

交通系统中等专业学校试用教材

单边带通信设备

(船舶无线电通信专业用)

大连海运学校

人民交通出版社

435
627

交通系统中等专业学校试用教材

单边带通信设备

(船舶无线电通信专业用)

大连海运学校

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是交通系统中等专业学校船舶无线电通信专业的试用教材。全书共分十一章。前九章主要介绍了单边带通信的特点、调制器与解调器、滤波器、线性功率放大器、宽频带放大器、频率合成器、显示器以及频率变换电路等基本单元电路的原理；后两章介绍了船舶单边带发信机（S—1250）和收信机（MSR—2）的典型电路。

本书亦可供船舶报务人员及有关专业人员自学参考。

交通系统中等专业学校试用教材

单边带通信设备

（船舶无线电通信专业用）

大连海运学校

人民交通出版社出版

（北京市安定门外和平里）

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：12.5 插页：6 字数：286 千

1979年12月 第1版

1979年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,500 册 定价：1.20元

前 言

本教材是交通系统中等专业学校船舶无线电通信专业教材之一。

本教材以讲解物理概念和基本单元电路的原理为主，并给以必要的数学运算和分析整机线路，使学生毕业后具有一定的理论知识和机修能力。

本教材由大连海运学校虞晓光、段广德、刘培元编写，在编写过程中特邀大连工学院王启太、大连海运学院裘福祥编写了部分内容。

本教材在写完初稿后，请大连海运学院周玉钦和大连海运学校宗祖跃进行了初审，最后请武汉河运专科学校王延华、龚飞明、王善甫、祝莲英、杨卓良和谢永营进行了审阅。

在编写教材过程中得到了大连海运学院杨广志、李铁清、善保印等大力帮助和大连海运管理局王天西，大连港务局张福生等同志的热情支持，在此特表谢意。

由于我们水平不高，教材中肯定会有不少缺点和错误，请读者及时批评指正。

目 录

第一章 单边带无线电通信概述	1
第一节 无线电通信中的调制问题.....	1
第二节 单边带无线电话的波形和种类.....	4
第三节 单边带通信的优缺点.....	5
第四节 单边带收发信机的组成.....	6
第二章 单边带通信的调制与解调	9
第一节 晶体二极管调制器的分析方法.....	9
第二节 各种晶体二极管单边带调制器.....	15
第三节 单边带解调器.....	28
第四节 有源单边带调制器和解调器.....	30
第三章 边带滤波器	33
第一节 滤波器的一般概念.....	34
第二节 晶体滤波器.....	36
第三节 机械滤波器.....	43
第四节 陶瓷滤波器.....	47
第四章 高频线性功率放大器	48
第一节 工作种类的选择.....	48
第二节 负反馈在单边带放大器中的应用.....	49
第三节 配谐方法.....	50
第五章 频率合成技术	53
第一节 频率合成的概念和分类.....	53
第二节 倍频器.....	54
第三节 分频器.....	55
第四节 混频器.....	56
第五节 数字式频率合成器.....	58
第六章 宽频带线性放大器	68
第一节 扩展通频带的方法.....	68
第二节 采用传输线变压器的宽频带功率放大器.....	71
第七章 单边带激励器	77
第一节 音频电路.....	77
第二节 频率变换电路.....	78
第三节 载频插入电路.....	80
第八章 单边带收信机	81
第一节 概述.....	81
第二节 自动增益控制.....	84

第九章 显示器	94
第一节 数码管.....	94
第二节 译码原理.....	94
第十章 发信机线路介绍(S-1250型)	98
第一节 技术性能.....	98
第二节 方框图.....	99
第三节 整机框架布线.....	104
第四节 主电源部分.....	106
第五节 SSB 激励器抽屉的布线与电源.....	108
第六节 音频信号处理电路.....	110
第七节 调制器滤波器和混频电路.....	112
第八节 宽频带放大器和杂音抑制电路.....	114
第九节 功能控制电路.....	115
第十节 功率放大器部分.....	118
第十一节 天线匹配网路.....	122
第十二节 频率合成器的框架和面板.....	126
第十三节 频率合成器的电源供给电路.....	127
第十四节 标准频率电路.....	123
第十五节 33.4991~33.5000MHz锁相环路.....	130
第十六节 33.4991~33.5000MHz的可变分频器电路.....	132
第十七节 35.000~64.999MHz锁相环路.....	136
第十八节 35.000~64.999MHz的可变分频器电路.....	143
第十九节 输出门控电路和 1.5 MHz信号电平控制电路.....	146
第二十节 工作说明.....	146
第二十一节 故障自动寻找设备.....	148
第二十二节 故障分析和数据测量.....	151
第十一章 收信机线路介绍(MSR-2型)	155
第一节 性能及技术指标.....	155
第二节 面板控制.....	157
第三节 开机操作.....	158
第四节 输入回路.....	159
第五节 高频放大器.....	160
第六节 混频器和中频放大器.....	160
第七节 检波电路.....	161
第八节 低放及 AVC 电路.....	162
第九节 频率合成器.....	163
第十节 锁相电路.....	164
第十一节 电源供给.....	166
第十二节 计数和显示.....	166
复习题	170

