

单边带通讯设备

(上册)

(基本原理和单元电路)

西安交通大学

无线电技术教研室通讯教学组编

一九七七年九月

毛主席语录



中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们能够学会我们原来不懂的东西，我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种客观规律性的认识去能动地改造世界。

要把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上。

上册目录

第一章 单边带 (SSB) 无线电通信概论

| | |
|--------------------------|----|
| § 1-1 什么叫单边带无线电通信? | |
| § 1-2 单边带调制的特点 | 1 |
| 1-2-1 单边带信号及其占有频带 | 6 |
| 1-2-2 单边带信号数学表达式和结论 | 7 |
| 1-2-3 单边带信号波形图 | 7 |
| 1-2-4 兼容信号及单边带信号的解调 | 14 |
| 1-2-5 单边带无线电通信中对频率稳定度的要求 | 23 |
| § 1-3 单边带通信机的组成 | |
| 1-3-1 单边带信号的产生 | 26 |
| 1-3-2 单边带发射机的组成 | 29 |
| 1-3-3 单边带信号的接收 | 37 |
| 1-3-4 单边带接收机的组成 | 38 |
| § 1-4 单边带通信的优缺点 | 42 |

第二章 SSB 无线电通讯中的频率变换

| | |
|-------------------------------|----|
| § 2-1 概述 | 49 |
| § 2-2 SSB 通讯中调制通、解调通和频混器的共同特性 | 52 |
| § 2-3 晶体管的非线性特性 | 59 |
| § 2-4 场效应管 (FET) 及其特性 | 63 |
| § 2-5 SSB 变频器 | |
| 2-5-1 变频器主要参数 | 71 |
| 2-5-2 长尾偶变频器 | 72 |
| 2-5-3 FET 变频器 | 77 |
| 2-5-4 变频器设计考虑 | 81 |
| 2-5-5 变频器电路 | 81 |
| § 2-6 SSB 调制通 | |
| 2-6-1 调制器传输系数 | 86 |
| 2-6-2 载漏 | 90 |

| | |
|---------------------|-----|
| 2-6-3 环调设计考虑 | 90 |
| 2-6-4 调制器电路 | 92 |
| § 2-7 SSB解调器 | |
| 2-7-1 SSB解调的非线性失真 | 97 |
| 2-7-2 SSB解调的设计考虑 | 102 |
| 2-7-3 SSB解调电路 | 103 |
| § 2-8 倍频器 | |
| 2-8-1 倍频器工作状态 | 106 |
| 2-8-2 倍频器输出回路 | 109 |
| 2-8-3 倍频器增益 | 110 |
| 2-8-4 倍频器电路 | 112 |
| § 2-9 分频器 | 114 |

第三章 SSB通讯设备中常用的滤波器

| | |
|----------------------------|-----|
| § 3-1 滤波器的特性要求 | |
| § 3-2 L. C滤波器的工程计算 | 119 |
| 3-2-1 低通滤波器的分析和设计 | 121 |
| 3-2-2 带通滤波器的设计 | 128 |
| 3-2-3 滤波器的制作与调正 | 135 |
| § 3-3 晶体滤波器 | |
| 3-3-1 一般原理 | 137 |
| 3-3-2 差接晶体滤波器 | 138 |
| 3-3-3 晶体滤波器举例 | 141 |
| § 3-4 陶瓷滤波器 | |
| 3-4-1 陶瓷谐振器的等效电路 | 142 |
| 3-4-2 陶瓷振子常用模式及其性能 | 143 |
| 3-4-3 陶瓷滤波器电路举例 | 147 |
| § 3-5 机械滤波器 | |
| 3-5-1 工作原原 | 148 |
| 3-5-2 机械滤波器的常用结构 | 149 |
| 3-5-3 机械滤波器举例 | 150 |
| § 3-6 各种滤波器的比较和选用 | 152 |
| 附录 I 回路 L. C 的选择和计算 | 152 |
| 附录 II 肖脱基二极管 | 157 |

第一章 单边带无线电通信概论

本章着重介绍三个问题：（一）、单边带调制的特点；（二）、单边带通信机的组成；（三）、单边带通信的优缺点。其中单边带调制信号的特点尤为重要，掌握这个问题是设计、应用和维护单边带通信机的基础。

§1—1 什么叫单边带无线电通信？

无线电通信的目的在于利用无线电波传递信息。其中包括无线电报和无线电话。为了达到通信的目的，目前在技术上比较成熟的方法之一是调幅制无线电通信体系。这就是将希望传递的音频信号（如语音信号）调制高频振荡的振幅，使已调高频（射频）振荡的包络线完全反映信息的内容，然后通过天线形成无线电波。在接收端一般通过外差的方法，将已调幅高频振荡变成包络线相同的已调幅中频振荡（一般中频为 465 KHZ ），然后通过接收机的解调装置，即检波器，从已调中频振荡中提取到包络线的变化，即能正确的还原原始信号。这个过程就是调幅制无线电通信传递信号的过程。

