

成都工学院图书馆

292Y38

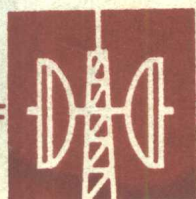
基本馆藏

高等学校教学用书

无线电中继通信及设备

原编者：北京邮电学院微波教研组

审校者：邮电学院无线电中继通信及设备教材选编组



人民邮电出版社



高等学校教学用书

无綫电中继通信及設備

原編者：北京邮电学院微波教研組

审校者：邮电学院无綫电中继通信
及設備教材选編組

人民邮电出版社

1962

无线电中继通信及设备

原編者: 北京邮电学院微波教研組

审校者: 邮电学院无线电中继通信及设备教材选編組

出版者: 人民邮电出版社

北京东四六条13号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第〇四八号)

印刷者: 北京印刷厂

发行者: 新华书店

开本 850×1168 1/32

印张 6 20/32 頁数 212

印刷字数 176,000字

1962年3月北京第一版

1962年3月北京第一次印刷

印数 1-4,150册

統一书号: K15045·总1273-无331

定价: (10)0.97元

序 言

在我国经济建设飞跃发展的情况下，邮电通信事业也在迅速地发展着。新的通信设备在大量增加。无线电中继通信路数多、通信质量高、灵活性大、建设费用低，与电缆、明线通信相比较，可以节省大量的金属和建设时间。由于有了这样一些优点，所以无线电中继通信在无线电通信上成为重要的工具之一，并有较广泛的应用，同时，它的发展也相当迅速。因此，不仅是无线电专业人员，就是有线通信工作人员，也常有机会接触这类设备，因而也需要对这种通信系统与设备有一个基本的了解，以适应国家邮电事业发展的情况，所以，在有线通信专业方面，建立了“无线电中继通信及设备”这一课程。这一课程的目的，是对有线通信这类专业的学生，介绍无线电中继通信系统及其设备的基本原理。本书就是为这门课程编写的教材。

本书共七章。其中包括：无线电中继系统概述、微波振荡器与放大器、微波发送设备、微波接收设备、微波天线设备、无线电中继通信线路的计算、无线电中继通信线路设备的基本测量等。本书着重阐明无线电中继通信系统的基本特点，微波振荡器与放大器的基本原理与特点，微波收发信机的部件原理、要求及其特点，无线电中继通信常用的几种微波天线的基本结构与特点，无线电中继通信线路的选择与计算的基本原则，无线电中继通信系统测量的要求与基本方法。因照顾到实际教学的需要，书中着重在一些基本原理、基本概念及基本部件的说明和介绍，而不作更具体深入的分析。对设计和运算方面也较少作更深入的介绍，这样使学生在不长的学时内就能掌握无线电中继通信系统的特点及部件的工作原理，以便担任一些简单的中继通信设备的维护工作。

本书是在北京邮电学院无线系教师集体编写的“微波中继通信”等课程讲义的基础上，加以整理、修改而成的，其内容取材的深浅

尺度是以学生具备有初步无线电技术以及微波技术基础知识再学习此課程来考虑的。

参加本书編写工作的有北京邮电学院教师吳彝尊、李澤民、王惠功、史月华等同志。

参加审核教材选編組的成員是北京邮电学院教师吳彝尊、李澤民和南京邮电学院教师张怀来等同志。

参加本书繪图、繕稿及校对等工作的有北京邮电学院工程画教研組教师的一部分同学。参加本书校对工作的有北京邮电工业学校部分同学。

由于時間匆忙，这門課程也是新設，经验很少，本书內容难免有不够妥善，甚至錯誤之处。希望讀者特别是使用本书的教师和同学积极提出批評和改进意見，以便以后修改和提高。

1961年10月

內 容 提 要

无线电中继通信是现代化的新型的通信方式，应用广泛，为使大多数通信工作人员了解这方面的技术，在我国邮电高等院校中除无线电专业科系有专门课程讲授外，在有线通信专业方面亦设有“无线电中继通信及设备”课程，其目的是对有线通信专业学生介绍无线电中继通信的基本内容及基本设备。