附图

发信机部分:

方框图.....	插页
整机框架布线图.....	插页
A1、A1 A1、A1 A2	插页
A2	173
A2 A1	174
A2 A2	175
A2 A3	176
A2 A4	177
A2 A5	178
A2 A7	179
A2 A8	180
A3	插页
A3 A1	181
A3 A2	182
A3 A3	183
A3 A4	184
A3 A5	185
A3 A6	186
A3 A7	187
A3 A8	188
A3 A9	188
A4、A4 A1 and A4 A2	插页
A5	插页
A6	插页

收信机部分:

收信机总图 1	189
收信机总图 2	190
收信机总图 3	插页
收信机总图 4	插页
收信机总图 5	插页
收信机总图 6	插页
收信机总图 7	191

第一章 单边带无线电通信概述

到目前为止,一般调幅发信机(或称为双边带调幅发信机)虽已日趋完善,并能完成多种通信任务,但由于无线电通信业务应用的日益广泛,电台数量的迅速增加,出现了空中电波拥挤,造成了电台之间的互相干扰,影响了通信效果。同时,为了提高收信机的信号噪声比,以减弱干扰的影响,解决上述矛盾的办法之一是压缩信号所占的频带范围。从调幅波的频谱分析中我们得到启发,如果将调幅波的一个边带去掉,只发射一个边带,这样既可达到通信的目的,又可节省频带,使在限定的波段内既可容纳较多的电台,又提高了接收机的抗干扰能力。

单边带通信就是在双边带调幅制的基础上发展起来的一种高效率的通信方式。它与双边带调幅制相比,在同样的通信效果下,它具有节省功率,频带减少一半,抗干扰能力强等一系列优点。

近年来电子工业和电子技术迅速发展,许多新技术,新工艺,新产品不断出现,为单边带通信技术的发展开辟了广阔的前景,使单边带通信应用范围日趋广泛。

目前我国已有许多单位正在试制和生产各种类型的单边带设备,尤其是在水运通信系统中对单边带通信设备的应用更为迫切。为适应船舶无线电通信发展的需要,本课程将在讲述单边带原理的基础上,结合船用通信设备进行电路分析。

本章主要讨论四个问题,即:

1. 无线电通信中的调制问题;
2. 单边带无线电话的波形和种类;
3. 单边带通信的优缺点;
4. 单边带收发信机的组成。

第一节 无线电通信中的调制问题

为了对单边带通信技术的提出能够有一个形象的了解,我们首先介绍一下有关调制的问题。

我们知道,作为一个通信系统,不管多么复杂,都不外乎是由发信设备、收信设备、和充满空间的无线电波所构成。可以说,无线电波是远距离传送信息的桥梁,就其本质来讲,远距离的信息传递是靠调制来实现的。过去我们已经学习过调幅制,从原理和实现的方法上看,调幅制最简单,而且调幅设备也较简单。因调幅制与单边带技术有直接关系,所以在此首先复习一下过去学过的调幅制的内容。

一、调幅波的波形、表达式和频谱

若调制信号为 $u_o(t) = U_o \cos \Omega t$, 载波信号为 $u_c(t) = U_c \cos \omega_c t$, 则调幅波的表达式为:

$$u(t) = U_c (1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_c t \quad (1-1)$$

式中: M ——调幅系数 (或称调幅度),

$$M = \frac{U_a}{U_c}.$$

单音频调制的调幅波波形和频谱如图 1-1 所示。

从调制波形图可见, 调幅波的特点是其包络随调制信号变化, 但其频率是固定不变的, 并等于载波频率。

公式(1-1)还可写成另一种形式, 即:

$$u(t) = U_c \cos \omega_c t + \frac{m}{2} U_c \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{m}{2} U_c \cos(\omega_c - \Omega)t \quad (1-2)$$

式中: U_c ——载频信号电压的振幅;

ω_c ——载频电压的角频率, $\omega_c = 2\pi f_c$;

Ω ——音频调制电压的角频率, $\Omega = 2\pi F$ 。

由(1-2)式可知, 当频率为 F (角频率为 Ω) 的音频电压对频率为 f_c (角频率为 ω_c) 的高频振荡进行调制时, 已调制的高频电压可以看成是由频率为 f_c , $f_c + F$, $f_c - F$ (角频率分别为 ω_c , $\omega_c + \Omega$, $\omega_c - \Omega$) 的三个振荡电压组成。其中: f_c 称为载频; $f_c + F$ 称为上边频; $f_c - F$ 称为下边频。当 $m = 1$ 时, 则三个电压的比例关系为 $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{2}$, 如果我们画一条代表频率的水平线, 按上述关系引三条垂线, 其高度符合幅度的比例关系, 就得到了单音调制时的已调幅波的频谱图, 如图1-1所示。因为 m 的值在一般情况下总是小于 1 ($U_a = U_c$ 时除外) 的, 故调幅波内的载频分量的幅度必然要比边频的幅度大的很多, 而上下边频的幅度是相等的。