原始信号应该是一种不规则信号或随机信号，因为任何规则信号都不能含有信息。所谓规则信号是时间的某一确定函数，只要知道了这个函数就没有必要去传递这种信号。只有当信号的变化规律不能于知时，接收者才能由它获得有用的信息。实际上，往往把实际信号人为地理想化为各种规律信号，从而研究其通过各种特殊通信系统时所发生的变化，得到很多有用的概念。因而对于任何复杂的原始信号总可以人为地把它分解成若干个简单的简谐振荡之和来研究。原始信号一般的表示式为：

$$e(t) = E(t) \cos \varphi(t) \quad (1-1)$$

式中： $E(t)$ 称为有效信号的瞬间幅度值。

$\varphi(t)$ 为瞬间角速度或相位。

取 $\varphi(t)$ 的导数， $\frac{d\varphi(t)}{dt} = \Omega(t)$ ，称为瞬间频率

在最简单的情况下，调制信号为单音频 F ($F = \frac{\Omega}{2\pi}$) 正弦或余弦信号，即：

$$E(t) = E_0, \quad \frac{d\varphi(t)}{dt} = \Omega,$$

$$\text{则 } e(t) = E_0 \cos \Omega t \quad (1-2)$$

为了回答什么叫单边带无线电通信的问题，我们还是先从调幅制通信的问题谈起。

1-1-1 单音频正弦信号调制的调幅波

调制信号 $e(t) = E_{\Omega} \cos \Omega t$

高频振荡 $a(t) = A_0 \cos \omega_c t$

调幅振荡的表示式:
$$\begin{aligned} \varphi(t) &= (A_0 + E_{\Omega} \cos \Omega t) \cos \omega_c t \\ &= A_0 (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_c t \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中, $m = \frac{E_{\Omega}}{A_0}$ 为调幅系数, $m \leq 1$ 。

可以看到所谓调幅振荡, 即它的振荡振幅随时间而变化, 所以它已失去了正弦性质。但是和其它非正弦信号一样, 调幅振荡也可以分解为许多振幅恒定的简谐正弦振荡之和。

在无线电技术中, 人们研究调幅振荡或任何无线电信号的性质, 经常从两个角度来分析信号:

一是把信号看做为时间函数; 利用相量图直接描绘出信号的波形来进行分析。

二是把信号看做为频率函数; 利用频谱图来进行分析。

不论利用何种方法, 其目的都是为了深刻理解信号的实质, 从而, 利用信号的特点在实际的无线电技术中发挥其应有的作用。

把调幅信号作为时间函数, 利用相量图可直接得到调幅波的波形。

由(1-3)式, 利用三角公式, 可改写成:

$$\varphi(t) = A_0 \cos \omega_c t + \frac{mA_0}{2} \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{mA_0}{2} \cos(\omega_c - \Omega)t \quad (1-4)$$

单音正弦调制的调幅振荡中, 除原有载频 ω_c 外, 还存在有两个新的频率分量, 上边频 $\omega_c + \Omega$ 和下边频 $\omega_c - \Omega$ 。

由此可知, 调幅过程是一个转变频率的过程, 把原有低频信号的频率提高到了载频附近, 并且产生了新的频率分量, 而调幅振荡中并不会产生原始的载频。通过非线性电路能够完成这一变换。

调幅波可以通过相量图来研究其振幅

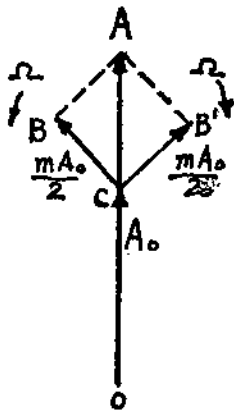


图 1-1 调幅振荡的相量图

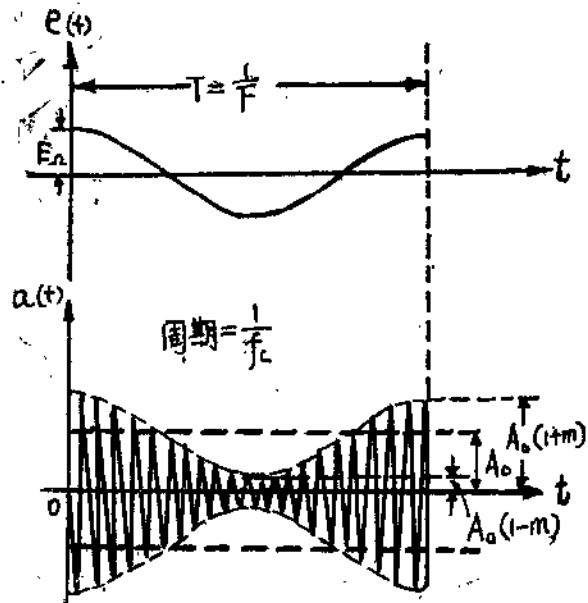


图 1-2 正弦调幅振荡的波形图

变化的规律，并可作出其相应的波形图，如图 1-1，图 1-2 所示。

调幅振荡中有载频，上、下两个边频， \overrightarrow{OC} 表示载频相量， \overrightarrow{OB} 表示上边频相量， $\overrightarrow{OB'}$ 表示下边频相量，三个相量的合成相量为 \overrightarrow{OA} 。

设载频相量静止不动，或者说整个极坐标平面顺时针以 ω_c 角速率旋转，则上边频相量的角速率为 $(\omega_c + \Omega) - \omega_c = \Omega$ 沿逆时针方向旋转，下边频相量则以相对角速率 $(\omega_c - \Omega) - \omega_c = -\Omega$ 沿逆时针方向旋转，也就是以角速率 Ω 顺时针方向旋转。

在调制信号一周期 T ($T = \frac{1}{F} = \frac{2\pi}{\Omega}$) 内，合成相量 \overrightarrow{OA} 始终在载频相量的直线方向作来回跑动，其大小的变化即是已调振荡的包络线。

被包络的高频振荡的高频周期始终是 $\frac{1}{f_c}$ 。因为合成相量 \overrightarrow{OA} 和载频 \overrightarrow{OC} 从来也没有出现过相位差。