本书包括：无线电中继通信系统概述、微波振荡器与放大器、微波发送设备、微波接收设备、微波天线设备、无线电中继线路的计算及无线电中继线路的基本测试等七章。

本书主要适用作高等学校有线通信专业教学用书，亦可供一般工程技术人员参考。

目 录

序言

第一章 无线电中继通信系统概述	1
§1.1 中继通信的频段和频率使用	3
§1.2 频率分割多路通信原理	6
§1.3 时间分割多路通信原理	7
§1.4 微波通信发展远景	9
第二章 微波振荡器与放大器	10
§2.1 微波三极管	14
§2.2 速调管	20
§2.3 磁控管	29
§2.4 行波管	37
第三章 微波发送设备	41
§3.1 微波调频制发送设备的基本要求和基本结构	41
§3.2 中继站的方框图	47
§3.3 调制器	52
§3.4 微波发送的载频	60
§3.5 混频器	67
§3.6 时间分割多路通信	70
第四章 微波接收设备	87
§4.1 微波接收设备的基本特点	87
§4.2 输入设备	96
§4.3 超高频放大器	99
§4.4 变频器	107
§4.5 宽频带中频放大器	123
§4.6 频率检波器(鉴频器)及限幅器	136
§4.7 脉冲检波器和信号放大器	141
§4.8 无线电接收设备的自动控制	144

第五章 微波天线设备	148
§5.1 天线的主要参数	148
§5.2 喇叭天线	152
§5.3 抛物面天线	160
§5.4 喇叭—抛物面天线	166
§5.5 潜望镜天线	167
第六章 无线电中继线路的计算	170
§6.1 超短波传播的几个问题	170
§6.2 噪声标准及确定天线高度与站距的主要依据 $V_{\text{мин}}$ 与 S	180
§6.3 天线高度与站间距离的确定	185
第七章 无线电中继线路设备的基本测量	192
§7.1 测试的性质与任务	192
§7.2 群路系统的特性测试	193
§7.3 设备主要参数的测量	197

第一章 無線電中繼通信系統概述

在1930年前一般使用頻率低於30兆赫的無線電波通信，這就是常用的**中短波通信**；而在1940年前使用頻率也還在30兆赫到300兆赫範圍的**米波波段**，以後由於通信需要逐漸發展到**微波波段**。微波波段範圍目前尚無嚴格規定，一般理解為頻率高於300兆赫（波長比1米短）的電磁波範圍，它又可分為**分米波**（300到3,000兆赫，波長為10到100厘米）、**厘米波**（3,000到30,000兆赫，波長為1厘米到10厘米）、**毫米波**（30,000到300,000兆赫，波長為1毫米到1厘米）。其中分米波及厘米波已成功地用於微波通信，而毫米波正式用在通信方面還沒有實現，目前正在努力研究中，這就是所謂**遠距離波導通信**研究的範圍。**無線電中繼通信**一般都工作在微波波段，因此我們常常稱為**微波中繼通信**（本書所敘述範圍也是基本上限於微波波段，所以也常引用“微波中繼通”這一名詞）。

與中短波相較，微波中繼通信的特點是波長用得很短，在這樣短的波長情況下，只能在視線距離內進行通信，因而不能象中短波那樣在幾千公里的範圍內進行通信，一般情況下由於微波傳播的特點，微波通信範圍只能在幾十公里以內，進行遠距離通信必須採用轉發的方式，設立**中繼站**，把信號接收下來放大後再發射出去，即用“接力”方式進行通信信號的傳輸，這樣才能使通信距離達到很遠，這也就是一般稱為**中繼通信**的原因。

目前，微波中繼通信發展很快，這是因為與中短波通信相較，它有下列突出的優點：

一、大大擴大了可利用的頻段。由於通信的需要，原來的中短波波段已很不夠用，擴展到微波波段則可利用的波段大大增加，例如由1厘米到1米波段其可利用頻寬為29,970兆赫；而一般中短波通信則為10到30,000米，其可利用的頻寬僅為29.99兆赫。由此可見，以往所用波段加起來也不過1厘米到1米波段的千分之一左右，這