从频谱图可以看出, 频带宽度为 $\Delta f = 2F$, 即单音调幅波所占的频带宽度为调制音频频率的 2 倍。

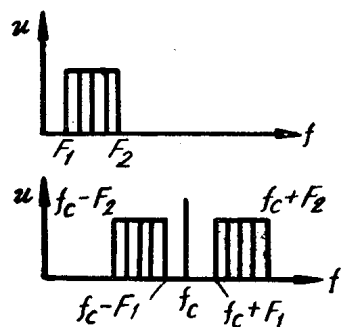


图1-2 已调幅波的频谱

如果调制信号不是单一的音频信号, 而是一个较复杂的声音信号 (令其最低频率是 F_1 , 最高频率是 F_2), 对高频振荡进行调制时, 则已调幅波的频谱如图1-2所示, 当音频为较低的频率 F_1 时, 其边频为 $f_c + F_1$ 和 $f_c - F_1$, 而当音频为较高的频率 F_2 时, 其边频为 $f_c + F_2$ 和 $f_c - F_2$ 。因此, 当音频为 $F_1 \sim F_2$ 范围内一系列的频率时, 已调幅波除载频 f_c 外, 还有两个边带, 一个边带的频率范围是 $(f_c + F_1) \sim (f_c + F_2)$ 称为上边带; 另一个边带的频率范围是 $(f_c - F_1) \sim (f_c - F_2)$, 称为下边带。从图中可见, 频带宽度为 $\Delta f = 2F_2$, 即当发射无线电电话时, 所占频率宽度为最高调制音频频率的两倍。

例如载频 $f = 8\text{MHz}$, 音频调制电压的频率范围是 $F_1 \sim F_2 = 300 \sim 3000\text{Hz}$ 时, 已调幅波上边带的频率范围就是 $8000.3 \sim 8003\text{kHz}$, 下边带的频率范围则是 $7997 \sim 7999.7\text{kHz}$, 频带

宽度为6KHz。

通过上述对调幅波的频谱的讨论，使我们明确了，一般双边带调幅发射机除发射载频外，还发射两个边带，所占的频带宽度为最高调制音频频率的两倍。

二、载频功率、边频功率、总功率

如果调制信号为单一频率的正弦波， R 为负载电阻，则：

$$\text{载波功率 } P_c = \frac{1}{2} \frac{U_c^2}{R}$$

$$\text{上边频功率 } P_{\text{上}} = \frac{1}{2} \left(\frac{m}{2} U_c \right)^2 \frac{1}{R} = \frac{1}{4} m^2 P_c$$

$$\text{下边频功率 } P_{\text{下}} = \frac{1}{2} \left(\frac{m}{2} U_c \right)^2 \frac{1}{R} = \frac{1}{4} m^2 P_c$$

$$\text{总功率 } P_{\text{总}} = P_c + P_{\text{上}} + P_{\text{下}} = \left(1 + \frac{m^2}{2} \right) P_c$$

三、双边带调幅制的缺点

1. 功率的利用率不高。因强大的载频信号不含信息，尤其是在无声状态（即语言或音乐的停顿间歇期间），没有传递任何信号，却仍然发送大功率的载频，浪费很大功率。

在调幅波中，信息包括在边频之中，由此可知，整个调幅波的功率中，真正有用的是边频功率。即使当 $m = 1$ 时，边频功率最大，此时边频也只是载频功率的一半。可见，此种调制方式载波功率的浪费是很大的。

2. 设备的利用率不高。调幅波的峰值功率 $P_{\text{峰}} = P_c(1 + m)^2$ 是比较大的，在 $m = 1$ 的情况下将是载频功率的 4 倍，要求发射机中的有关管子、回路、匹配网路、传输线和天线都必须能承受这样大的功率，无疑在设备的利用率方面是不经济的。

3. 频带利用率不高，调幅波所占频带宽度是话音信号最高频率的两倍，显然在频带使用方面也是不经济的。

4. 从电波传播的角度来看，由于存在着选择性衰落现象，载频、上边频、下边频之间的相位关系遭到破坏，重新合成的调幅波不仅是失真的，而且幅度也变小，有时由于载频失落，会发生严重失真现象。

从经济有效的传递信号这个观点来看，理想的调制方式应当是：（1）没有载频；（2）只有一个边带。换言之，就是把要传送的但自己又不能直接发射的语言信号搬移到射频频段上。这样，既能利用无线电波把话音信号传到远方，又不浪费任何功率和频带，选择性衰落现象也获得某种程度的克服，这就是单边带通信发展的最初设想。

