

渔业电子技术丛书



单边带 通信原理

蓝悦盛 编
邵克玉

海 洋 出 版 社

渔业电子技术丛书

单边带通信原理

蓝悦盛 邵克玉 编

海洋出版社

1991年·北京

内 容 提 要

本书系统介绍了单边带通信的基础知识和通信机的主要电路，详尽地叙述了单边带无线电话机NS-110的原理、线路、调试、故障检查与维修。

读者对象：通信设备电子线路的技术人员，有关专业中专师生。

责任编辑 陈泽卿

特约编辑 刘莉蕾

责任校对 刘兴昌

渔业电子技术丛书

单边带通信原理

蓝悦盛 邵克玉 编

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街1号）
新华书店北京发行所发行 昌平兴华印刷厂印刷
开本：787×1092 1/32 印张：11.125 字数：230千字

1991年3月第一版 1991年3月第一次印刷

印数：1—1500

ISBN 7-5027-0929-0/TN·13 定价：7.70元

前 言

为了尽快提高广大渔业电信技术人员的理论水平和使用维修电子设备的实际技能，使之适应渔业生产发展和实现渔业科学管理的要求，我们组织水产系统的有关院校、科研单位、企业及行政管理部门的部分教师和工程技术人员编写了《渔业电子技术丛书》，拟作为水产系统培训中等电子技术专业人员的教材，并作为对从事通信、助渔、导航等技术人员进行技术考试和考核的统一参考资料。

众所周知，近代电子技术不仅在工业、农业、科学技术和国防方面获得了广泛应用，而且已深入到水产业的许多领域，并有日益发展的趋势。电子技术的发展及其在水产业各个领域的广泛应用，已成为水产业技术发展和科学管理的重要标志。为了加快水产系统科学技术发展的进程，普及电子技术是十分重要的。

电子技术包含的内容十分广泛，该丛书根据水产系统应用电子技术的现状，结合发展应用新技术的重点编写，力求实用。该丛书由《电工基础》、《无线电基础》、《无线电收发信原理》、《单边带通信原理》、《电波传播与天线》、《电源》、《无线电通信设备的维修》、《助渔仪器及其维修技术》、《无线电导航仪器》等9个分册组成。

该丛书主要针对具有中等文化程度的电子技术人员，力求内容系统全面，且理论联系实际，以提高理论水平和使用维修电子设备的实际技能为目的，而着重叙述电路的基本工

作原理、物理概念和基本计算方法，并在此基础上介绍电子设备的测试、使用和维护的方法。为了学好这套教材，读者应具有初中以上程度的物理、数学和电工原理知识，在系统学习基础部分后，根据自己所从事的工作，选学有关的各个分册。在学习过程中，希望读者尽可能将学到的理论与实际结合起来，学以致用。

我们组织编写这套丛书是初步尝试，由于该丛书涉及面广，加上经验不足，时间匆促，不当之处难免，欢迎读者提出指正。

该丛书在编写过程中，得到了上海交通大学、福建省电子研究所、福建省广播电视厅、上海海运局、上海无线电二厂、海洋出版社，以及水产系统有关同志的大力支持。在此，我们对所有为该丛书出版付出辛勤劳动的同志一并致以谢意。

农牧渔业部渔政渔港监督管理局

1989年1月于北京

目 录

第一章 单边带通信基础知识	(1)
第一节 信号的频谱	(1)
一、频谱的概念.....	(1)
二、高频信号及其频谱.....	(2)
第二节 单边带通信的特点.....	(8)
一、节约频带.....	(8)
二、功率节约.....	(9)
三、受传播条件的影响小.....	(12)
第三节 单边带信号的产生方法及简单工作过程...	(17)
一、滤波法产生单边带信号.....	(17)
二、相移法产生单边带信号.....	(20)
三、移相滤波法产生单边带信号.....	(22)
第四节 单边带通信设备的分类	(26)
一、载波抑制式.....	(26)
二、载波部分抑制式.....	(27)
三、载波控制式.....	(27)
四、全载波式.....	(27)
五、载波可调式.....	(27)
第五节 单边带通信机中的不同工作种类.....	(28)
一、单边带话.....	(28)
二、等幅报.....	(30)
三、兼容调幅话.....	(30)
四、移频报.....	(36)

第二章 单边带发射机的主要电路 (54)

第一节 平衡调制器 (54)

一、单个非线性元件的调制器 (56)