里我們還沒有考慮毫米波段，由此可見，微波通信在這方面優點如何巨大。

二、可以作多路電話通信與電視節目的傳播。一般多路通信及電視傳播的頻譜是很寬的，例如電視通信的頻譜可達到6兆赫左右，這在中短波來說，傳送這類信號是不可能的，因為在接收與發送的振盪回路頻寬只是載波頻率的一個很小部分時，發送和接收的放大及選頻才能有效。例如在短波廣播情況下，回路的頻寬不過是載波頻率的千分之一或百分之一的數量級，當信號頻譜大大超過這個數值時，振盪回路是很難作到既能保證頻寬又能保證所需的回路阻抗並起選頻等作用的。這是因為微波頻率很高，一般回路頻寬很容易達到要求。例如在3,000兆赫的百分之一就是30兆赫，完全可能滿足電視的頻帶要求，因此微波波段的利用使得多路電話通信和電視的傳輸才成為可能（或者使其更方便有效）。

三、外界干擾小。工業、雷電、磁暴、太陽黑子等干擾的頻譜所占的頻率範圍對微波講是不大的，30兆赫以下較強，高於30兆赫時隨頻率的升高而逐漸減弱，實驗證明當頻率高於120兆赫時即可認為沒有外界干擾；在微波通信中干擾的主要來源則是微波機件設備本身。

四、電波傳播過程中氣候影響小，通信較穩定。由於微波是在視線距離內傳播，站與站間距離較近，可以建立受氣候影響小，衰落不嚴重的無線電通信線路；而在短波則常發生信號時強時弱的衰落現象。

五、可用尺寸較小的天線進行定向通信，從而發射機的功率可以較小。為了使天線輻射電磁波的效率高和方向性強，天線尺寸必須為波長的數量級大小，而其尺寸與波長相較愈大，其方向性愈強。微波波長很短，因此天線尺寸不需很大就可以得到強方向性。

六、與有線電纜通信比較在經濟上有較突出的優點。微波中繼通信，因除機器設備外不需再架設電纜等，而微波中繼站站間距離一般（約每隔50—60公里）比有線電纜中繼站距離（約每隔20公里）

长,因而可节省不少设备,尤其是能节省大量的有色金属和电缆的敷設費用,因而在线路建設上来讲是比较经济得多的。尤其是在山区、湖沼、江河地带架設电缆困难的地区,微波中继通信更比有线电缆适宜。

但是較之电缆通信它的缺点是设备較复杂,保密性差。此外,电缆通信可用电缆本身传送设备所需电源,而微波中继站則必須自备电源,在设备上是比较复杂的,因此微波中继通信与电缆通信还是互相輔助的两种通信方式,不过也必須指出,微波中继通信发展异常迅速,它的缺点是在不断克服中的,而优点則甚为突出,因而就其发展来看,仍是一种很重要的通信方式。

§1.1 中继通信的频段和頻率使用

微波波段一般是指比300兆赫高的波段,但在这个寬闊的波段中,有些频段为雷达、流动电台、业余电台及其他通信目的占用,用于邮电通信的以下列三个頻带为主:

1,700—2,300兆赫 (在分米波波段內),

3,600—4,200兆赫 (在厘米波波段內),

6,900—7,400兆赫 (在厘米波波段內)。

以上三个频段是国际上通用的频段。因为頻率較低时天线尺寸大,增益小和通信电路容納的路数少 (这是因为路数愈多,頻寬愈寬),而頻率較高时大气中的水气吸收电磁波能較大,所以上列頻率較高和較低的频段使用不多 (最近也有用到10,000兆赫的)。实际上选用波段,以需要容納的路数为主要依据。一般当路数少于60路用1,700—2,300兆赫这个频段,而当路数多于240路用3,600—4,200兆赫这个频段。