四、什么叫单边带通信

从以上分析我们知道，单音频调制的调幅波是由载频、上下边频三部分组成的。我们又知道被传送的信号仅包含在上、下边频（或边带）中，载波不具有信号的特征。

单边带通信，就是根据调幅波的传播特性，通过一种装置，把一个边带和载频（或一部分载频）抑制掉，只发射一个边带（上边带或下边带），而在单边带收音机中附加一个载频（与发信机中的载频相同）同接收到的单边带信号同时加到解调

器, 把语言信号解调出来, 这种方法称为单边带通信。

第二节 单边带无线电话的波形和种类

一、单边带无线电话的波形

为了加深对单边带的基本概念的认识, 下面把单边带的波形与双边带的波形加以比较。为了简单起见, 仍以单音调制为例, 比较调幅波与单边带信号的波形。它们的波形如图 1-3 所示。在图中 $m = 1$ 。图 1-3(a) 是普通调幅波波形, 它包括载频和上、下边频, 它的数学表达式如式 1-2 所示。图 1-3(b) 是载频被抑制只有上下边频时的波形 (即无载频的双边频波形)。它的表达式为:

$$u = \frac{m}{2} U_c \cos(\omega_c + \Omega)t + \\ - \frac{m}{2} U_c \cos(\omega_c - \Omega)t$$

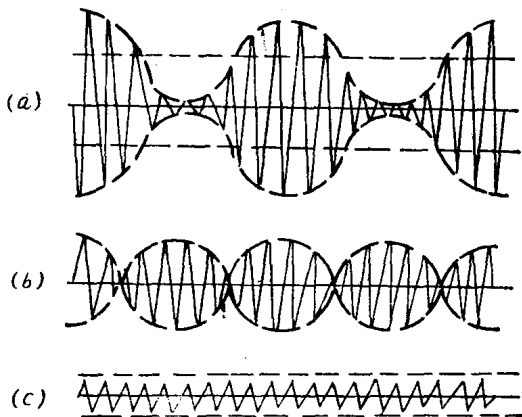


图 1-3 调幅信号与单边带信号的波形比较

应当指出, 失去载频后, 只剩下双边频的波形包络与图 1-3(a) 所示的调幅波的包络是不同的。图 1-3(c) 是只有一个边频 (上边频或下边频) 时的波形。它必然是一个等幅波, 因为它的数学表达式为:

$$u = \frac{m}{2} U_c \cos(\omega_c + \Omega)t$$

或

$$u = \frac{m}{2} U_c \cos(\omega_c - \Omega)t$$

从上述波形比较中可知: 单音调制时, 因为调制电压和调制频率是固定不变的, 所以发射单边带时, 其波形为等幅波。据此可以推论, 当发射无线电话信号时, 因调制电压和调制频率是随着声音的强弱, 音调的高低而变化的, 因此, 它的调幅波波形是比较复杂的, 当由双边带无线电话发射转为单边带发射时, 有两点需要指出:

1. 单边带信号的电流波形不是等幅波, 其幅度和相角是随时间变化的, 这个特点是我们以后讨论单边带信号放大时, 考虑问题的出发点。

2. 尽管二者波形的包络都随调制信号波形变化, 但包络形状却完全不同。

二、单边带无线电话的种类

船用单边带发射机的工作种类, 除 $A1$ 、 $A2H$ 和 $F1$ (移频报) 外, 还有 $A3H$ 、 $A3A$ 、 $A3J$ 三种单边带无线电话。根据规定它们均发射上边带, 三者的区别在于发射载频电平的大小不同。载频电平的大小由工作种类开关控制。为获得不同种类的单边带无线电话, 通常是在获得无线电信号之后重新插入一个适当电平的载频电压, 这种重新加入载频的方法叫做“载频重置” (在 $A3.44$ 图中将详细介绍)。

图1-4为三种单边带信号的频谱图，下面分别说明它们的含意和用途。

A3H ——发射全载频和上边频，如图1-4(a)所示。

普通双边带收信机可以直接接收，它在双边带向单边带过渡时期允许使用。据国际规定在短波4MHz以上，1978年将停止使用A3H类发射。

A3A ——发射被减弱的载频和上边带，如图1-4(b)所示。图中实线部分表示载频电平，与虚线相比较，表示载频减弱的程度，这种发射一部分载频的目的，是给老式的单边带收信机的辅助振荡器提供导频信号。