二、平衡调制器的工作原理 (59)

三、环形调制器的工作原理 (62)

四、对调制器的几点要求 (65)

五、环形调制器的实际电路 (66)

第二节 边带选择滤波器 (69)

一、机械滤波器 (71)

二、晶体滤波器 (83)

第三节 单边带信号放大器 (95)

一、对单边带信号放大器的基本要求 (95)

二、单边带信号放大器中的负反馈 (111)

三、宽带单边带信号放大器 (120)

四、单边带信号功率放大器的线路举例 (132)

第三章 单边带接收机的主要电路 (142)

第一节 接收机的高频、中频及自动增益控制 (144)

一、输入电路 (144)

二、高频放大器 (147)

三、平衡混频器及14.5—15.5兆赫滤波器 (149)

四、第二混频器 (151)

五、2—3兆赫可变中频滤波器 (152)

六、第三混频器 (153)

七、公共中频放大器 (155)

八、自动增益控制系统(AGC) (157)

第二节 单边带信号的解调 (161)

一、单边带信号解调的基本原理 (161)

二、单边带信号解调器的实际电路 (162)

三、恢复载频产生的方法 (165)

第三节 各种信号的解调原理	(172)
一、上、下边带话的接收系统	(172)
二、调幅话的接收	(173)
三、等幅报的接收	(173)
四、移频印字报的接收	(173)
第四章 频率合成器	(189)
第一节 频率合成器的概念	(189)
第二节 频率合成器的分类	(191)
一、直接式合成器	(194)
二、非直接式合成器	(197)
第三节 频率标准和谐波发生器	(198)
一、频率标准	(198)
二、谐波发生器	(207)
第四节 选频式频率合成器	(225)
一、多个选频系统的频率合成器缩小频率间隔的方法	(226)
二、多个选频系统的频率合成器扩展波段和插入单边带信 号的方法	(233)
第五节 锁相式频率合成器	(237)
一、锁相环的基本电路	(237)
二、混频锁相式频率合成器	(242)
三、数字锁相环的基本电路	(255)
第五章 NS-110单边带无线电话机	(300)
第一节 概述	(300)
第二节 线路说明	(302)
一、发讯部分	(304)
二、收讯部分	(314)
三、第二载频频道振荡器	(321)
四、电源部分	(322)

五、功率输出放大管的负载调谐.....	(323)
第三节 调试与故障修理.....	(329)
一、工具、仪表.....	(329)
二、测试电压.....	(329)
三、发讯部分的调整方法.....	(334)
四、收讯部分的调整方法.....	(339)
五、故障检查方法.....	(342)
六、共用电路部分的故障检查.....	(343)
七、发讯部分故障检查.....	(344)
八、收讯部分故障检查.....	(345)

第一章 单边带通信基础知识

第一节 信号的频谱

一、频谱的概念

在通信中处理的信号有语音、数据（电码）、图像等。这些信号最后都转换为随着时间而随机变化的电压或电流。

一个规则的非正弦信号，不论它是周期性的还是非周期性的，都可以分解为一系列频率不同的正弦（或余弦）分量。图 1.1 所示的非正弦电流波形中，可以分解为两个频率不同的正弦波，其中频率为 1000 赫的正弦波，振幅是 4 毫安，初相角是 $+90^\circ$ ；另一个频率为 3000 赫的正弦波，振幅

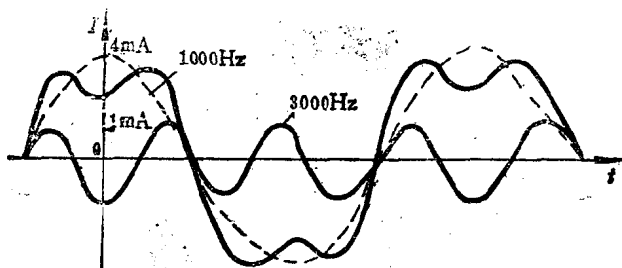


图 1.1

是 1 毫安，初相角是 -90° ，信号中分解出的所有正弦波，可以按其频率高低依次排列，将各正弦波的振幅，按其频率高低顺序加以排列，就可以得到信号的振幅频谱，简称幅

谱。将各正弦波的初相角，按其频率顺序加以排列，就可以得到信号的相位频谱，简称相谱。频谱是幅谱和相谱的总称。由于在大多数情况下知道信号的幅谱就够了，所以习惯上提到频谱一般都是指幅谱，否则就需要作相应的说明。

