

*Shuzi Weibo Tongxin zhong de
Weibo Tiaoxiangqi*

数字微波通信中 的微波调相器

李 玲 张金菊 编著

人 民 邮 电 出 版 社

73-45992
251

数字微波通信中的 微波调相器

李 玲 张金菊 编著



人民邮电出版社

1109938

内 容 简 介

本书讲微波数字通信所用微波调相器的工作原理及设计方法。全书共分七章，包括微波调相器的基本原理、调相二极管、微带调相器、波导调相器、调相器的设计及测试方法等主要内容。

本书可供有关工程技术人员及大专院校通信专业师生阅读参考。

数字微波通信中的微波调相器

李 玲 张金菊 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 1981年8月第 一 版

印张：8 24/32页数：140 1981年8月河北第一次印刷

字数：201 千字 印数：1—4,400 册

统一书号：15045·总2496—无6145

定价：0.91 元

DO40/04

前言

数字微波通信是近十几年发展起来的一种新型通信方式。它多采用相位调制，因而调相器是数字微波通信设备中的一个重要部件。本书以二相调相器为主，叙述微波调相器的工作原理、设计及测试方法。第一章简单介绍数字通信系统，目的是使部件设计人员对数字通信有一概括的了解。第二章介绍微波调相器中广泛使用的 *PIN* 开关二极管。第三章介绍微波调相器的一般工作原理。第四、五章分别讨论微带调相器和波导调相器。第六章叙述微波调相器的设计及测试方法，并附有设计例题。最后，在第七章，对四相调相器做了简单介绍。

本书初稿承清华大学姚彦同志详细审阅，提出过很多宝贵意见；北京邮电学院叶培大教授对本书的取材内容安排和写作方法曾作过详细的指示；在此表示衷心的感谢。

作者 1979. 11

目 录

第一章 数字通信与数字微波通信系统	(1)
第一节 什么是数字通信.....	(1)
第二节 数字通信的主要指标和特点.....	(7)
第三节 数字微波通信的调制及解调方式.....	(10)
第四节 数字微波通信系统信道机方框图.....	(30)
参考文献.....	(33)
第二章 调相开关二极管—PIN二极管	(34)
第一节 PIN二极管的一般工作原理	(35)
第二节 PIN二极管的主要参数和等效电路	(40)
第三节 PIN二极管的微波特性	(49)
第四节 PIN二极管的开关时间	(52)
参考文献.....	(58)
第三章 微波调相器原理	(59)
第一节 调相器的类别和指标.....	(60)
第二节 微波网络的散射矩阵.....	(67)
第三节 调相器原理.....	(80)
参考文献.....	(103)
第四章 微带型调相器	(105)
第一节 环行器型调相器.....	(105)
第二节 分功率器型调相器.....	(135)
第三节 开关线型调相器.....	(144)
第四节 微带调相器的偏置电路.....	(154)

参考文献.....	(158)
第五章 波导型调相器.....	(159)
第一节 波导二极管支架的分析.....	(159)
第二节 波导反射型调相器.....	(173)
第三节 波导开关线型调相器.....	(183)
第四节 波导调相器的偏置电路.....	(185)
参考文献.....	(191)
第六章 微波调相器的设计与测试.....	(193)
第一节 微波调相器的设计.....	(193)
第二节 微波调相器的测试.....	(221)
参考文献.....	(257)
第七章 四相制通信系统和四相调相器介绍.....	(258)
第一节 四相制和四相制通信系统.....	(258)
第二节 四相调相器的构成.....	(268)
参考文献.....	(275)

第一章 数字通信与数字微波 通信系统

微波相位调制器是数字微波通信设备中的一个重要部件。为了说明相位调制器的工作原理、性能要求及其在数字微波通信设备中的作用，有必要先对数字通信和数字微波通信系统作一个概括的介绍。为此，本章将扼要讲述数字通信的基本概念、数字微波通信设备的构成及数字微波通信中的调制和解调方法。

第一节 什么是数字通信

数字通信是从六十年代初期发展起来的一种新型通信方式。它和目前仍然广泛使用的模拟通信有显著的不同。

模拟通信中的信号在幅度上和时间上都是连续的。数字通信中的信号是脉冲序列，它在幅度和时间上都是不连续的和离散的。

在一定条件下，模拟信号可以数字化。模/数转换的方式方法很多，最常用的两种方法是脉冲编码调制（PCM）法和增量调制（ ΔM ）法。下面对PCM法作简单介绍，借以说明数字通信的基本原理。