A3J ——载频全部被抑制，只发射上边带，如图1-4(c)所示。据国际规定，在短波段(4MHz以上)自1978年1月1日起只允许使用A3A、A3J类发射。

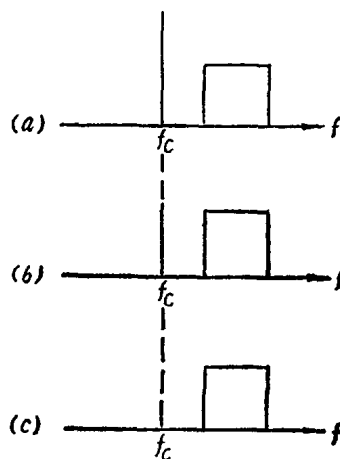


图1-4 三种单边带信号的频谱

第三节 单边带通信的优缺点

一、单边带通信的优点

1. 节省频谱：这里讨论的优点，是相对调幅制而言。单边带通信只发送一个边带，它比调幅制通信节约了一个边带，因此，在同样的频率范围内，使无线电台的数量可以增加一倍。或者说，如果保持原有无线电台台数，可以使通话路数增加一倍。即一路用上边带通话，另一路用下边带通话。一般说来，单边带通信的频带宽度为4KHz，调幅制为10 kHz。

2. 节约功率：从调幅波的总功率（即载频、上、下边频功率之和） $P = \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) P_c$ 的表达式可见，当 $m = 1$ 时， $P = \frac{3}{2} P_c$ ，即 $P_c = \frac{2}{3} P$ 。载波功率占发射功率的2/3，而一个边频的功率只占发射功率的1/6。可见单边带发信机可节省5/6的功率。

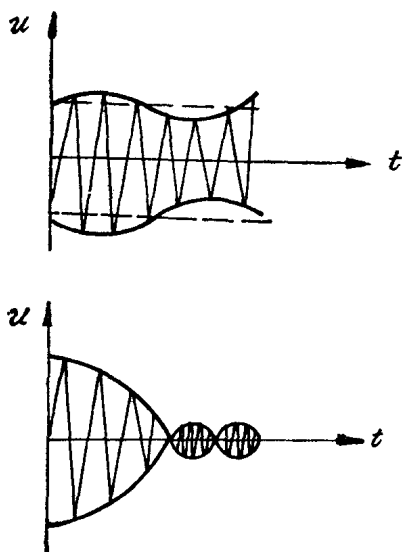


图1-5 过调制失真波形

3. 单边带通信失真小：收听短波信号时，有时发现信号忽强忽弱，时有时无的现象，这是由于电波经电离层反射时，因电离层变化不规则，对电波的损耗忽大忽小所造成的。在调幅制通信中，载波功率占发射功率的2/3，因之相对衰减也就大，这就使得收信机收来的已调幅波的波形、频谱发生了变化。如图1-5所示，产生了过调制，造成失真。而单边带不发射载频，同时单边带通信频带较窄，因此，上述电离层对电波的衰减引起的失真相对就小。

此外尚有噪声小，保密性强等优点。

二、单边带通信的缺点

单边带通信有一系列的优点，但也有它的缺点，其主要原因是：

1. 频率稳定度要求高：在单边带收信机中，恢复载频的频率必须严格地和原来载频相同。在一般情况下，可以允许的误差为 $20\sim 80\text{Hz}$ 。在短波波段内，这样的要求是很高的，如果允许误差是 45Hz ，当其工作频率为 15MHz 时，要求的频率稳定度将是 $45/15 \times 10^{-8} = 3 \times 10^{-6}$ 。这个数字比实际规定的稳定度 3×10^{-5} 高十倍。要得到这样高的频率稳定度必须在发信设备中采取特殊的措施，这在技术上难度是较大的，这也是单边带通信发展迟缓的原因之一。

2. 放大器的线性要好：放大调幅信号可用效率较高的丙类放大器，因此不存在线性放大的问题。放大已调幅信号，应用线性放大器是为了减小信号的非线性失真。但由于调幅发射机大多采用末级调幅，因而避免了用线性放大器的问题。对单边带通信来说，由于单边带信号的形成电路，总是处于较低的电平，必须经过多级不失真的放大才能达到所要发射的功率。因此，单边带信号的放大在单边带通信中占有重要地位，对它要求十分严格。