利用相量图来求作已调振荡的波形是一个比较直观的方法，这类方法对今后我们所要解决的问题有很大的帮助。

正弦调幅振荡还可以用频谱图来表征其本质，由式 (1-4) 可作出频谱图。如图 1-3 所示。

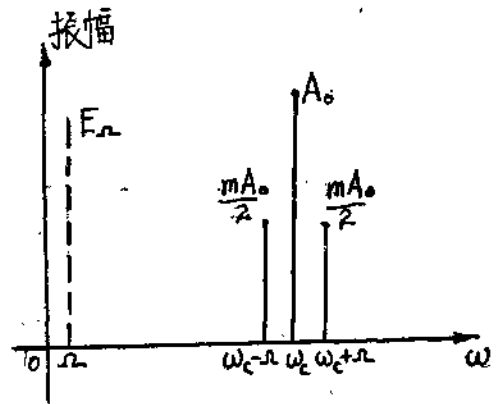


图 1-3 正弦调幅振荡频谱图

1-1-2 复杂信号调制的调幅波

如果调制信号包含许多频率 (如 F_1, F_2 和 F_3) 或占有整个话频频带 ($F_{\min} \sim F_{\max}$; 话频对应为 $300\text{HZ} \sim 3000\text{HZ}$), 同样能作出已调振荡的频谱图, 如图 1-4 所示。

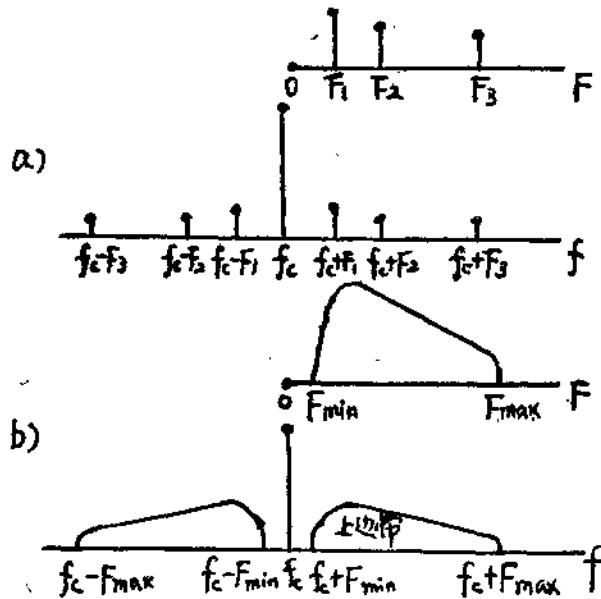


图 1-4 调制信号及相应的调幅信号频谱图

图 1-4a 中表示原始调制信号的频谱, 有 F_1 、 F_2 和 F_3 三个音频分量组成。

已调振荡的频谱中除载频外, 有三对旁频对称地分布于载频的两旁。

图 1-4b 中表示原始调制信号占有整个话频频带 ($F_{\min} \sim F_{\max}$)。

已调振荡的频谱中, 除载频外, 还有两个边带即上边带 $f_c + F_{\min} \sim f_c + F_{\max}$ 和下边带 $f_c - F_{\min} \sim f_c - F_{\max}$, 它们对称地分布于载频两旁。

从时间的角度来看, 当调制信号的波形确定后, 已调幅振荡的包络线永远比例于调制信号。即调幅振荡的包络线的变化规律与原始调制信号的波形相同。如图 1-5a 及 b 所示。

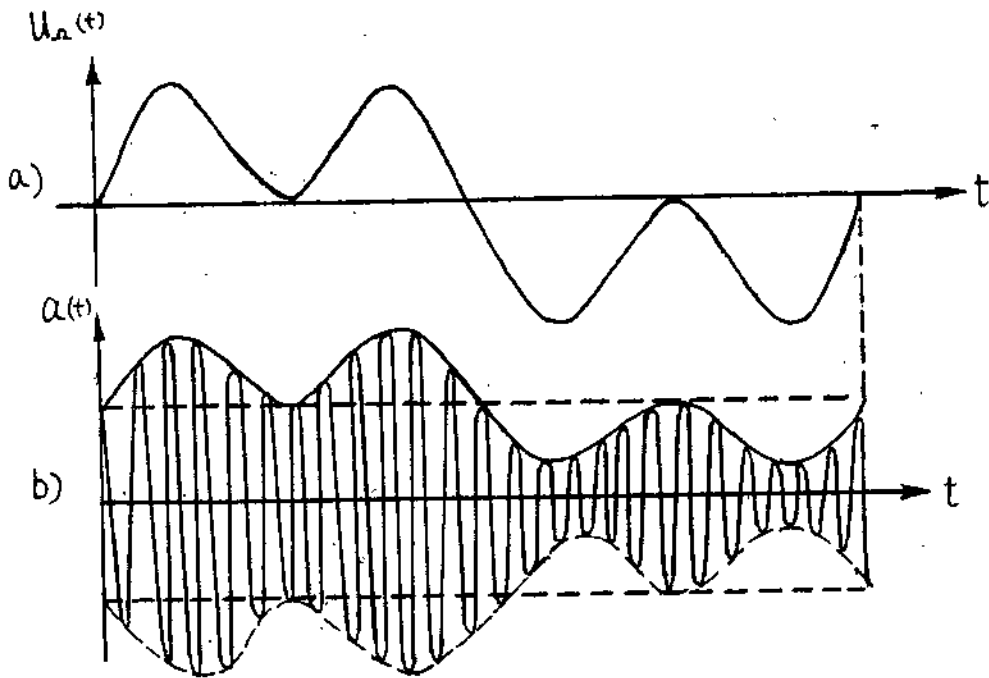


图 1-5 调幅振荡波形图

从以上调幅波的分析中, 归结一下, 我们可以得出如下几个结论:

(1) 调幅振荡从时间的角度来研究, 可以看到, 调幅振荡的包络线的变化规律完全与原始调制信号的波形相同。

(2) 调幅振荡从频率的角度来研究, 可以看到, 调幅过程实质上是一个频谱搬移的过程, 语音信号的频谱, 通过调幅, 搬移到了射频频段, 已调振荡中必有载频及上、下两个边带。上边带与原始信号的频谱完全相似, 仅仅是频率坐标上搬移了一个位置。下边带以载频为中心同上边带相对称。因而, 下边带除了搬移一个位置外, 还翻了一个身, 即频谱是倒置的, 但是, 可以看到载频本身与信号振幅 $E(t)$ 及相位 $\varphi(t)$ 均无关系, 因此, 载频本身并不包含有任何信息。而有用信息只包含在两个边带中任何一个边带内。在调幅波中载频振幅占了主要的地位, 从而可知, 从功率的角度上清楚地看到, 调制通信显然是极不合理的, 因为发射很大的不带信息的载频。

(3) 从占有频带上来看, 调制通信占有频带太宽。其带宽应为 $\Delta f \approx 2F_{\max}$, 语音信号的最高频率 $F_{\max} = 3000 \text{ Hz}$, 则带宽 $\Delta f \approx 6 \text{ kHz}$ 。由于占有频带太宽, 造成短波波段空中

十分拥挤。

1-1-3 单边带无线电通信

综合上述的一些讨论，很自然地，人们会得到启发，想出了许多无线电通信的方法，这些方法有下列几种。如图 1-6 所示。

(1) 减弱载波的双边带信号。(如图 1-6 b)。

(2) 无载波的双边带信号(图 1-6 c)。

(3) 有载波的单边带信号(图 1-6 d)。

(4) 减弱载波的单边带信号(图 1-6 e)。

(5) 载波全抑制的单边带信号或简称单边带信号。(图 1-6 f)

在上面的几种改进型的无线电通信方法中，从节省功率和压缩占有频带方面综合考虑，以载波全抑制只利用调幅信号两个边带中的一个边带来进行通信的通信方式最为合理(如图 1-6 f)，此种无线电通信方式称为单边带无线电通信。

应该注意到，对单边带信号相当于零调制频率的这个载频，通常就是单边带发射机和接收机调谐好的正常通信频。

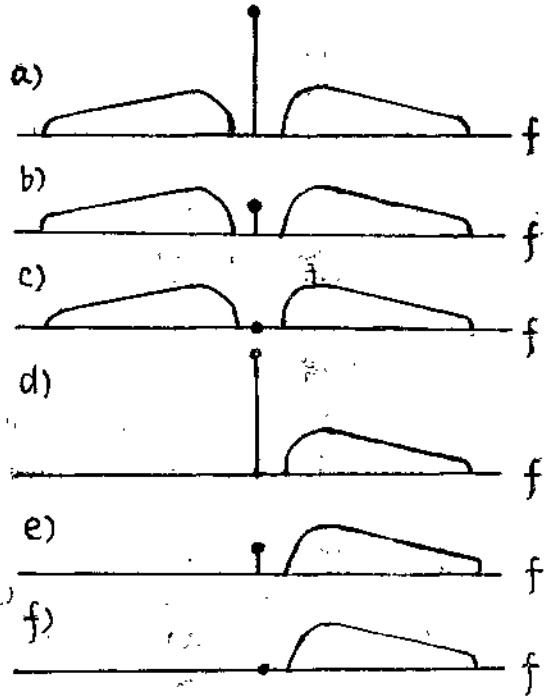


图 1-6 调幅信号频谱及其变形

1-1-4 单边带制与独立边带制

单边带无线电通信中，可以利用上边带来传递信号，也可以利用下边带来传递信号，如国际规定，远洋船舶无线电通信采用单边带通信时，只允许使用上边带。

目前大部分移动式单边带电台，常常采用独立边带制。所谓独立边带，在原理上与单边带没有区别，不同的是单边带通信制中，载频全抑制，只利用一个边带(上边带或下边带)来传递信息。独立边带制中，载频全抑制，同时利用位于被抑制载频两侧的上、下两个边带，每个边带传递着互不相关的不同信息。例如，具有独立边带的单边带通信机中，同时可以作多路通信。当上边带发话时，下边带可同时对另一通信对象发报，或者下边带发话时，上边带发报，而每个边带中又同时可以发双路移频电报，由于独立边带制具有充分利用频带，加强保密和提高抗干扰的优点，目前移动式单边带通信设备中，多以独立边带多路制作为标准型式。

移动式单边带通信设备(独立边带制)与单边带通信设备(如船舶单边带电台，只利用上边带)相比，在技术要求上前者较高，但在电路结构和原理方面并没有多大出入，独立边带制在发信方面可以把它认为相当于把两部单边带激励器并合起来使用，每部激励器提供一

个边带信号，它们的输出用一个特殊网络并起来，经过一系列的变频，放大后发射。在收信方面，外来的多路独立边带信号经过放大，变频后，用两组滤波器分开“上、下”边带，再经单边带信号解调后，输出原始信号，独立边带的困难之处在于放大器的设计制造问题，特别是发信机中大功率放大器要求更高的线性，否则会产生“互调”失真，造成路与路之间的串音现象。目前，我国专为单边带功率放大器设计制造的大功率金属陶瓷管已经生产，这就保证放大器要求的线性程度，从而使独立边带单边带通信方式已经成为现实。