图1-1是脉冲编码调制通信系统的原理图。在发送端，将待传送的模拟信号取样、量化、编码，变成二元数字信号，送到

传输系统（又称信道）去传输。在接收端，经过解码（与编码相反的过程），滤波（起平滑作用），将数字信号还原为模拟信号。

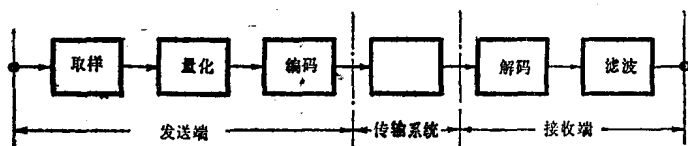


图 1-1 数字通信原理图

取样、量化、编码的过程如图1-2所示。

图1-2(a)中的 $S(t)$ 表示待传送的信息。它可以代表话

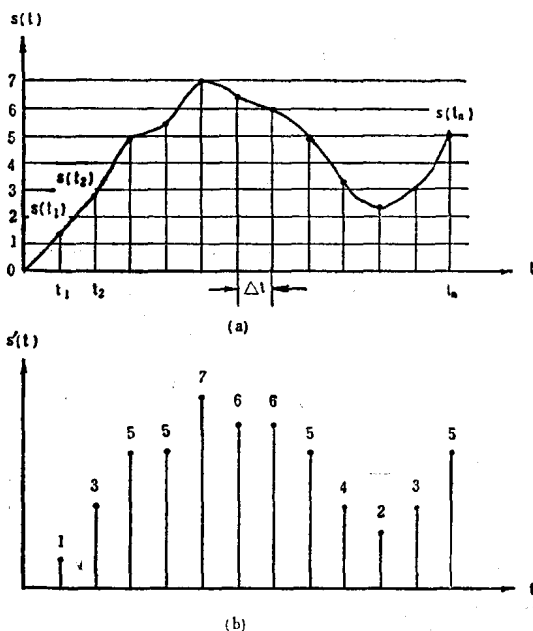


图 1-2 连续信号的数字化

(a)取样, (b)量化

音、图象或其他信息。这种信号叫做模拟信号，因为它（电流和电压）每时每刻都在模仿它所代表的信息，它的取值是无限多的和连续的；一般情况下，它在时间上也是连续的。

取样的过程是把模拟信号在时间上离散化。或者更具体地说，是要以有限个在时间上离散的样点值来代替无限多个在时间上连续的模拟信号值。例如在图 1-2(a) 中， $S(t)$ 为原来的模拟信号， $S(t_i)$ 为 t_i 时刻抽取的 $S(t)$ 的瞬时样点值。取样的时间间隔（或称取样周期）为 Δt ，取样频率为 $f = \frac{1}{\Delta t}$ ，即每秒钟取样的次数为 $\frac{1}{\Delta t}$ 。取样的作用，就是以每秒钟 $f = \frac{1}{\Delta t}$ 个 $S(t_i)$ 值来代表相应时段的 $S(t)$ 。我们希望在信道上以这样的速率传送 $S(t_i)$ ；接收端根据所收到的离散信号（假定在传输中没有失真），就完全可以恢复原来的 $S(t)$ 。为了达到这个目的， f 显然不能太小。那么， f 至少应当有多大，才能满足要求呢？

取样定理指出：一个连续变化的信号 $S(t)$ ，若其频带的最高频率为 f_m ，则为了正确地代表 $S(t)$ ，所需取样频率 $f \geq 2f_m$ 。换句话说，只要取样频率 $f \geq 2f_m$ ，则完全可以用取样后的离散信号 $S(t_i)$ 代表原来的连续信号 $S(t)$ ，而不会出现失真。倘若选用的 $f < 2f_m$ ，就会引起失真，通常称这种失真为折迭噪声。例如：一路话音的频谱通常用低通滤波器限制为 $300 \sim 3400\text{Hz}$ ，其 $f_m = 3400\text{Hz}$ ，根据取样定理，只要每隔 $\frac{1}{2 \times 3400}$ 秒传输其样点值，就能完全不失真地传输该话音。为了减小折迭噪声并使低通滤波器容易设计，目前规定的取样频率为 $f = 8000\text{Hz}$ 。一个电视信号的频谱范围为 $0 \sim 6\text{MHz}$ ， $f_m = 6\text{MHz}$ ，所以取样频率 f 至少应为 12MHz ，这个定理不仅是实现模拟信号数字化传输的前提，也是实现时分多路通信的前提。

