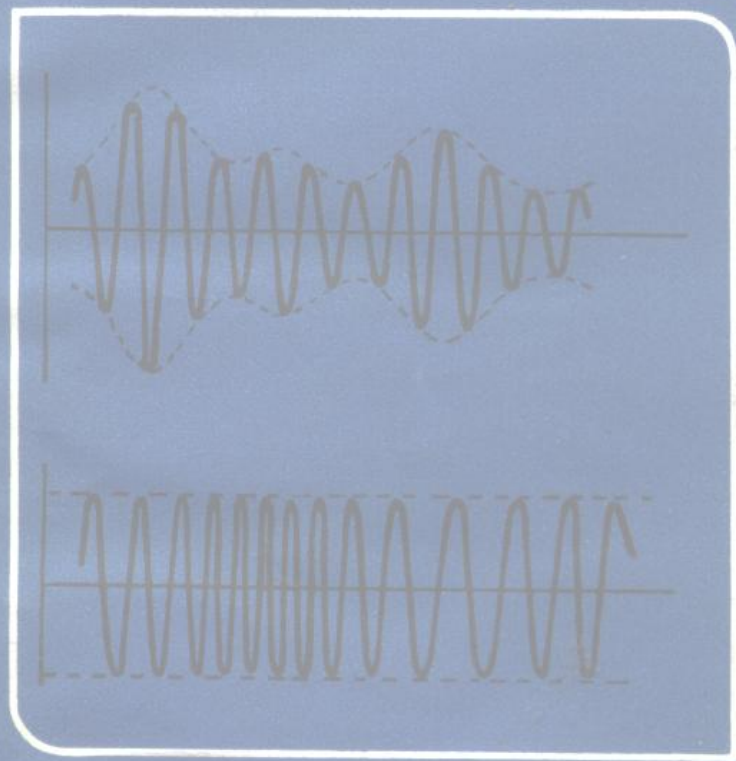


无线电技术与通信专题介绍丛书

[英] F. R. 康纳 著



调制

5

科学出版社

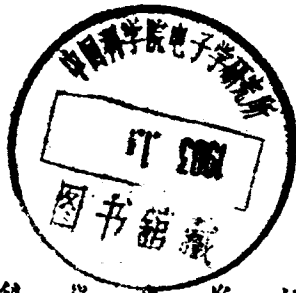
73.765
556

调 制

〔英〕F. R. 康纳 著

郭书勤 译

禾 民 校



科 学 出 版 社

1982

1110271

D42/57

内 容 简 介

本书是 F. R. 康纳撰写的“无线电技术与通信专题介绍”丛书之五,是专门介绍调制技术的专业性普及读物。书中扼要介绍了调幅、调相、调频和脉冲调制的各种方法。为了帮助读者理解概念,列举了不少例题并给出了一定数量的习题,这些题目大都是从英国的有关考卷中选取的。

本书内容浅显、概念清楚、通俗易懂,适合于自学无线电技术和无线电通信等课程的读者阅读,亦可作为无线电类大、中专学生和工程技术人员的学习参考书。

F. R. Connor
MODULATION
Edward Arnold, 1979

调 制
【英】F. R. 康纳 著
郭书勤 译
禾 民 校
责任编辑 魏 玲 李 立
科 学 出 版 社 出 版
北京东黄城根内大街 137 号
中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982年11月第一版 开本:787×1092 1/32
1982年11月第一次印刷 印张:3 7/8
印数:0001—18,800 字数:85,000

统一书号:15031·437
本社书号:2753·15—7

定价: 0.52 元

前 言

本书是介绍“调制”这一重要课题的专著。传输信息需要对其进行某种形式的调制。本书论述了实际使用中的一些最重要的调制方法。另外,为了帮助读者掌握有关基本概念,书中还提供了许多从过去的试卷中选取的成功的例题,来清楚地说明有关基础理论的应用。