为了利用微波作远距离通信用,常采用“接力”轉发方法,在电路中途需加設中继站,微波中继通信电路的构成如图1.1方框图所示。

图1.1中 OC_1 与 OC_2 表示終端站,它由**发射机、接收机**等 (其

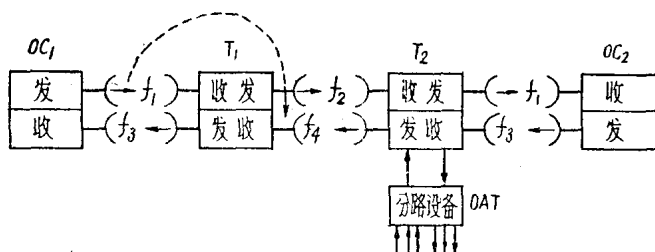


图1.1 四频制通信电路

他设备如复用设备等图中未表示)组成。 T_1 与 T_2 是**中继站**，包括两部发射机、两部接收机。 T_1 是起放大和转发信号作用的一般中继站； T_2 则尚可分出和加入话路，所以叫做**枢纽中继站**(或叫总站)，图中 OAT 是这类站的**分路设备**。

图 1.1 所示的中继通信电路中，每个站都需用四个频率，每两个方向各用两个不同的频率，这是为防止中继站接收本身所发生信号也就是阻止向对方传送的信号又传回来(如图中虚线箭头所示的情况)这种情况叫做**反馈现象**。在一个中继站上用四个频率的这种方方法称为**四频制**。

当中继站上的天线防护度较高，反馈现象的影响很轻微时，中继站上接收和发射各用 1 个频率即可，这就是说一个中继站只用两个频率，这种方法称为**二频制**(如图 1.2 所示)。

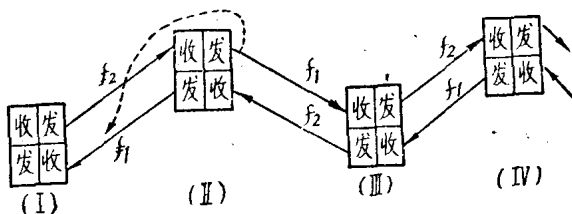


图1.2 二频制通信电路

所谓**天线防护度**简单来说可认为是天线正方向传送功率和天线反向传送功率之比。由此可见，当防护度很大时，图上虚线所示的

反向传送的功率就很少了，这样就不致引起反饋現象，因此可用二頻制。

由图1.2也可見，各个站不能設置在一条直线上，而要彼此錯开。这样設置的原因是：若各中继站在一直线上时，一般情况下虽（I）、（IV）两站相距很远，（I）站的信号传不到（IV）站，但因为有折射現象，偶然也有可能傳輸到（IV）站。此时（I）站信号与（III）站信号一同到达（IV）站，而且頻率相同，因之会形成同相相加，反相相减产生忽高忽低的衰落現象。若将站錯开一些不在一直线上，則（I）站电波传到（IV）站的可能性就小得多，这种妨碍就会很小了。这种中继站位置的措施，不仅在二頻制需要，即在四頻制亦同样需要。

中继站上若每个方向只有一部接收机和一部发射机，每部发射机和接收机单独使用一付天线这是最简单的情況。但一个方向只有一部发射机与一部接收机有时不能满足通信量的需要，所以現在有些微波中继站上每个方向的接收机和发射机有达6部之多。因天线造价昂貴，若每一套設備单独使用一付天线太不经济，但各套接收机与发射机之間工作頻率不同，故可合用一付天线（如图1.3所示）。