模拟信号经过取样之后，在时间上离散化了，但在幅度上仍然是连续的。量化的作用就是进一步把模拟信号在幅度上离散化。量化的方法是把 $S(t)$ 的整个动态范围根据保真度要求分为若干层（对通信质量要求越高，层数就越多），每层用一个数值去代表。若信号落在两层之间，就用四舍五入的办法弃零取整，以最接近的层的数值来传输。这种“取整”的过程称为量化。例如在图1-2(a)中，将信号幅度分为8层，各层的取值依次为0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。在时刻 t_1 ，抽样值为1.3，则取为1；在时刻 t_2 ，抽样值为2.8，则取为3，如图1-2(b)所示。这里的0, 1, 2, ……7，即为原取样值 $S(t_i)$ 的量化值。因此量化的结果就完成了模/数转换，有多少量化层，就相当于有多少种数字信号。

用这种四舍五入的办法量化之后的信号，与原取样信号显然并不相同。这个差别叫做量化误差。它等于在每个 $S(t_i)$ 之上迭加了小的正值或负值，相当于一个附加的噪声，叫做量化噪声。为了减少量化噪声，可把量化层分得细一些。对话音来说，分为256层就可以有很好的通话质量。

量化这个环节，不仅是模/数转换不可缺少的一个环节，而且量化以后，只要噪声和失真不是太大，不致于将一个电平错为另一个电平，那么接收端收到一种数字信号后，就能正确地判定出来发送的是哪个量化值的数字信号，而将噪声和失真的影响去掉，这就大大提高了传输的抗干扰性。

经过上述取样和量化之后，模拟信号已经转化为数字信号，例如当把模拟信号分为256层时，信号将有256种电平，相当于256种数字信号。但是，直接传送这么多电平不同的数字信号是困难的，接收端要从收到的某种信号中肯定它是256种不同电平中的哪一个电平也是很容易出错的。因此有必要作进

一步处理,以达到可用极少数电平的数字信号的组合来代表256种数字信号的目的。这个以有限个符号或状态按一定规律来表示大量信号的方法叫做“编码”。

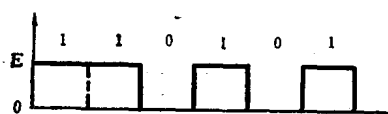


图 1-3 二进制

为了说明编码过程,需要先介绍一下数码的概念。通信中常用的数码是二进制(或二进制)。二

元码只有两种可取的状态,一为1状态,一为0状态。图1-3是用两种不同幅度的脉冲代表1、0两种状态的图形。1状态用幅度为 E 的脉冲代表;0状态用幅度为零的脉冲(即无脉冲)代表。图中每一位数码叫做一个码元。下面就以应用二进制来传送为例,说明编码的过程。

由于一位二进制本身只能有1、0两种状态,因而一位二进制只能代表两种状态的数字信号。但如将二进制的位数增多,其所组成的状态组合数增多,所能代表的数字信号的数目也就增多。当取两位二进制时,有00、01、10、11四种组合,可以代表四种状态的数字信号,其组合数为 $2^2=4$ 。如取三位二进制,则可有000、001、010、011、100、101、110、111八种组合,即组合数为 $2^3=8$ 。依此类推,若要代表256种状态的数字信号,就需用八位二进制,因为 $256=2^8$,八位二进制可有256种组合。编码的结果,就是用以八位二进制为一组的一些等长码组,分别代替抽样、量化后的各种不同电平的数字信号。这样,最后在通信系统中依次传输的就都是由这些二进制的码组所构成的数字脉冲序列。采用二进制的通信系统叫做二进制(二进制)通信系统。

如要利用同一信道进行多路通信,可采用时分复用的办法。在一路信号的两个相邻码组(它们代表相隔 Δt 时间的两

个相邻取样脉冲的量化值)之间,插入代表其他话路的取样脉冲的码组。话路数越多,在 Δt 内传送的脉冲数也越多。例如要传送120路电话,当量化层数为256时,就要在 Δt 内传送 $120 \times 8 = 960$ 个脉冲。