综上所述，我们对什么叫单边带无线电通信的问题已经作了必要的回答。为了对单边带通信的原理有更深入的了解，必须进一步的对单边带调制的特点作一介绍，掌握单边带调制的基本规律，对我们设计、制造、应用、维护和检修单边带通信机很明显的，具有十分重要的现实意义。

§ 1—2 单边带调制的特点

1-2-1 单边带信号及其占有频带

我们在上节中讨论了调幅波的频谱，而单边带信号只需通过某种方法，把载频全部抑制，把另一边带也全部抑制，传递信号只依靠其中一个单边带，因而单边带信号的产生，只能是频谱的搬移，如图 1-7 所示。

单边带信号的占有频带为：

$$\Delta f_{SSB} \cong (f_c + F_{\max}) - (f_c - F_{\min}) \cong F_{\max} - F_{\min} \quad (1-5)$$

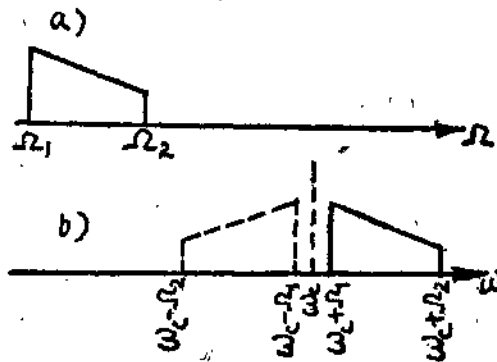


图 1-7 a) 调制信号的频谱； b) 单边带信号的频谱。

式中， F_{\max} 及 F_{\min} 为原始信号的最高及最低频率，以语音信号为例：

$$F_{\max} = \frac{\Omega_{\max}}{2\pi} = 3000 \text{ Hz} \quad F_{\min} = \frac{\Omega_{\min}}{2\pi} = 300 \text{ Hz}$$

则 $\Delta f_{SSB} \cong F_{\max} - F_{\min} = 3000 \text{ Hz} - 300 \text{ Hz} = 2700 \text{ Hz} = 2.7 \text{ kHz}$

相应的调幅波的占有频带为：

$$\Delta f_{AM} \cong 2F_{\max} = 2 \times 3000 \text{ Hz} = 6000 \text{ Hz} = 6 \text{ kHz}$$

因此，当调幅制转为单边带制时，占有频带大大压缩。

$$\Delta f_{SSB} \leq \frac{1}{2} \Delta f_{AM} \quad (1-6)$$

1-2-2 单边带信号的数学表达式和结论

原始信号的一般表达式为 $e(t) = E(t) \cos \varphi(t)$

若载频振荡为 $A_0 \cos \omega_c t$

已调幅振荡的表示式为

$$\begin{aligned} a(t) &= [A_0 + E(t) \cos \varphi(t)] \cos \omega_c t \\ &= A_0 \cos \omega_c t + E(t) \cos \varphi(t) \cos \omega_c t \\ &= A_0 \cos \omega_c t + \frac{1}{2} E(t) \cos [\omega_c t + \varphi(t)] + \frac{1}{2} E(t) \cos [\omega_c t - \varphi(t)] \end{aligned}$$

单边带信号(如上边带)表达式为

$$f(t) = \frac{1}{2} E(t) \cos [\omega_c t + \varphi(t)] = K E(t) \cos [\omega_c t + \varphi(t)] \quad (1-7)$$

式中, K 为比例常数。 $\varphi(t)$ 为调制信号的瞬时相位,

考虑到调制信号的瞬间相位等于瞬间频率的积分, 即

$$\varphi(t) = \int_0^t \Omega(t) dt.$$

因而, 单边带信号可写成

$$f(t) = K E(t) \cos \int_0^t [\omega_c + \Omega(t)] dt. \quad (1-8)$$

从上述的讨论, 我们可以作出如下两个重要结论:

1. 从频谱上看, 单边带信号具有线性搬移的特点, 就是说单边带调制实质上是将调制信号的频率在频率轴上实现频率的搬移, 搬移后位置决定于载频的大小, 而搬移后的频谱结构应于调制信号的频谱结构保持线性关系。这与调幅波的产生具有相似之处。

2. 单边带信号与调幅信号具有本质的不同。

调幅信号的高频振幅正比于原始信号的瞬时值即 $E(t) \cos \varphi(t)$; 因而调幅波的包络与原始信号的波形完全一样。只要检出其包络即还原了原始信号。

调幅信号被包络频率为载频而与原始信号的瞬间频率无关。因而调幅波中的高频频率并不含有任何信息。这说明了调幅波中, 信息仅仅记载在幅度上。

单边带信号的高频振幅正比于原始信号的振幅 $E(t)$; 因而单边带信号的包络与原始信号的波形完全不同; 而与原始信号的包络完全相同。因而, 依靠调幅机中惯用的检出高频信号包络的办法是不能实现单边带信号解调的。

单边带信号的高频频率随原始信号的瞬间频率的变化规律而变化。因而单边带信号实质是“调幅调相”波。也就是说原始信号的信息不仅反映在单边带信号的幅度变化上而且还寄藏于单边带信号的高频频率的变化之中。

为了对上述重要结论的加深理解和具体化, 下面将具体讨论几个单边带信号的波形。同时也对无载频双边带信号; 载频加上一个边带的“兼容”信号的波形作出说明和讨论, 从而能直观地了解单边带信号的重要特性。