本书第一部分主要介绍现代系统中所用的模拟调制方法,例如幅度调制和频率调制等。然后讨论相位调制和目前常用的各种脉冲调制,如脉冲编码调制等。最后一部分论述接收机解调方法的选择问题,包括目前使用的一些重要方法。

本书对于下列学生十分有用:他们或者准备通过伦敦大学的考试,或者准备考取全国学术评选委员会颁发的学位,或者准备通过工程学会委员会的考试,或者准备取得其他证书,诸如全国通用的高级执照,全国有效的高级学位证书以及伦敦协会金融中心当局和商会的某些考试合格证。本书也适用于工业界那些需要一本基础知识常用书以帮助其实际工作的工程师。

F. R. 康纳

本丛书的另几册是:

- | | |
|---------|-------|
| 1. 信号 | 4. 天线 |
| 2. 网络 | 6. 噪声 |
| 3. 波的传输 | |

本书使用的符号

δ	偏移率	f_n	噪声分量的频率
Δf_c	载波频偏	f_s	采样频率
$\Delta \varphi$	载波相位偏移	g_m	互导
Δt	时间间隔	J_n	n 阶贝塞尔函数
σ	量化层间的电压	k	常数
τ	脉宽	m	调制因数(调制深度)
φ_i	瞬时相角	m_f	频率调制指数
ω_c	载波角频率	m_p	相位调制指数
ω_m	调制信号的角频率	S/N	信噪比
f_d	差频	T	采样周期
f_i	瞬时频率	W	最高调制频率(系统带宽)

本书使用的缩写词

C.E.I.Part 2	(英)工程学会委员会通信工程 考试第二部分
C.&G.	伦敦协会金融中心当局和商会
L. U. B. Sc(Eng.) Tels.	伦敦大学(工程)学士电信考试 第二部分

目 录

第一章	绪论	1
1-1	模拟方法	1
1-2	脉冲方法	3
1-3	多路调制	5
1-4	数字调制	5
第二章	幅度调制	7
2-1	调幅波频谱	8
2-2	功率考虑	8
2-3	向量表示	9
2-4	调幅器	11
2-5	其他调幅系统	16
2-6	调幅发射机	27
第三章	频率调制	28
3-1	调频波频谱	29
3-2	向量表示法	31
3-3	窄带调频	34
3-4	宽带调频	35
3-5	调频波的产生	36
3-6	调频发射机	39
3-7	干扰和噪声	41
第四章	相位调制	46
4-1	调相波频谱	47
4-2	调相/调频波的产生	49
4-3	调相/调频发射机	52
第五章	脉冲调制	54

5-1	脉冲幅度调制	54
5-2	脉冲宽度调制	57
5-3	脉冲位置调制	58
5-4	脉冲编码调制	60
5-5	时分多路/脉冲编码电话系统	65
5-6	脉冲编码调制的主要特点	65
5-7	脉冲编码调制的噪声	67
5-8	增量调制	69
5-9	Δ - Σ 调制	73
第六章	解调器	74
6-1	调幅检波器	74
6-2	调频鉴频器	85
6-3	相位解调	88
6-4	相敏检波器	88
6-5	脉冲解调	89
习题	.....	91
答案	.....	96
参考文献	.....	97
附录	.....	99
A.	频率调制	99
B.	电抗管	102
C.	预加重和去加重	103
D.	脉冲调制	105
E.	同步检波	109
F.	数字调制	111
索引	.....	114

第一章 绪 论

为发送信息,总要一定的调制方式.所谓调制,就是改变基本电磁波——通常也叫做载波——的某些参数的过程.由于原始信息的形式不宜于直接进行远距发送,必须通过调制过程将它变换成更高的频率,因而必须采用射频信号.

几年来,已经发明了各种各样的调制方法,其目的都是在尽可能有效地以最小失真度发送所需要的信息.这里要考虑的首要因素是信号的功率、带宽、失真和噪声功率.此外,也要考虑为确定系统性能所规定的信号功率与噪声功率的比值,即所谓输出信噪比 (S/N).