以上介绍的是脉冲编码调制的数字通信。还有一种常用的编码方式叫增量调制。它和脉冲编码调制的不同点是:它不直接对信号进行量化和编码,而是对取样点的信号值与前一取样点信号值的差值进行量化和编码。这差值可视为增量,故称为增量调制。由于差值的变化范围远小于原信号的动态范围,对差值的量化只需分为两层,即可采取只用一位二数码来传输其差值,一位码传输其极性的简单编码方法,结果得到的也是二进制数字化的脉冲序列。

经过各种信源编码方式所得的数字脉冲序列叫做基带信号。把基带信号直接通过信道送到收端的通信系统叫做基带传输系统。如把基带数字信号通过调制用微波中继通信的方式来传送,则所构成的数字微波中继通信系统叫做频带传输系统。发、收两端处理数字信号的微波机叫做数字微波信道机。数字微波信道机的主要任务之一就是在发送端用基带信号去调制微波载波,而在接收端再从已调微波载波中解调出基带信号。解调是与调制相反的过程。关于微波信道机的调制和解调方式将在后面介绍。设置微波信道机的目的主要是为了便于数字基带信号的传输,故可将发、收两端的微波信道机看成是图1-1中传输系统的组成部分。图1-1中接收端的“解码”是与编码相反的过程,而“滤波”则是对解码后恢复的抽样、量化信号起平滑作用,由它恢复出原来的模拟信号。

第二节 数字通信的主要指标和特点

一、数字通信传输系统的主要指标

衡量数字通信传输系统的指标很多，下面介绍主要的两项：传输速率和误差率。

1. 传输速率

传输速率可从不同的角度来定义，常用的是码元速率和信息速率。

码元速率是指脉冲波形的速率，它定义为每秒钟所传的码元（即脉冲）数，其单位为波特（*baud*）。如每秒钟传一个码元（脉冲），则码元速率为1波特；每秒钟传10个码元（脉冲），则码元速率为10波特。

信息速率是指每秒钟所传的信息量，其单位为比特/秒（*bit/S*）。

比特和波特很容易混淆。它们仅一字之差，但概念却截然不同。波特是码元速率，它包含了时间的概念。比特是信息量的单位，在信息论中，它有严格的定义。它本身只说明所含信息量的多少，而不包含时间、速率的概念，要用比特/秒才能描述信息传输速率。

在二进制中，一个1，0等概率的随机码元包含1比特的信息量，所以码元速率（波特）和信息速率在数值上是相等的。

下面举一个例子：计算120路脉冲编码通信系统的码元速率和信息速率。

如前所述，对话音信号的取样频率为 8000Hz ，即每秒钟

要抽取8000个样值。将样值分为256层，则每个样值需用八位二进制码来传送。于是一路话音信号的码元速率为 $8000 \times 8 = 64000$ 波特。对PCM-120路二次群通信系统，实际话路量是按128路来计算的，再加上256千波特用于同步、告警、勤务等码元，因而总码元速率为 $64000 \times 128 + 256000 = 8.448$ 兆波特。对应的信息速率为8.448兆比特/秒。这就是我国目前采用的120路二次群脉冲编码通信系统的标准。

2. 误差率

误差率是衡量数字通信可靠程度的一个重要指标。

在模拟通信中，要求以高保真度来复现原发送信息的波形。在数字通信中，则只要求能在存在干扰及失真的情况下，正确判决发送端该时刻所发送的是哪一种状态即可。这些失真和干扰只要不足以影响接收机的正确判决，就无关紧要。从这一点来看，数字传输系统中对信噪比的要求应当比模拟通信的低。

误差率也可从不同的角度去定义。常用的是误码率 P_e 和误比特率 P_b 。

误码率为错传的码元数在传送的总码元数中所占的比例；而误比特率则是错传的比特数在传送的总比特数中所占的比例，即：

$$P_e = \frac{\text{错传的码元数}}{\text{所传的总码元数}}$$

$$P_b = \frac{\text{错传的比特数}}{\text{所传的总比特数}}$$

它们都是统计数字，因而须在总码数相当多的情况下来计量。

在二元制中，一个1，0等概的随机码元包含一个比特的信息量。码元数和比特数相等，所以误码率等于误比特率。在

一般的通信系统中，误码率等于 10^{-6} ，即可得到较好的传输质量。

有时，也用其他方法来表达数字微波通信系统的质量指标。

二、数字通信的特点

数字通信和模拟通信相比，有很多优点。这些优点有些是各种数字通信系统共有的，有些是数字微波通信系统特有的。现概述如下：

1. 如前所述，数字通信是以误差率来衡量其可靠性的，只要噪声和波形失真不足以造成误码就不会影响通信质量。这一点对微波中继通信特别有利，因为它可以在中继站上将带有干扰和失真的数码整形，使成为规则的脉冲再传往下一站。这叫做“再生”，图 1-4 为信号再生的示意图。由于进行了再生，就避免了噪声的积累，可延长通信线路的距离。