1-2-3 单边带信号的波形图

现在我们来研究不同调制信号时, 单边带信号与时间的关系, 即波形图, 先讨论最简单

的情形即调制信号为单音频 F 的正弦信号，而后讨论比较复杂的情形，即调制信号为双音时单边带信号波形。

为了分析单边带信号的波形，对无载频双边带信号的波形，也必须有清楚的概念，因而，我们分别给予阐明。

(1) 单音频正弦信号调制的单边带信号

原始调制信号为单音频 F 的正弦(余弦)信号： $e(t) = E_m \cos \Omega t$,

如图 1-8(a) 所示，音频周期 $T = \frac{1}{F} = \frac{2\pi}{\Omega}$;

(i) 一般调幅波即全载频双边带波形。

调幅波形可根据如图 1-8(b) 所示的相量图的方法求得。

因而，对调幅波可肯定下列几点：

(a) 调幅振荡的包络线完全反映了调制信号的变化规律，即包络线与原始信号的波形完全相同。

(b) 被包络的高频振荡的相位连续，其高频周期为常数，等于 $\frac{1}{f_c}$ ， f_c ：载频频率。

这是因为合成相量 \overrightarrow{OA} 始终也没有偏离过载频分量振幅的方向；而且，由于 $m \ll 1$ ；合成相量永远与载频方向一致，即高频相位是连续的。

(ii) 无载频的双边带信号。

在单边带通信机中，为了产生信号和变换信号，大量使用平衡调制器、环形调制器或桥式调制器，其输出端即为载频相消的双边带信号；可表达为 $a_o(t) = E_m \cos \Omega t \cos \omega_c t$ 。

利用上述相量图的方法，令载频相量模数为 o ，余下二个边频分量以相对角速率 Ω 反向旋转，在音频一周期 $T = \frac{1}{F}$ 内，求得对应 $t = \frac{T}{4}$ ； $\frac{T}{2}$ ； $\frac{3T}{4}$ 及 T 的时刻的合成相量，即可得到无载频双边带信号的波形图。如图 1-8(c) 所示。

根据无载频双边带信号的波形，我们可以归纳一下：

(a) 在调制信号正半周 ($t \leq \frac{T}{2}$) 内，合成相量 \overrightarrow{OA} 与被抑制载频相量 \overrightarrow{OC} (虚线示) 方向相同；即被包络的高频相位与被抑制的载频振荡的相位相同，在调制信号负半周 ($t \geq \frac{T}{2}$) 内，合成相量则与被抑制的载频相量的方向相反，即被包络的高频振荡与被抑制的载频振荡相位差 180° 。

因而，可以看到，被包络高频振荡的相位，当调制电压通过零值 (相当于 $t = \frac{T}{2}$) 时被倒向，即在 $t = \frac{T}{2}$ 时，被包络高频振荡相位发生突变 (倒向)。

被包络的高频振荡的周期为 $\frac{1}{f_c}$ ，即却好为被抑制载频的周期。

(b) 由于振幅的数值总是正的，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，正弦曲线的负半周围绕时间轴旋转 180° ，即相当于把正弦波的负半周翻了身也成为正半周 (包络线与全波整流波形相似)。

