方向来的信号比

正方向来的信号衰减 70 dB 左右，但这种方法不能消除由天线附近的建筑物、山丘等的反射所引起的反方向干扰，因此，在选择每个中继站位置时应仔细观察周围的环境，这是很重要的。

除了二频制以外，还有一个办法是采用“四频制”。所谓四频制就是在一个中继站上采用四个不同的频率，它们分别被用于前、后两个方向的收、发信机，每隔一个站四个频率又重复使用一次，如图 1-3 所示。由于前向、后向接收到的信号之间有一个频率差，所以可避免反向干扰，对天线的反向防卫度的要求也可以降低些。这种方案的缺点是所占用的频带比二频制的频带宽。另外，由于地形及传输条件的关系，在线路上可能会产生越站干扰。

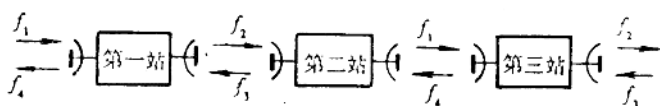


图 1-3 四频制频率配置

### 三、多路电话信号的复用及基带

#### (一) 概述

普通的单路电话线路只能传输一路语音信号。这种线路很不经济，特别是远距离传输时线路的造价很高，仅传输一路信号显然是很浪费的。复用就是使多路信号能同时在一路线路上传输，以提高经济效益。

线路的复用是通过专门的复用设备实现的，这种设备被称为终端设备。不同的复用方式，不仅对终端设备的要求不一样，而且对整个通信系统的性能要求也不一样。微波中继通信的复用有两种方式：频分复用(Frequency Division Multiplex, 简称 FDM)和时分复用(Time Division Multiplex, 简称 TDM)。频分复用技术是借助于频谱搬移技术按一定规律将各路语音信号的频谱互相错开，顺序排列，组成一个宽频谱的综合信号，实现多路信号同时传送。而时分复用是使每路信号在时域内分别占用不同的时间间隔，以实现多路信号的同时传送。

目前使用的载波机主要是采用频分复用的方式，而在微波中继通信系统中为了便于与有线传输接口、有利于有线与无线的转接，就直接采用各种载波机的程式来组成频分复用的终端设备。对于时分复用的中继通信要用专门的脉冲调制终端设备。关于脉冲调制的问题将在第六章阐述。

频分复用的微波中继通信线路的方框图示于图 1-4。各路的话音信号电流被送入到

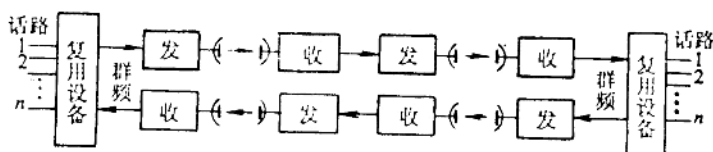


图 1-4 复用的微波中继线路

设置在长途电话局里的载波机(终端设备)中组合成综合信号,称为群频信号,再用这个群频信号去调制高频振荡。在线路的接收端,这个高频信号被检波而恢复出群频信号,再经过终端设备(载波机)把群频信号分成各路话音信号送到用户。在频分复用的微波中继通信线路上使用的微波收发信机通常采用调频制(FM),即把群频信号对高频信号进行频率调制。因为这种调制方式具有较好的抗噪声性能,使系统的输出信噪比增大,提高了传输质量。在时分复用方式中,由于所采用的脉冲编码调制(PCM)系统本身已有了较好的抗干扰能力,所以对高频的调制采用振幅调制。如果再用频率调制的话,则所占的频带就太宽了。

(二) 频分复用原理

能够实现频分复用的基本根据是:

- ① 利用变频器对信号进行频谱的搬移;
- ② 利用滤波器对不同频率的信号进行分隔。

频分复用的原理可以用图 1-5 来说明。有  $n$  条话路  $S_1, S_2, \dots, S_n$  分别送入振幅调制器  $M_1, M_2, \dots, M_n$  而得到调幅信号。我们安排每一个调制器的载频是不相等的,它