此时必需用波道滤波器

把各个高频信号分开，

这种情况称为**多群通信**。

例如一个群为600

路，則6个群总通信路

数达3,600路，为了进一步

经济利用天线，一个

方向的收和发合用一付

天线，为此終端站只要

一付天线，每个中继站

只要两付天线。

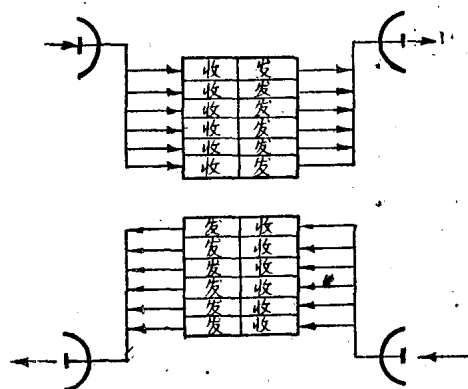


图1.3 多群通信站示意图

多群通信中，接收机和发送机之間所用頻率相差較远，例如常

使用收、发频率相差213兆赫。而同一组的收信机与收信机之间或发信机与发信机之间则相差较近，例如相差29兆赫。

§1.2 频率分割（频率复用）多路通信原理

多路通信就是在一条电路上同时传送很多消息，或者有很多人共用一条电路同时通话而没有干扰，这种在通信电路上同时进行多路通信的方法称为**通信电路的复用**，而就电路的划分讲又称为**通信电路的分割**。通信电路分割的方式有两种：一种是不同话路的消息信号，用不同频率传送的方法称为**频率分割法**；一种是不同话路的消息信号按不同的时间划分次序传送的方法，称为**时间分割法**。由于电路的分割在另一个意义上讲又是电路的重复运用，故以上两分割法又常分别称为**频率复用**及**时间复用**。分割（复用）的条件是要在接收端把各路消息单独分离出来，而相互间没有干扰。频率分割（复用）法是60路以上的微波多路通信机最广泛采用的方法，这种分割（复用）设备就是有线通信用的载波机。

人类的语言频谱（约为300赫到3,400赫）大体都是一样的（如图1.4 (a) 所示）。在载波机内利用单边带调制抑制载频（现在被

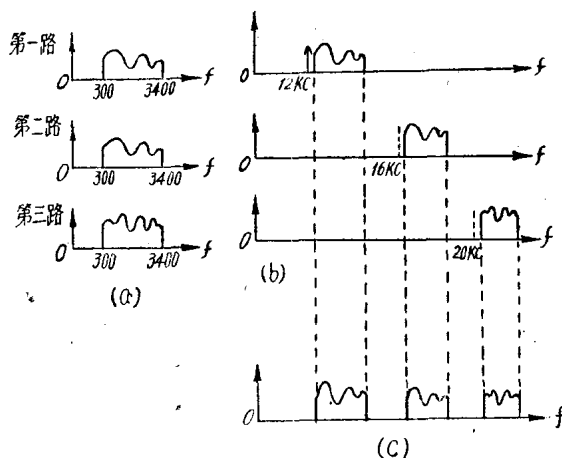


图1.4 各路语言频谱及移频后的频谱

調制載頻称为付載頻) 的办法把各話路語言頻譜移到不同的頻率范围内, 因此各路信号的頻率就不同了。

現在以三路为例, 設三路的付載頻各为12千赫, 16千赫, 20千赫, 并設单边帶調制后取上边帶, 則各語言頻譜移到下列各范围内見图1.4 (b)。

第一路: 12.3——15.4千赫

第二路: 16.3——19.4千赫

第三路: 20.3——23.4千赫

然后把頻率已经不同的信号合为一个总信号, 称为**线路信号** (如图1.4 (c) 所示), 加在**群放大器**上, 经过放大后再去調制高频发射机。线路信号調制高频发射机的方法在微波中多采用**調頻制**, 因为这种調制方式抗干扰性較强。

在接收端, 高频信号经过检波后在检波器輸出端得到线路信号, 如图1.4 (b) 所示, 然后经过带通滤波器把各路信号分离出来, 并经过检波后得到原来的消息。

由上面的簡單介紹可知: 在接收端经历了两次检波, 第一次检波线路信号, 第二次检波得各話路的消息信号。

在发送端, 为了移动各路語言信号頻譜所占頻段范围, 調幅、調頻、調相、单边帶調制等方式均可应用。线路信号調制发射机的方式也可用調頻、調幅、調相、单边帶調制等方式, 至于調制方法的选用, 則視对抗干扰及容納电路的数量要求决定。一般因为单边帶頻帶窄, 电路容量較大, 第一次調制用单边帶調制; 而因調頻制抗干扰性强, 故第二次調制用調頻。

§1.3 時間分割多路通信原理

在時間分割 (或時間复用) 多路通信系統中是把信号化为一定数目間断的脉冲发送, 然后在一路信号脉冲的間隔中发送另一路的信号脉冲, 在发信設備上系不断发出脉冲。这些脉冲中, 有的脉冲是代表某一路信号, 有的脉冲是代表另一路信号, 在收信端再把这