2. 由于数字通信所要求的信噪比小，从而要求的发射功率低，易于实现微波信道机的固体化、集成化，使其体积小，重量轻。有些信道机甚至可以直接接在天线后面，比较经济方便。同时，功率小也减少了各线路之间的相互干扰。

3. 由于多路数字通信是时分复用的，因而省去了频分复用终端设备中所必不可少的、昂贵的滤波器，从而有可能降低整个设备的造价。

4. 数字通信是把各种信号都转换成数码来进行传输的，

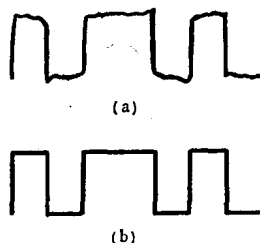


图 1-4 再生示意图
(a)混有干扰及失真的信号，(b)再生后的信号

这样它可以将各种不同的信号统一起来，用一个传输系统就可以传输特点十分不同的信号，不管是话音、图象、遥测、遥控信号，还是其他。

5. 便于变码加密

数字通信的主要缺点是它比模拟信号要占据较宽的频带。在数字微波通信中，这个缺点可设法克服。由于数字通信抗干扰能力强，故可缩小相邻波道的间隔，甚至可以用同一频率的水平、垂直两种极化波来建立两个独立的射频波道。另外，还可以采用多相调制（这将在以后介绍），使在相同的频带中传送更多的信息量。采取这些措施，数字通信占据的频带宽这一缺点就可以得到弥补。

基于以上各点，近十几年来，数字微波通信得到了迅速的发展。数字微波中继通信是一种比较有发展前途的通信方式。

第三节 数字微波通信的调制及解调方式

数字微波通信中的主要问题之一就是采取什么样的调制及解调方式。

在模拟微波通信系统中，几乎全用调频制。在数字微波通信系统中，目前数字调幅、数字调频、数字调相都有应用，而以数字调相用得最多。究竟应该选择哪一种调制方式，应从下面几个方面来考虑：1)在同样信噪比的情况下，误码率的高低；2)频带利用率；3)设备的复杂程度。数字调幅的调制与解调电路比较简单，但非相干调幅的误码特性最差，在相同的信噪比情况下，其误码率最大。一般的数字调频其误码特性比调幅的好，但需要的频带最宽。数字调相从这几方面综合考虑比较优越，因而得到了广泛的应用。

数字调相的解调方式有同步解调和延迟解调。目前应用得较多的调制、解调方式是相位调制-同步解调或相位调制-延迟解调。

一、数字微波通信系统中的相位调制

1. 调相的概念，绝对调相和相对调相

“调相”就是用调制信号去控制载频信号的相位。下面以二相制的调制为例说明调相的概念。

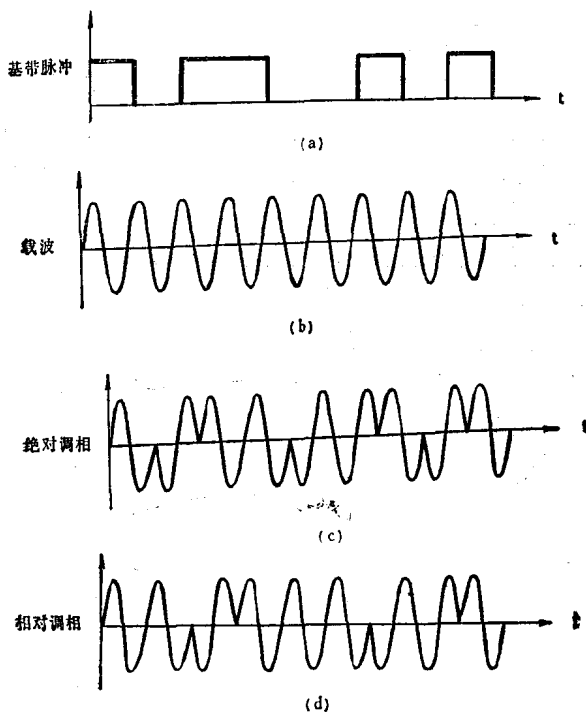


图 1-5 二元制相位调制波形