显然,在给定的实际条件下,可以找到许多彼此竞相匹敌的调制方法,这是不足为怪的.广义地说,这些各不相同的调制方法大体可以分为:用正弦波作为载波信号的模拟调制方法;用一组数字或脉冲串作为载波信号的脉冲调制方法.以往,模拟调制方法已得到广泛利用,且仍在应用.原因是现存系统的大量投资以及它的简单性.然而,近来另外的一些至关重要的因素,迫使人们使用脉冲调制方法,因而对于这种调制方法的使用和需求也日趋增长.

1-1 模 拟 方 法

两种最重要的模拟方法就是幅度调制和角度调制.幅度调制 (AM) 有两个边带和一个载波,它在无线电广播、无线电电话等领域中得到了普遍的应用.典型的调幅载波示于图 1.

1110271

比较经济的调幅方式是为节省带宽而在电视系统中使用的残留边带传输 (VSB)。双边带抑制载波 (DSBSC) 和单边带抑制载波 (SSBSC) 可以更进一步节省功率和带宽, 尤其是 SSBSC 系统, 广泛用于同时传输若干信息的多路同轴系统。然而, 调幅系统本质上是一个窄带系统, 它受到噪声的限制, 噪声会直接影响信号幅度。

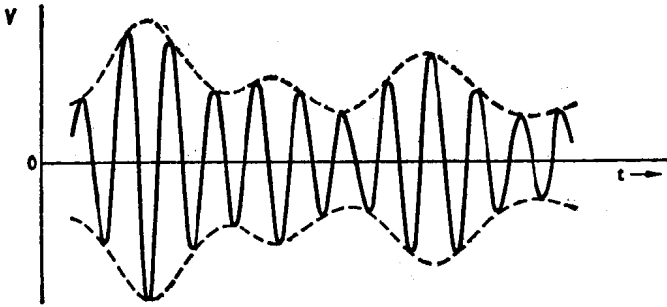


图 1

与幅度调制竞比, 由于角度调制对振幅变化的噪声不敏感, 所以在某些系统中也常常使用角度调制。在角度调制中, 由于载波的瞬时角是变化的, 这就引出了分别称之为频率调制 (FM) 和相位调制 (PM) 的两种调制方式。因此, 虽然实际系统中多倾向于使用调频而不是调相, 但调频和调相仍是紧密关联的。甚高频广播 (VHF)、卫星通信和调频雷达就是典

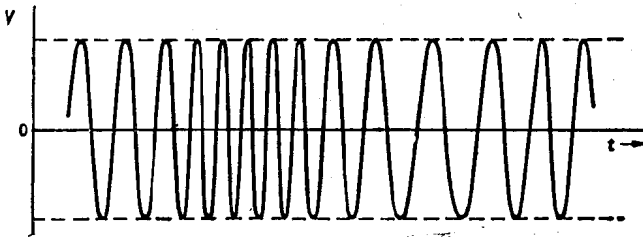


图 2

型实例。然而，由于图 2 所示的调频载波比相应的调幅系统需要更宽的带宽，所以调频系统的信噪比性能比调幅系统大为改善。换句话说，如果需要，在功率方面可有大量的节省。因此，调频系统发展到了几乎代替调幅系统的程度。

1-2 脉冲方法

另外一类调制方法是使用脉冲串组成的数字载波信号，用所需要的信息去调制这个脉冲串。这可以利用已有的模拟幅度调制技术来实现。因而，脉冲的幅度是变化的，所以叫做脉冲幅度调制 (PAM)。在已采用的其他的脉冲调制方法中，脉冲宽度调制 (PDM) 是改变脉冲的持续时间，脉冲位置调制 (PPM) 是改变脉冲出现的时间位置。图 3 所示为各种脉冲调制形式。以后将在第五章中指出，PAM 与调幅系统相关联，而 PDM 和 PPM 则与相位调制相关联。因此，从 PAM、PDM 到 PPM 信噪比逐步得到改善。