些脉冲按不同路数分开，然后再把它还原成原来信号，这样就起了在一套设备上作多路通信的作用，也就是把连续信号进行分割，化作时间上有间隔的脉冲信号来达到设备复用的目的，因此称为**时间分割（或时间复用）多路通信**。

以上所述原理可用图 1.5 来表明（为了表示方便起见图中只画出两路信号）。

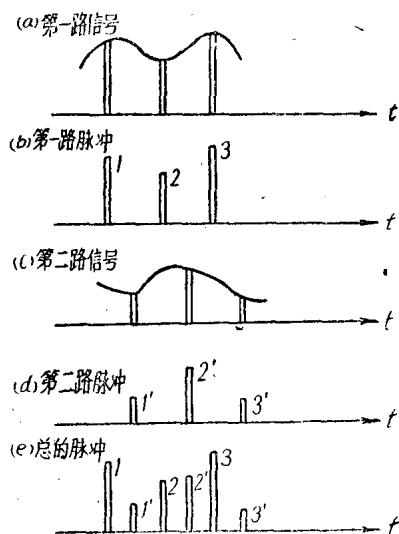


图1.5 脉冲多路通信原理示意图

图 1.5 (a)、(b) 表示第一路信号，及其按信号形状分出的代表脉冲序列；图 1.5 (c)、(d) 表示第二路信号及其代表脉冲序列；图 1.5 (e) 即两路脉冲序列加在一道的**总脉冲序列**。这个发送出去的总脉冲序列，代表两路信号，在接收端把总脉冲序列再分成 1、2、3 与 1'、2'、3' 脉冲序列，即能相应地恢复原来信号。

关于连续信号转变为脉冲信号的规律，原理及其相应的线路设备原理都将在以下

某些章节内介绍。这里仅简略叙述这种多路通信的原理。图 1.5 中是用脉冲幅度变化情况来表示信号的变化情况，称为**脉冲调幅**。也可用脉冲相位变化，或者宽度的变化等来代表信号的变化，分别称为**脉冲相位调制**或者**脉冲宽度调制**等，详细情况将在以后章节中介绍。

图 1.5 所示情况是把信号化为调制的脉冲序列，称为**第一次脉冲调制**，或者称为**脉冲预调制**；把这种脉冲再去调制高频，转换为高频振荡的脉冲，称为**第二次脉冲调制**，或者称**脉冲高频调制**。在

一般情况下,脉冲高频调制是较简单的,它只把脉冲转化为脉冲高频振荡;而在脉冲预调制就有着各种不同的调制方式。

利用脉冲调制时间分割话路方法的多路通信是目前常用的微波多路通信重要方式之一,但是目前实用只用到24路(最高可达到60路)。这是因为路数再高所用脉冲必须很窄,因而频带会很宽,在技术上这种窄脉冲所带来的困难也很大,所以目前一般时间分割制多路通信容量少,不宜用在电路需要极多的干线通信上。

然而,时间分割脉冲调制也有它的优点:设备简单,在中間站容易分路,因此适用于路数少,要求分路灵活的地方,为省内通信、大企业专用通信、山区湖泊适合的通信方式。在武装部队中有时也宜采用这种通信方式。

§1.4 微波通信发展远景

微波通信的发展趋势主要有以下几个方面:

在频率方面,使用波长更短,频率更高的波段,如使用毫米波,及红外线通信。

在路数方面,通信电路容纳的路数继续增多,一条电路可容纳几千路电话。

在传输方式方面,除了利用电磁波在空间传输外,还可利用波导传输。其优点是传输过程中损失小,电路容量可以大大增加,估计可容纳十万路以上的电话,此外已经实现的还有米波和厘米波的散射通信。它的优点是站与站之间的距离大,缺点是发射功率需要强。

在调制方式方面,使用脉冲编码调制,其优点是:抗干扰性最强,传送距离可认为是无限制。

在使用元件方面,可使用内部噪声小,甚至可以认为没有内部噪声的元件,如低噪声行波管、参量放大器、量子放大器等。