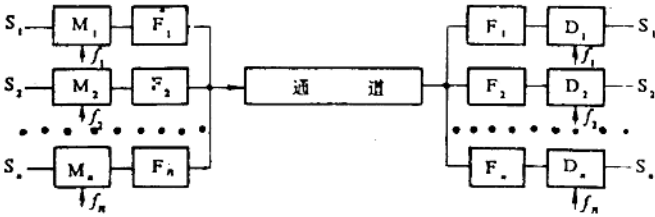


图 1-5 实现频分复用的方框图

们依次排列在频率轴上,互相间有一定的频率间隔。所得的各调幅信号分别通过带通滤波器  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , 这些带通滤波器只让调幅信号的下边带通过,而滤除其上边带及副载频  $f_1, f_2, \dots, f_n$ 。然后,把各个下边带滤波器的输出信号相加,便可得到一个综合信号,即群频信号。这个群频信号经通道传输到达接收端,使用与发端相对应的手段对该信号进行滤波分离,分别取出各路的下边带信号。最后,在各单边带解调器  $D_1, D_2, \dots, D_n$  上分别注入副载频信号  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , 于是可恢复得到各路的话音信号。各路话音信号之所以能顺从地进行频谱搬移、合并,又分离成各话路,其关键是各部件的工作频率要很准。对收发两端滤波器的特性应有严格的要求,否则就会产生频率失真。更为重要的是收发两端的副载频必须频差极小,如果它们的频差超过 50 Hz,就会引起严重的失真。采用单边带调制的目的是节省频带,减少干扰。至于滤除上边带还是下边带并无原则区别。但因为采用下边带传输可以充分利用设备的频带,所以载波机本身一律采用下边带传输。其频谱示于图 1-6。其中,图(a)表示一般的调幅信号频谱;图(b)表示下边带频谱。为了

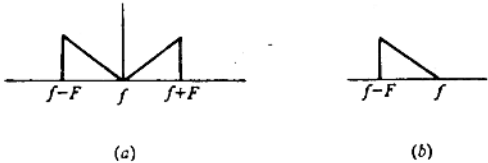


图 1-6 调幅信号频谱表示法

为了

便于分清调制信号高低频分量的位置，用三角形的长直角边表示频率轴，用三角形的短直角边表示高调制频率的谱。

### (三) 基带信号组成

#### 1. 基群信号的组成

载波机的型号、规格已标准化、系统化。在干线通信线路中，载波机的系列是以 12 路信号的综合作为一个基本群信号，称为基群。两个基群就构成 24 路，五个基群构成 60 路，依此类推，可有 120 路、300 路、600 路、960 路、1800 路载波机等。

现在来分析 12 路载波机的信号频谱关系。为了便于理解，用图 1-7 说明，图中的 12 个话路信号各自通过低通滤波器，把频谱限定在 0.3~0.4 kHz 之内。副载波频率分别选为 64、68、72、76、80、84、88、92、96、100、104、108 kHz。调制以后取出每一路的下边带，12 路的下边带合起来得到从 60~108 kHz 宽的群频信号，即基群，又称 12 路组。为了

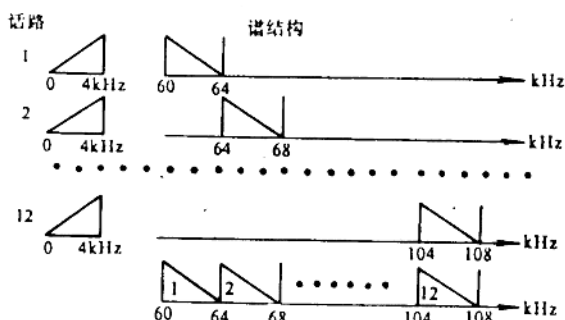


图 1-7 12 路载波机信号谱结构

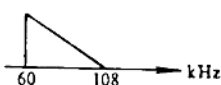


图 1-8 一个基群的频谱

简化讨论，把基群信号用一个符号表示，如图 1-8 所示。在图 1-9 里示出了实现 12 路组信号谱结构的简单方框图。这是第一路的方框图，其他 11 路与此相仿，只是将副载波频率及带通滤波器的频率作相应变动即可。输入端的话路信号经差分电路进入调制器，差分电路对于从接收支路过来的信号有很大的衰减，使收发总回路不会产生振鸣。语音信