此外对边带滤波器的要求也较高。

由于上述原因就使单边带设备存在结构复杂、制造困难、价格较贵等缺点。

第四节 单边带收发信机的组成

一、单边带发信机的主要组成部分

船用单边带发信机的主要组成如图1-6所示。设音频的频率范围是 $F_1 \sim F_2$ ，频率产生器输出的载频分别为 f_{c1} 和 f_{c2} 。

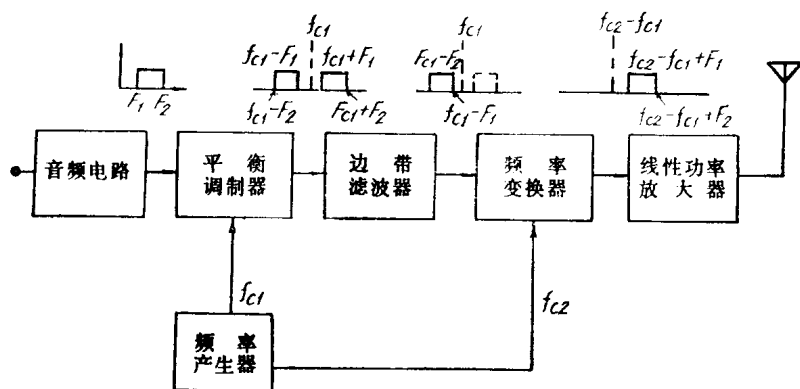


图1-6 单边带发信机原理方框图

1. 频率产生器：它的作用是产生发信机所需要的频率。通常包括一个装在恒温器内的高稳定度石英晶体振荡器和一系列的分频（整数除）、倍频（整数乘）和混频（和、差）电路，以及必要的滤波和放大电路。石英晶体振荡器产生一个标准频率 f_0 ，由它经过不同次数的分频、倍频和混频，得到所需要的各个频率。

2. 音频电路：把由话筒输入的音频信号放大到一定电平，并削去声音中的尖峰和把音频频带限制在 $F_1 \sim F_2$ 以内，当 $F_1 = 300\text{Hz}$ ， $F_2 = 2700\text{Hz}$ 时，则输出频带为 $300\text{Hz} \sim 2700\text{Hz}$ 。

3.平衡调制器：在平衡调制器中，音频信号对载频信号 f_{c1} 进行幅度调制，载频 f_{c1} 由频率产生器供给，一般都选得较低，如100kHz或1500kHz，在调制过程中并把载频 f_{c1} 抑制掉，输出上边带 $(f_{c1} + F_1) \sim (f_{c1} + F_2)$ 和下边带 $(f_{c1} - F_1) \sim (f_{c1} - F_2)$ 。

4.边带滤波器：它的通频带很窄，频率选择特性很陡峭，常用的是石英晶体滤波器和机械滤波器。平衡调制器输出的二个边带只有一个能通过边带滤波器，另一个边带被滤除，载频成分被进一步抑制，因此得到单边带输出。在边带产生时可以取下边带，也可以取上边带，这要根据后面频率变换的需要而定。图1-6中取的是下边带用 $f_{c1} - \Delta f$ 表示， $\Delta f = F_1 - F_2$ 。

5.频率变换器：在边带产生中，载频 f_{c1} 选得较低，而且是固定不变的，主要考虑是使平衡调制器容易实现平衡，对载频进行最充分的抑制。另一方面是边带滤波器的频率目前尚不能做得很高。但是发信机频率应该在410kHz~25MHz之间可调，这就需要将载频为 f_{c1} 的单边带信号变换到上述可调的频率上。把 f_{c1} 的单边带信号和一频率可调信号 f_{c2} 同时送到混频器进行混频，在输出端取其和或差，就可实现这种变换。在发信机中一般要进行多次变换后才能达到发射频段的要求。国际上规定船用单边带发信机仅发射上边带，因此在最后一次变换时应保证输出上边带。在图1-6中，假定只进行一次频率变换，取 f_{c2} 与 $(f_{c1} - \Delta f)$ 之差， $f_{c2} - (f_{c1} - \Delta f) = (f_{c2} - f_{c1}) + \Delta f$ ，原在边带产生中得到的是下边带，但经此变换后，却得到了上边带输出，这时载频已变为 $(f_{c2} - f_{c1})$ ，通常把它称作发射频率。

6.线性功率放大器：上述单边带信号产生和频率变换过程都是在低功率上进行的，它们最后的输出功率和电压幅度都很低，所以在把信号送到末级放大之前要经过几级的功率放大，把信号放大到足以推动末级功放的程度。这几级放大器连同末级功放在内，都必须是“线性”放大器，使输出信号电压与输入信号电压成比例地变化，即波形相同，以避免产生失真。为减小设备的体积和得到较好的线性，末级功放多采用金属陶瓷管。

单边带发信机除了以上几个组成部分外，尚有电源供给及控制电路，发报时的键控电路，以及进行A3A、A3H类发射时的载频重置电路等。载频重置电路的作用是供发射A3A（减载频话），A3H（全载频话）用，在平衡调制之后，载频已被抑制，当发射A3A、A3H时，通过此电路在已获得的单边带信号中再加入适当幅度的载频。

在结构上，单边带发信机和目前常用的调幅发信机一样，把电路的各个组成部分装在几个底盘上。一般的分法是：电源、频率产生器、激励器（包括音频电路、边带产生电路、频率变换电路、键控电路、载频重置电路等）、功放和天线调谐电路等部分。

二、单边带收信机的主要组成部分

单边带收信机与普通调幅收信机一样，多是采用超外差接收的方法。它的简化方框图如图1-7所示。其中高放、混频、低放的作用和电路同普通调幅收信机基本相同。本振、中放检波、自动增益控制(A.G.C)有些差别。