另一种脉冲调制方法是脉冲编码调制 (PCM)，它没有相对应的模拟方式。在某些应用中，这种调制方法优于其它的调制方法。在脉冲编码调制中，信息由码组所对应的脉冲群 (如图 4 所示) 携带。这种调制技术要求一个很宽的频带，但它却能给出一个很好的信噪比。为得到良好的信噪比而变换带宽，并使之成为最接近于信息论中哈特莱-山农 (Hartley-Shannon) 定律所预言的理想系统，这已有典型实例。

一种稍微简单的 PCM 方法称为增量调制 (DM) 简称 Δ 调制，它已经引起了人们的重视。这种调制方式只用一个单一的脉冲码，从而简化了发送和接收设备的设计。但是已发现，通常它比 PCM 需要更宽的频带。 Δ 调制的进一步的发展叫做“ Δ - Σ ”调制 (DSM)，这种调制方法也能够发送直流信

号,这对数据系统是非常有用的。然而目前的倾向仍然是使用 PCM 而不是 DM 或 DSM。

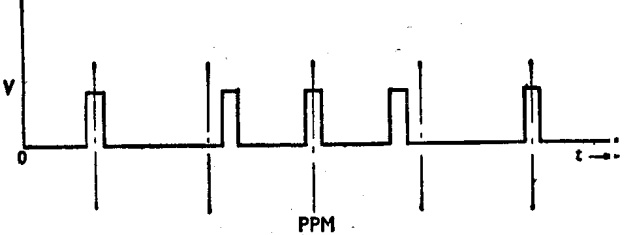
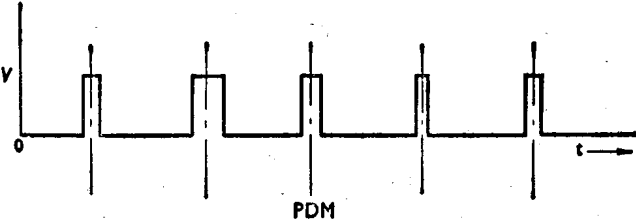
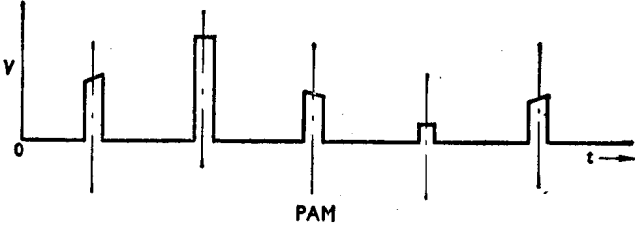


图 3

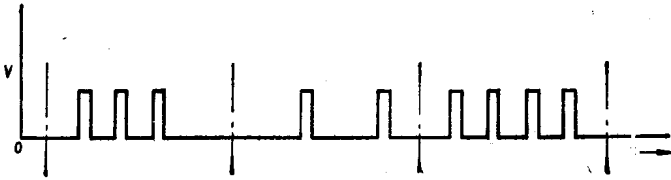


图 4

1-3 多路调制

多路通信可以使用模拟的或脉冲的调制方法。模拟信号的多路调制建立在频分制 (FDM) 的基础上, 在应用于同轴电缆系统时更是如此。由于对信道数目的需求不断增加, 每根电缆可以传送多达 2700 路的电话信号, 而微波电路甚至可以传送大约 10000 路电话信号。

对于数字系统时分制来说, 通道的多路调制也是可实现的。对于 PCM 系统而言, 由于其电路完善, 采用多路调制尤其具有吸引力, 这是因为微电子学的出现已给 PCM 以巨大的促进。目前, PCM 系统似乎会在许多短程通信系统中(例如在本地电话电路中)接替其他的调制方式。将来, 在提供数千路通道的微波或光频长距干线通信中, PCM 将会得到进一步的应用。未来通信系统的倾向就是以数字方式发送各种形式的信息, 如数据、语言、电视等。

1-4 数字调制

用数字信号调制一个正弦载波的方法叫做数字调制^[4,5]。数字调制中主要使用的三种方式是振幅键控 (ASK), 移频键控 (FSK) 和移相键控 (PSK)。它们分别相应于 AM、FM 和 PM。这几种调制方式专用于数字通信系统。关于这方面更为详尽的叙述在附录 F 中给出。

最近^[4,5], 人们利用相关技术研究出了伪随机调制包络的一种数字调制方式。各种通道的多路调制需要一种能存储如图 5 所示的伪随机二进制序列信息的相关检测器。在某些情况下, 这种技术有着与普通方法相同的优点, 但在那些具有低

信噪比的系统中,这种技术的性能似乎较差,甚至还不如模拟方式.