信号的频谱可以用图1.2表示，这种图称为频谱图。图中纵轴的线段称为谱线，它的长度代表正弦波的振幅 A 或相角 φ ，它的横轴上所处的位置代表该正弦波的频率 f 。

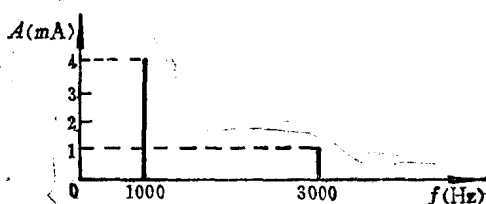


图1.2

二、高频信号及其频谱

常用的高频信号有调幅信号、调频信号和调相信号三种，这里只讨论常用的调幅信号（图1.3）。

（一）调幅信号及其频谱

所谓调幅就是以低频信号调制载波的振幅，使载波振幅随低频信号的瞬时值变化。这种调制叫做振幅调制，简称调幅。这样得到的高频信号称为调幅信号如图1.3（b）所示。

经过调制后的已调波信号电压（或电流）的振幅随调制信号电压（或电流）幅度的变化而变化，即已调波信号的幅度和调制信号的波形变化规律是一致的，调幅波的包络完全反映了调制信号的变化规律，而被包络的高频振荡的相位是连续的，为进一步弄清调幅信号的频谱关系，假设 $u_o =$

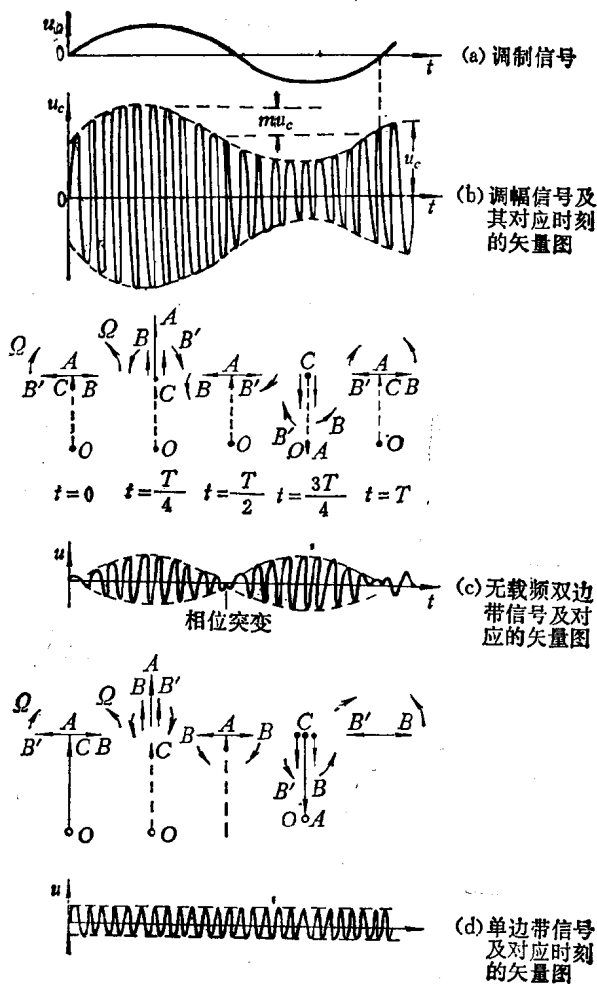


图 1.3

$U_c \cos \omega_c t$ 表示载波电压的瞬时值，其中， u_c 为载波信号电压的振幅； ω_c 为载波信号的角频率， $\omega_c = 2\pi f_c$ ，且 f_c 是载波信号频率。

$u_\Omega = U_\Omega \cos \Omega t$ ，它表示调制信号电压的瞬时值。其中， U_Ω 为调制信号电压的振幅； Ω 为调制信号的角频率， $\Omega = 2\pi F$ ； F 是调制信号的频率。

根据调幅波的概念，我们可以得出已调波的电压幅度变化规律，

$U = U_c + kU_\Omega \cos \Omega t$ ， U 是已调波的电压幅度，而已调波电压的瞬时值为

$$\begin{aligned} U &= U_c \cos \omega_c t \\ &= (U_c + kU_\Omega \cos \Omega t) \cos \omega_c t \\ &= U_c (1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_c t \\ &= U_c \cos \omega_c t + U_c M \cos \omega_c t \cdot \cos \Omega t \\ &= U_c \cos \omega_c t + \frac{1}{2} U_c M \cos(\omega_c + \Omega)t \\ &\quad + \frac{1}{2} U_c M \cos(\omega_c - \Omega)t \end{aligned}$$