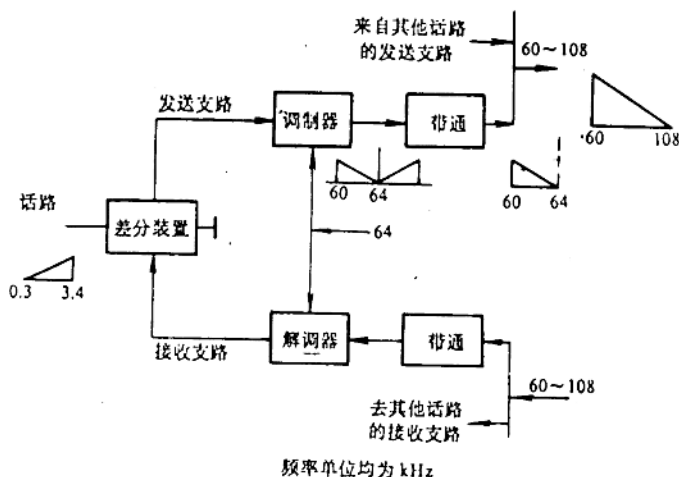


图 1-9 实现 12 路组信号谱结构的简单方框图

号经过调制器，取出下边带，再与来自其他话路发送支路的下边带相合，即得 12 路组信号。话路的调制器与解调器共用一个振荡器供给副载波。用谐波振荡器产生 4 kHz 倍数的相应副载波。取出下边带的带通滤波器通常是用晶体滤波器来实现的，它的特性陡峭，能保证区分开各个话路。因为晶体滤波器结构上的限制，它的截止频率不能低于 50~60 kHz，因而就决定了基群信号的最低频率不得低于 60 kHz，也就限制了 12 路组的工作频带。

## 2. 24 路组信号的组成

如果用一个 120 kHz 的振荡信号与基群进行群频率变换，就可得到 12~60 kHz 的另一个 12 路组，再与原来的基群相合即得 24 路组信号。12~60 kHz 的 12 路组信号可由图