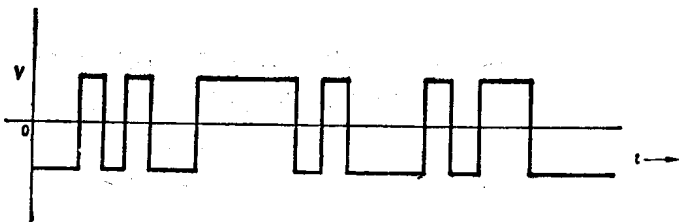


图 5

第二章 幅度调制

用一个调制电压改变高频载波信号幅度的过程称为幅度调制。载波信号的幅度随调制信号而线性变化，调制信号一般由音频范围的语言或音乐组成。为简化分析起见，首先将调制信号考虑为单音频信号，然后再把分析扩展到更为复杂的音频信号的实际情况中去。

现在考虑一高频载波信号由 $v_c = V_c \sin \omega_c t$ 表示，其中 $\omega_c = 2\pi f_c$ ，而 f_c 为载波频率。如果调制信号为 $v_m = V_m \sin \omega_m t$ ，其中 $\omega_m = 2\pi f_m$ ， f_m 为音频，那么从图 6 可以看出，已调载波信号的幅值在 $(V_c + V_m)$ 和 $(V_c - V_m)$ 之间作正弦变化。

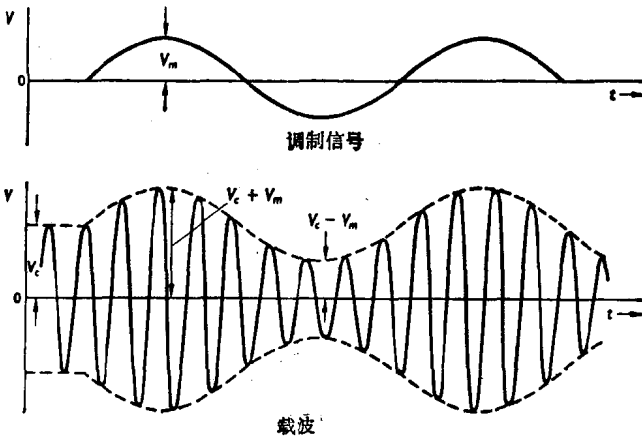


图 6

如果 $V_m/V_c = m$ 为调制因数(调制深度)，那么 $V_m = mV_c$ ，而且已调载波的表达式为

$$\begin{aligned} v_c &= (V_c + V_m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \\ &= V_c \sin \omega_c t + m V_c \sin \omega_c t \sin \omega_m t \end{aligned}$$

因为

$$\sin \omega_c t \sin \omega_m t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t]$$

所以

$$v_c = V_c \sin \omega_c t + \left(\frac{mV_c}{2}\right) \cos(\omega_c - \omega_m)t - \left(\frac{mV_c}{2}\right) \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

2-1 调幅波频谱

上述表达式指出，一个调幅载波包含三个频率分量。第一项的频率为载波频率，第二项为低边频 (LSF) 分量，最后一项是高边频 (USF) 分量。边频处于高于或低于载波频率为 f_m 的频率点上。因此，对语言一类的复杂调制信号而言，在载波频率 f_c 上下两边将会产生最大的频率分量。如图 7 所示，这些频率分量分别叫做低边带 (LSB) 和高边带 (USB)。