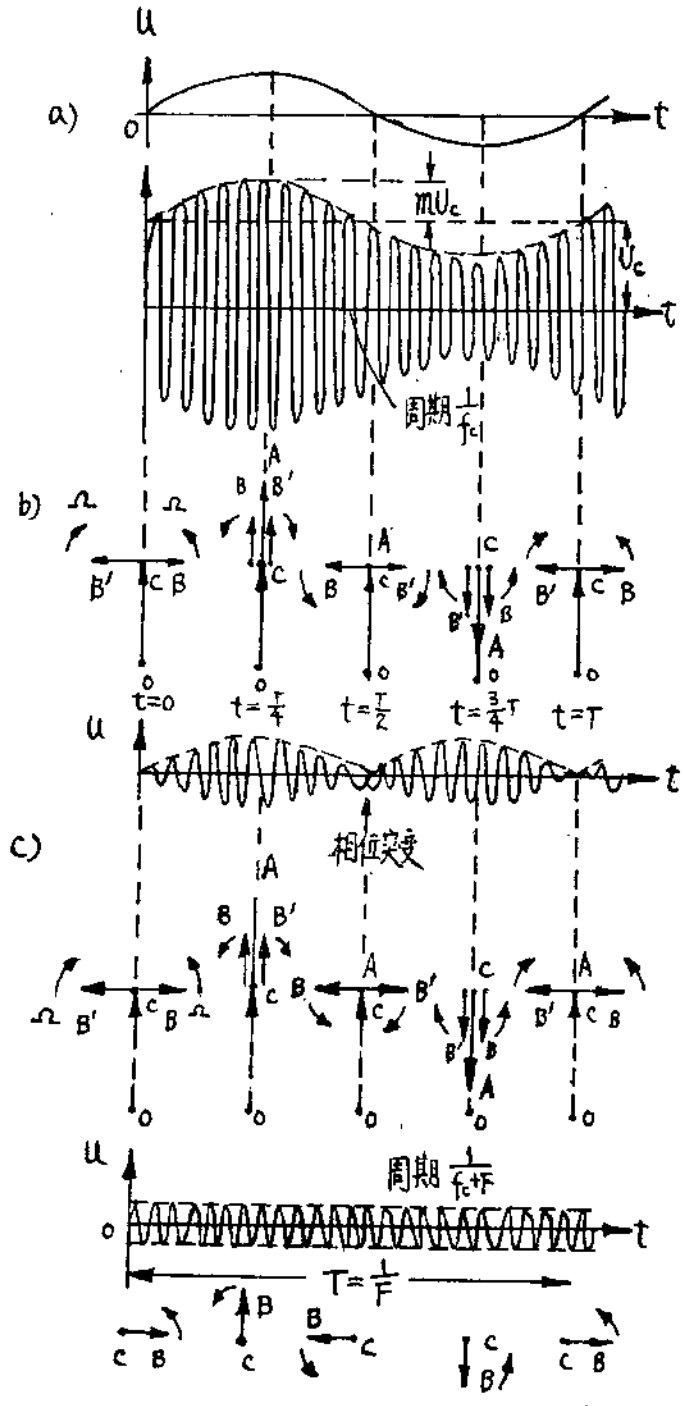


图 1-8 信号波形图

(c) 无载频双边频波形与全载频双边频的调幅波是完全不同的，主要区别在于：

甲、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形；而无载频双边频波形的包络线是正弦波正半周相连接起来的波形，包络线与调制信号的波形是不同的。

乙、普通调幅波的高频相位是连续的；而无载频双边频波形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）。

(iii) 单边带信号波形

在单音正弦调制下，载波全抑制的单边带信号是最简单的。设载频相量 \overrightarrow{OC} ；下边频相量 $\overrightarrow{OB'} = 0$ ；上边频相量 \overrightarrow{OB} 以 Ω 的速度反时针在以载频角速度 ω_c 顺时针旋转的坐标平面上旋转，因而，单边带信号此时实际上是一个高频等幅振荡的波形。其频率为 $\omega_c + \Omega$ 。可表示为：

$$a(t) = \frac{m A_c}{2} \cos(\omega_c + \Omega)t$$

由此可见：单音正弦调制下的单边带信号波形是一个高频等幅振荡；显然，它的包络线绝非调制信号的波形；单边带信号的包络与原始调制信号的包络完全一样；这里原始信号的振幅为恒定值，单边带信号必然也是等幅振荡；单边带信号的高频频率随原始信号的瞬间频率的变化规律而变化；这里原始信号的频率为恒定值 Ω ；单边带信号的高频频率为 $\omega_c + \Omega$ 或 $f_c + F$ 。

从分析上述单音正弦（余弦）调制的单边带信号的波形，更能清楚地了解单边带信号的特点。

(2) 等幅双音调制的单边带信号。

真实的调制信号（例如语音信号）决不是一个频率，而是一个带有随机性质的复杂频谱，按理应该研究一下复杂频谱下的单边带信号的特点，但这样在运算上会带来许多困难，结论反而不能一目了然。因此，习惯上都用双音信号来代替真实信号，这比单音调制更接近于实际情况。

原始信号一般的表示式为

$$e(t) = E(t) \cos \varphi(t)$$

双音信号可表示为

$$e(t) = E_1 \cos \Omega_1 t + E_2 \cos \Omega_2 t$$

其中， Ω_1 和 Ω_2 为两个不同的调制频率。

设

$$E_1 = E_2 = E_0$$

等幅双音信号表示式为

$$e(t) = E_0 (\cos \Omega_1 t + \cos \Omega_2 t) \quad (1-9)$$

利用三角关系，式 (1-9) 可写成

$$e(t) = E_0 (\cos \Omega_1 t + \cos \Omega_2 t) = 2E_0 \cos\left(\frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2}t\right) \cos\left(\frac{\Omega_2 + \Omega_1}{2}t\right) \quad (1-10)$$

因而，等幅双音信号的包络变化亦即振幅随时间的变化规律为

$$E(t) = 2E_0 \cos\left(\frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2}t\right)$$

卫星-3(Arabsat-3), 该星兼有广播和通信两种业务, 寿命为10年。

再如法国计划在1989年4~10月间发射重约2100kg的TDF-2卫星; 欧洲还计划在90年代发射具有16个频道, 功率各为100W的欧洲公共卫星(Eurosat)来接替各国家性的直播卫星业务; 英国也计划在1989年8月发射覆盖英国本土, 边缘EIRPs为59dBW的直播卫星(BSB)。

表 1.1-7

| 卫星名称 | 法国电视直播卫星(TDF-1) | 瑞典电视广播卫星(TELE-X) | 欧洲航天局大型卫星(Olympus) | 西德电视卫星(TV-SAT-2) |
|-------------|-----------------|------------------|--------------------|------------------|
| 所属国家或组织 | 法国 | 瑞典 | 欧洲航天局 | 西德 |
| 卫星定点位置 | 19°W | 5°E | 19°W | 19°W |
| 预定发射时间 | 1988.1 | 1988.11 | 1989.1 | 1990.1 |
| 设计寿命(年) | 7 | 7 | 5 | 7 |
| 运载工具 | (欧)阿里安火箭 | (欧)阿里安火箭 | (欧)阿里安火箭 | (欧)阿里安火箭 |
| 卫星在轨重量(kg) | 963 | 1200 | 1400 | 1745 |
| 姿态稳定方式 | 三轴(偏置) | 三轴(偏置) | 三轴 | 三轴(偏置) |
| 使用频率(GHz) | 下行 | 12 | 12 | 12 |
| | 上行 | 17 | 17 | 17 |
| 电视频道数 | 4 | 3 | 2 | 5 |
| 转发器功率(W) | 210 | 230 | 230 | 260 |
| 发射天线波束宽度(度) | 2.5×0.98 | | 1.0×2.4, 1.6 | 1.62×0.72 |
| EIRPs (dBW) | 61 | | 63 | 65.5 |
| 地面接收类型 | 个体接收 | 个体接收 | 个体接收 | 个体接收 |
| 备 注 | | | | |