1.本级振荡器：在单边带收信机中，对本振频率的稳定度要求较高，有的机器可达到每小时五周的高稳定度，多是用晶体振荡器或频率合成器产生所需要的本振频率。

2.中频放大器：它的功用是在混频之后选出所需要的单边带信号，并进行放大。因为单边带信号的频带窄，为减小失真和干扰，对信号频率之外的频率成分要有足够的衰减，故中放电路的频率选择特性要比较陡峭，常采用机械滤波器或晶体滤波器。虽然已经规定海用单边带通信设备只用上边带，但有的单边带收信机为了兼顾其它应用，还是装有边带选择开

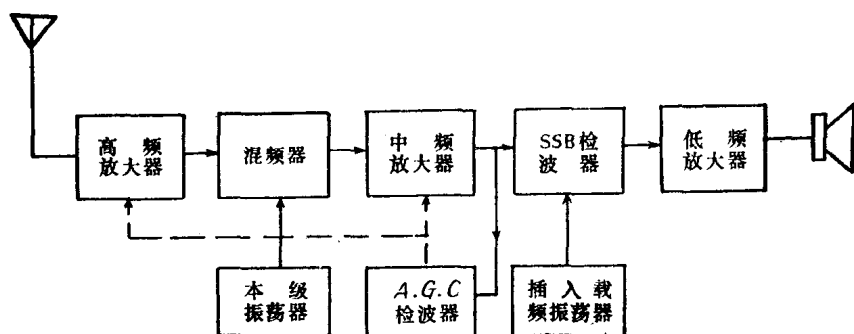


图1-7 单边带收音机原理方框图

关。通过此开关的转换，可以接收上边带信号，也可以接收下边带信号。在电路，这个转换一般是通过移动中放的通频带来实现的。

3.单边的检波：单边带检波电路担负着将单边带信号恢复为音频信号的任务。重新插入的载频信号在检波过程中加入。为能接收普通调幅波（ A_3 和 A_2 ）信号，电路中还有普通调幅波检波电路，两种检波电路用收音机面板上的工作种类开关进行选择。

4.单边带收音机的自动增益控制电路：单边带收音机的自动增益控制电路与普通调幅收音机的自动增益控制电路有所区别，这是由接收信号的性质决定的。 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_3H 类信号都有连续的载频，接收这类信号时，对载频进行检波即可得到自动增益控制电压。对于 A_3A 和 A_3J 类信号，载频已被减弱或被完全抑制，自动增益控制电压这时只能由边带信号检波获得。但单边带信号随发话者的吐字音节而有瞬时断续，自动增益控制电压却不应有这种断续，否则在发话者每次发话开始的瞬间，由于控制电压还未来得及建立，使收音机受控各级的增益很大，声音很强，造成噪声。因此，接收单边带信号时，自动增益控制电路应当具备这样的特点，即控制电压建立快、衰减慢，以及信号结束后控制电压能够迅速下降，使收音机的灵敏度迅速恢复。要达到这些要求，必须采用较复杂的自动增益控制电路。为照顾不同的特点，常用工作种类开关进行转换，以选择适当的自动增益控制电压。

通过这一章的学习应该掌握以下两个问题：

1.单边带通信的优点。与双边带通信相比它有一系列的优点，如：占的频谱窄，在相同的频段内，可容纳的电台多；节约功率；抗干扰能力强等。因此，单边带通信近年来得到了迅速的发展。

2.熟悉单边带收发信机的基本方框图，对单边带收发信机的组成有个清楚的概念。

第二章 单边带通信的调制与解调

单边带通信和其它通信型的区别就在于它传输的信号特点不同。单边带信号在波形上具有调幅——调相（调频）波的特点，而在频谱结构上具有线性搬移的特点，如果不能保证这些特点，则单边带通信就无法实现。由此可见单边带信号的调制（即产生）和解调（即恢复）在单边带通信中具有十分重要的意义，在任何单边带通信设备中都是不可缺少的。

单边带信号产生的方法可以有滤波法和移相法两种，但在目前的单边带通信设备中唯有滤波法得到广泛的应用，而移相法尚在研究和实验过程中，还不能实际运用，因此，我们在这里只介绍用滤波法来产生单边带信号的过程。

从单边带发信机的方框图（图1-6）可见，单边带信号是用边带滤波器从没有载频的双边带信号中提取出来的。如果边带滤波器的通带位置高于载频，则取出的是上边带信号；相反，如果边带滤波器的通带位置低于载频，则可得到下边带信号。因此，边带滤波器是产生单边带信号不可分割的一部分，关于滤波器的详细内容我们将在第三章内研究，这里我们只讨论单边带调制器和解调器。

单边带调制器所采用的非线性元件可以是各式各样的，例如：二极管、三极管、电子管、场效应管以及固体电路等。但是，从目前大多数单边带通信设备所使用的实际情况来看，以用晶体二极管作为单边带调制器的非线性元件占优势。因此，我们在这里也是以二极管调制器（或解调器）作为研究的重点。