式中 $M = U_\Omega / U_c$ 为调幅度。

从上面表达式看出，已调波的频率成分是由一个载频和两个边频组成。其中， ω_c 是载频； $\omega_c + \Omega$ 是上边频； $\omega_c - \Omega$ 是下边频，其频谱如图1.4所示。

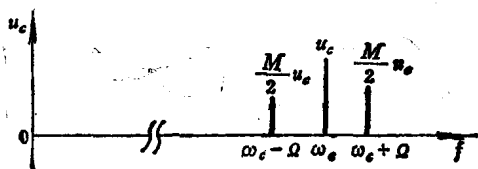


图1.4

语言信号通常是频率十分丰富的信号，在通信中，为保证双方耳听的清晰度，取频率为 300—3000 赫，所以用语言信号作调制信号，得到的幅调波信号同样是一个载频和两个边带，载波仍为 ω_c ，上边带为 $(\omega_c + (\Omega_{\min} \rightarrow \Omega_{\max}))$ ，下边带为 $(\omega_c - (\Omega_{\min} \rightarrow \Omega_{\max}))$ 。其中， $\Omega_{\min}$ 是调制信号角频率的最小值； $\Omega_{\max}$ 是调制信号角频率的最大值，语言信号调制后的已调波频谱如图 1.5 所示。

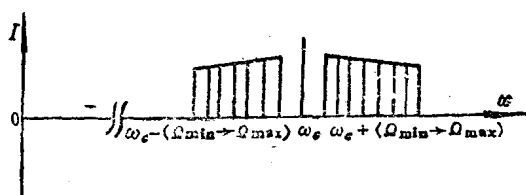


图 1.5

(二) 无载频的双边带信号

单边带调制器输出的信号即为载频相消的双边带信号。

用矢量图的方法，可获得无载频双边带信号的波形，其方法是令载频矢量模数为 0，余下两个边频分量以角速度 Ω 反向旋转，在音频一周期 $T=1/F$ 内，求得对应 $t=T/4$ ， $T/2$ ， $3/4T$ 及 T 等时刻的合成矢量，即可获得如图 1.3 (c) 所示的结果。由无载频双边带信号的波形可以看出：

(1) 在调制信号正半周 ($t \leq T/2$) 内，合成矢量 $\overrightarrow{CA}$ 与载频矢量 $\overrightarrow{OC}$ (虚线所示) 方向相同，即高频相位与载频振荡的相位相同，在调制信号负半周 ($t \geq T/2$) 内，合成矢量则与载频矢量的方向相反，即高频振荡与载频振荡相位差 180° 。

(2) 由于振荡的数值总是正的，所以无载频双边带信号

的包络线是正弦曲线，此正弦曲线的正半周与调制信号并无差别，正弦曲线的负半周绕着时间轴旋转 180° 。

(3) 高频振荡的周期为 $1/f_c$ ，即为载频的周期。高频振荡的相位在包络过0点处发生突变（倒向）如图 1.3 (c) 中箭头所示。

(4) 无载频双边带波形与含载频双边带波形是完全不同的，主要区别在于：

1) 普通调幅波的包络线完全代表调制信号的波形，在单音正弦调制时，其包络线是一个完整的正弦波；而无载频双边带波形的包络线是正弦波正半周相连接起来的波形，包络线的形状与调制信号的波形是不同的。

2) 普通调幅波的高频相位在振幅趋近于零的地方是连续的；而无载频双边带波的被包络的高频相位，在调制电压通过零值时被倒向（相位突变）。

(三) 单边带信号的波形及频谱

在单音正弦调制下，载波全抑制的单边带信号波形是最简单的，因为单边带信号这时只包含一个振幅固定的频率分量，如工作于上边带时：

$$U(t) = MU_{om}/2 \cos(\omega_c + \Omega)t$$

这个分量的频率就是 $f_c + F$ ，调制度越深，此频率分量的振幅越大，单边带信号波形图及其对应时刻的矢量如图 1.3

(d) 所示。

由此可以看出，单边带信号的包络线绝非调制信号的波形，因为单边带信号的振幅受调制信号的瞬时振幅所控制，在单音正弦的调制下，调制信号的振幅不变，故而，单边带信号的振幅也不变，呈现为等幅的高频振荡，单边带信号的频率则按照调制信号的瞬时频率进行调制，信号为单音正弦