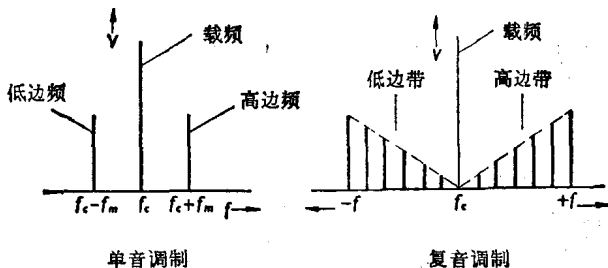


图 7

2-2 功率考虑

在 1Ω 负载电阻中，信号的平均功率等于其电压的平方。如果载波电压的有效值为 V ，那么调幅信号的功率可以表示如下

$$\text{载波功率} = V^2$$

$$\text{边带功率} = 2(mV/2)^2 = m^2V^2/2$$

$$\text{总功率} = V^2 + m^2V^2/2 = V^2(1 + m^2/2)$$

因此

$$\frac{\text{边带功率}}{\text{总功率}} = \frac{m^2V^2/2}{V^2(1 + m^2/2)} = \frac{m^2}{2 + m^2}$$

【说明】

(1) 当 $m = 1.0$ 时, 边带中的最大功率为载波功率的 50%。

(2) 边带功率取决于 m^2 , 实际的 m 值在 30%—50% 之间。

(3) 因为信息可以只用一个边带来表示, 所以载波和另一个边带可以被抑制掉而不致于丢失信息。

2-3 向量表示

一个交流量可以表示为一个旋转的向量。为便于分析起见, 瞬时载波可以看作是静止向量。具有 $(f_c + f_m)$ 和 $(f_c - f_m)$ 频率的边带分量, 将相对于静止载波向量以相反的方向旋转,

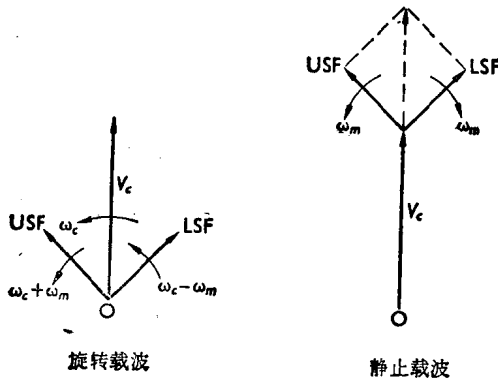


图 8

其向量和表示任意瞬间的调幅载波

例 1. 试讨论无线电广播发送中使用双边带幅度调制的理由,为什么定点发送时使用单边带缩减载波。

当调制深度为 100% 时,调幅发射机有 24kW 输出功率。由第一定理确定:(a) 当载波未调制时的输出功率;(b) 当载波调制到 60% 深度之后,一个边带被抑制而载波分量减少约 26dB 时的输出功率。

(L. U. B. Sc (Eng.) Tels. Pt. 3, 1965)

解 为广播目的使用双边带调幅的主要理由是:

(1) 简化发射机和接收机的设备,特别是当系统中包括大量接收机时,可以减少设备的价格。

(2) 在接收机上可以使用包络检波器,这既简化了设计也不需要任何精密调整。

定点通信使用单边带(缩减载波)工作的主要理由是:

(1) 这种系统仅包括有限的几个接收机,从而可以应用价格较高、技术先进的单边带设备。

(2) 可以节约大量的功率,这对那些用单边带工作的业余爱好者们尤其方便。

(3) 由于仅发送一个边带,所以在带宽方面也有节约.这就大大缓和了目前的频谱拥挤状况,在业余爱好和海上通信中尤其如此。

用 P_c 表示调幅信号的载波功率,因此我们有:

$$\frac{\text{总功率}}{\text{载波功率}} = \frac{(1 + m^2/2)P_c}{P_c} = (1 + m^2/2)$$

(1) 100% 调制时,由于 $m = 1$, 所以,

$$\left(1 + \frac{1}{2}\right)P_c = 24 \times 10^3$$

或