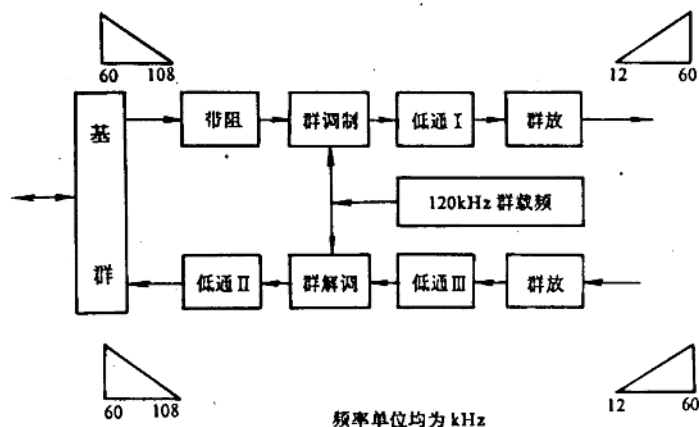


图 1-10 12~60kHz 群信号的获得

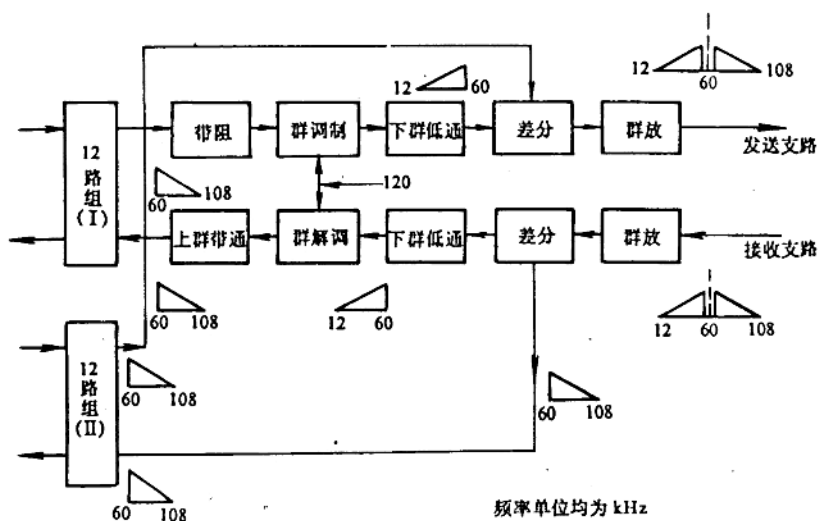


图 1-11 24 路组设备的构成原理



1-10 所示的方案获得。60~108 kHz 的基群经过带阻滤波器加在群调制器上，与 120 kHz 的群载频信号进行群变频得到 12~60 kHz 的群信号。低通 I 用以滤除 60 kHz 以上的分量，带阻滤波器的作用是滤除 120 kHz 群载频振荡的反向泄漏。低通 II 是保证 60~108 kHz 的基群通过。低通 III 的作用是让 12~60 kHz 的群信号通过，而抑制掉 180~228 kHz 的镜像干扰频带。所谓镜像干扰是 120 kHz 的群载频与 60~108 kHz 的基群产生的和频所形成的干扰。

图 1-11 所示的方框图，表示出将基群与 12~60 kHz 群信号相加即得 24 路的群信号。图中用两个标准的 12 路组直接得到 24 路输出，各部分的功能一目了然，不再赘述。

### 3. 高路组的组成

采取与上述相类似的方法，对基群进行第二次群变频，就可得路数更多的群信号，从而得到高路组输出。现在通用的标准是对五个基群进行组合，得 60 路组，称为超群。图 1-12 表示一个超群设备发送支路的构成原理。五个基群信号分别被副载频 420、468、516、564、612 kHz 所调制，在群调制器的输出端经过带通滤波器  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$  分别取出 312~360、360~408、408~456、456~504、504~552 kHz 的频带信号。整个设备的输出为 312~552 kHz 的 60 路群信号。

关于接收支路的构成，与发送支路相似，只要将群调制器改为群解调器即可。

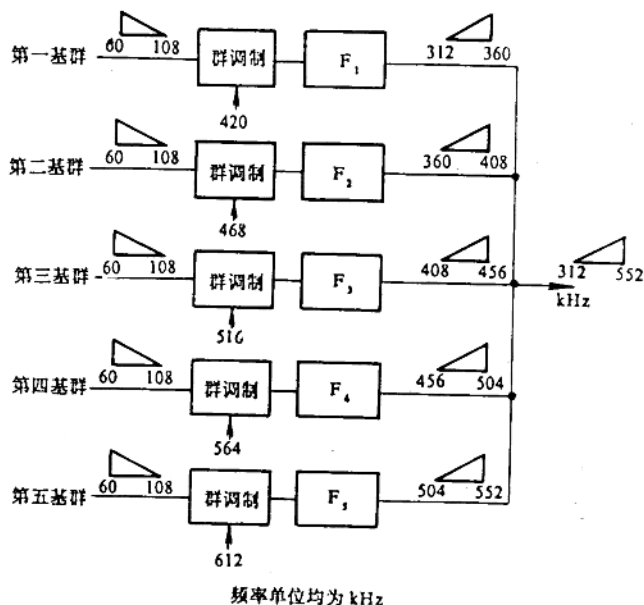


图 1-12 超群发送支路构成原理

利用超群信号的组合还可以得到路数更多的路组，称为主群。图 1-13 是获得 960 路信号的发送支路原理图。960 路是 16 个超群组合成的主群。超群信号的频带是从 312~552 kHz，而为了充分利用频带，在 312 kHz 以下再安插一个超群。这 16 组群信号除去第二组之外，其他 15 组要再经过一次群调制，取出下边带。15 个超群副载频分别为 612、1116、1364、1612、1860、2108、2356、2604、2852、3100、3348、3596、3844、