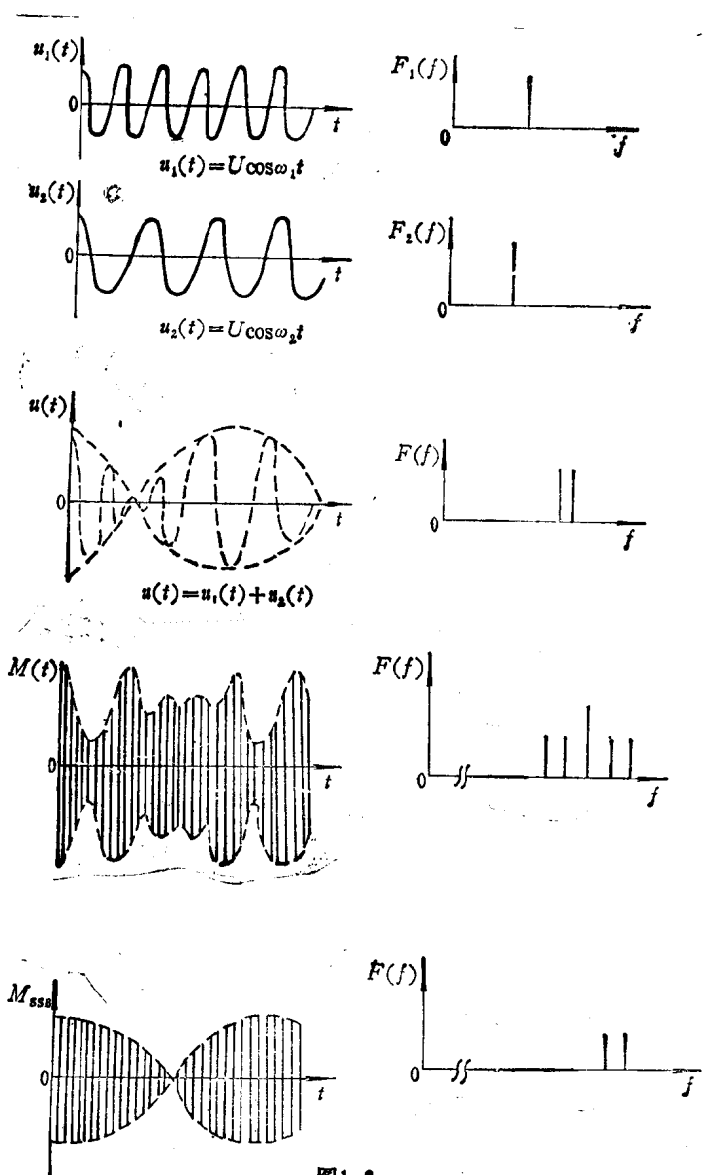


图1.6

的情况下，单边带信号的高频频率为 $f_c + F$ 。

当调制信号为复音频时，同样可以通过上述的矢量作图求得调幅波（即全载频双边带波形），无载频双边带信号波形以及单边带信号的波形图，不过作图较繁，调制信号越复杂，波形图也越复杂。图1.6为双音信号调制时的波形。

从单频信号和双频信号调制图中，虽不能看出单边带信号波形与调制信号波形有什么直接联系，但可以得出：

1) 单边带信号包含着调制信号的全部特征，即包含着表示信号各频率分量的振幅，角频率及初相角，这一情况证实了单边带是可以传递信息的。

2) 比较单边带信号与调制信号的频谱，可以看出，单边带调制并未改变调制信号的频谱构成，所谓调制只是使调制信号的频谱在频率或座标轴上向右移动而已。

第二节 单边带通信的特点

各种调制式都有它的特点和适用范围，单边带通信和双边带通信相比较也有它突出的特点。下面我们从调制信号占据的带宽，发射机功率的有效利用程度和抵抗传输失真等主要方面，来分析单边带制的特点。

一、节约频带

由于单边带通信只是利用调幅信号中的一个边带进行通信，因此能节省频带。

设被传输的声频信号的最高频率分量为 $F_{\max}$ ，并用 B_{AM} ， B_{SSB} ， B_{FM} 分别表示调幅、单边带和调频时信号的带宽，则它们分别等于：