另外, 美国已有十几家公司向美国联邦通信委员会(FCC)申请开办Ku频段卫星电视直播业务。美国通信卫星公司(Comsat)为此专门成立了子公司“卫星电视公司”(STC)。其中如STC、RCA和哥伦比亚等8家公司均计划在八十年代中后期开办卫星电视直播, 包括高清晰度电视、收费电视、立体声广播等业务。

各家公司计划发射的卫星数量3~6颗不等, 转发器数量最少为2个, 最多达14个, 功率为100~400W(定点式的为20W), EIRPs为50~60dBW。地面接收机一般采用0.75m直径的抛物面天线。

2. 国外卫星广播发展的趋向

1) 直播卫星趋向使用ku频段、大功率行波管和成形波束天线。

这是由于其他频段, 如L、S频段频率低带宽窄, 容量受限, 而如K、Q和E频段技术上不甚成熟, 器件也尚未开发, 而Ku频段为卫星广播优先使用频段, 功率通量密度不受严格限制, 接收天线尺寸较小, 频段的可用频带较宽, 有利于长远发展。目前除苏联使用L

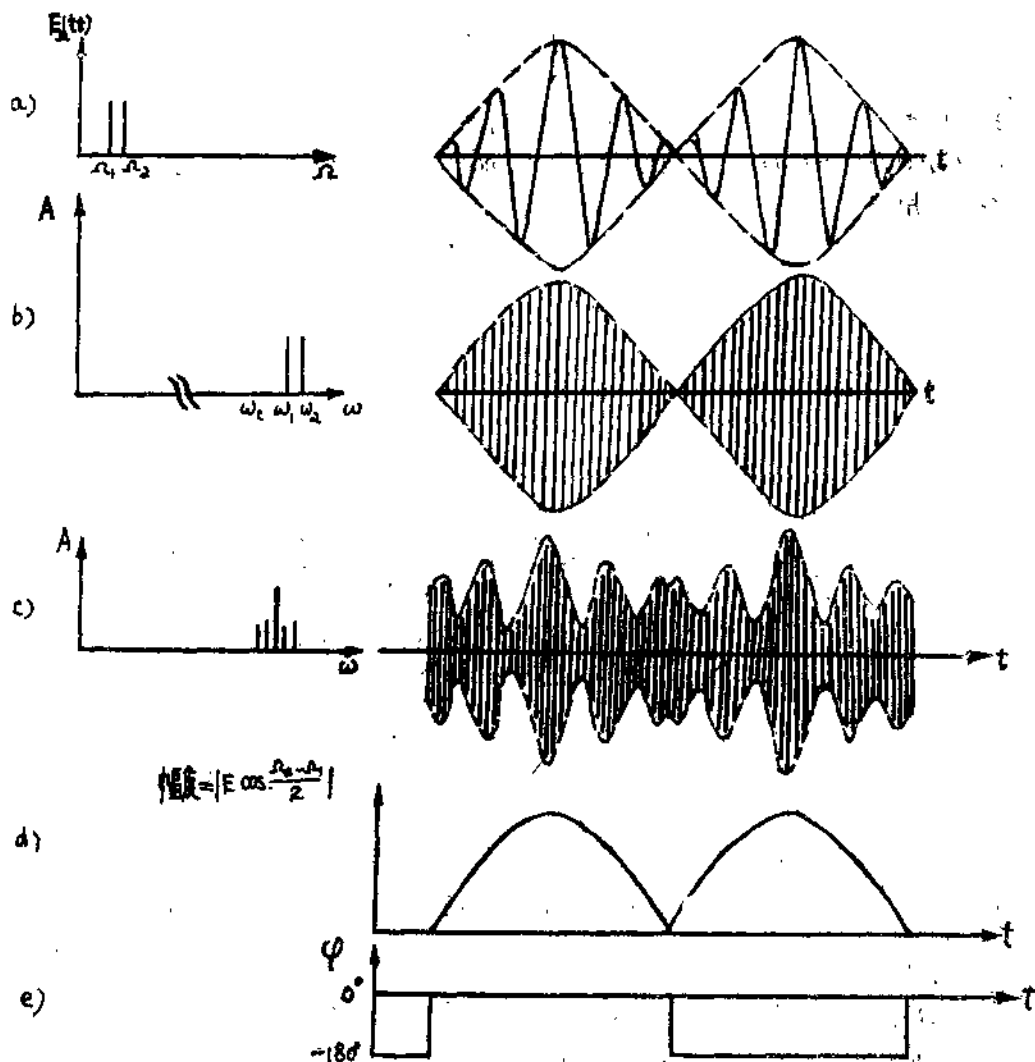


图 1-10 a) 双音信号的频谱及波形 (波形图中虚线为双音信号的包络)
 b) 双音调制的单边带信号的频谱及波形
 c) 双音调制调幅信号的频谱及波形
 d) 双音调制时单边带信号的幅度
 e) 双音调制时单边带信号的相位。

由式 (1-11) 亦可改写为:

$$\begin{aligned}
 a(t) &= [A_0 + E_D \cos \Omega_1 t + E_D \cos \Omega_2 t] \cos \omega_c t \\
 &= A_0 \cos \omega_c t + \frac{E_D}{2} \cos(\omega_c + \Omega_1) t + \frac{E_D}{2} \cos(\omega_c + \Omega_2) t + \frac{E_D}{2} \cos(\omega_c - \Omega_1) t \\
 &\quad + \frac{E_D}{2} \cos(\omega_c - \Omega_2) t.
 \end{aligned} \tag{1-12}$$

图 1-10(e) 中的左面表示了相应的频谱。

(ii) 单边带信号及其波形。