本章讨论四个问题，即：

1. 晶体二极管调制器的分析方法；
2. 各种二极管单边带调制器电路；
3. 单边带解调器；
4. 有源单边带调制器和解调器。

第一节 晶体二极管调制器的分析方法

晶体二极管是个典型的非线性元件，当它的两端加上正向电压 U_+ 时呈现的电阻很小（大约是几十或几百欧），因此，通过它的电流 I_+ 就很大，而当它两端加反向电压 U_- 时，呈现的电阻就很大（大约是几十或几百千欧），因此，通过它的电流 I_- 就很小，这种非线性特点可以用图2-1的伏安特性来表示。

正确的伏安特性必须通过实际测量来确定，它与制造二极管的材料的不同而有很大的差别。例如锗管的正向电流上升快，而反向电流较大；硅管的反向电流特别小，但正向时电流增长的起始点电压（俗称“死区电压”）较大（约为0.7伏，锗管为0.3伏）；此外，还有根据不同用途做成提高一部分特性而牺牲另一些特性的晶体二极管，例如提高反向电阻而减小反向电流的高反向电阻二极管，或者是特别提高了最高反向电压的高反向电压二极管等，最近还出现了热载流子二极管，它同时具有良好的正向特性和反向特性，并且还有低声性能

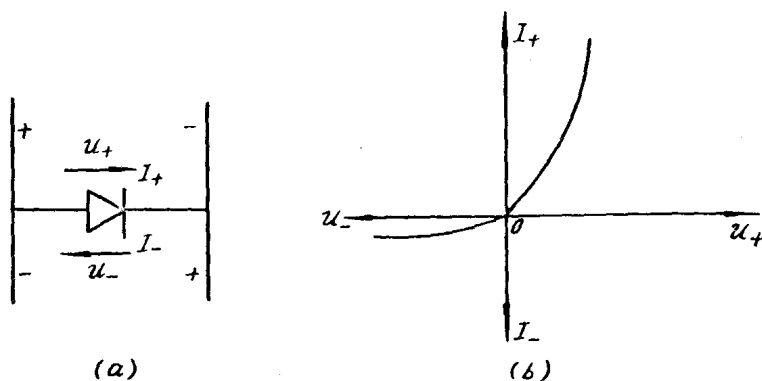


图2-1 二极管的伏安特性

等，受到了人们的广泛重视。

由于各种晶体二极管的温度特性，老化程度，参数的不均匀性等都会影响到伏安特性的变化规律，因此，要想精确的用数学函数来描绘晶体二极管的伏安特性几乎是不可能的。同时在实际上也完全是不必要的。

通常是采用近似函数来描绘其主要特性，例如用指数函数来表示晶体二极管的伏安特性，即：

$$I = I_{co}(e^{au} - 1) \quad (2-1)$$

式中： I_{co} ——反向饱和电流。通常只有几个或几十个微安；

a ——常数，它决定电流增长的速度；

u ——电压（它是变量）；

e ——自然对数(2.718……)。

由于指数函数在数学运算上较麻烦，因此，用它来分析调制器的工作原理是很困难的，所以一般不采用它。

比较常用的是用幂级数来表示晶体二极管的伏安特性，即：

$$I = a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3 + \dots + a_n u^n \quad (2-2)$$

式中： $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ ——是相应于各阶的系数，它们具有不同的量，可以是正数，也可以是负数，与伏安特性的形状有关。

从理论上讲，应该取无限多项才能正确的反映原来的特性，但实际上这是不可能的，同时也是不必要的。因此，究竟取多少项才合适，这要决定于我们所要求的近似程度。一般的讲，在研究调制器的频率成份时，应该多取几项（例如3到5项），而在分析有用频率分量的幅度时可以少取几项（例如2项），因为在上述多项式中，高阶的系数将越来越小，在电流成份中的比例可忽略不计。

现在来分析二极管调制器的工作原理。

图2-2是单管调制器电路，其中 $u_o(t)$ 是音频

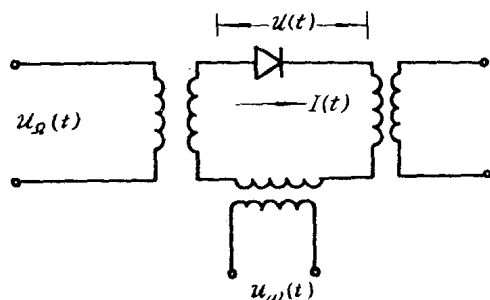


图2-2 二极管调制器的原理电路

调制电压， $u_w(t)$ 是载频电压，它们分别通过变压器加到晶体二极管的两端。

为了简化起见，这里的变压器都用1:1。因此，加在二极管两端的电压 $u(t)$ 应等于