

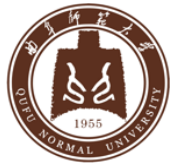
CEC

振幅调制与解调 I

Amplitude Modulation & Demodulation I

2025年5月15日

学而不厌 诲人不倦

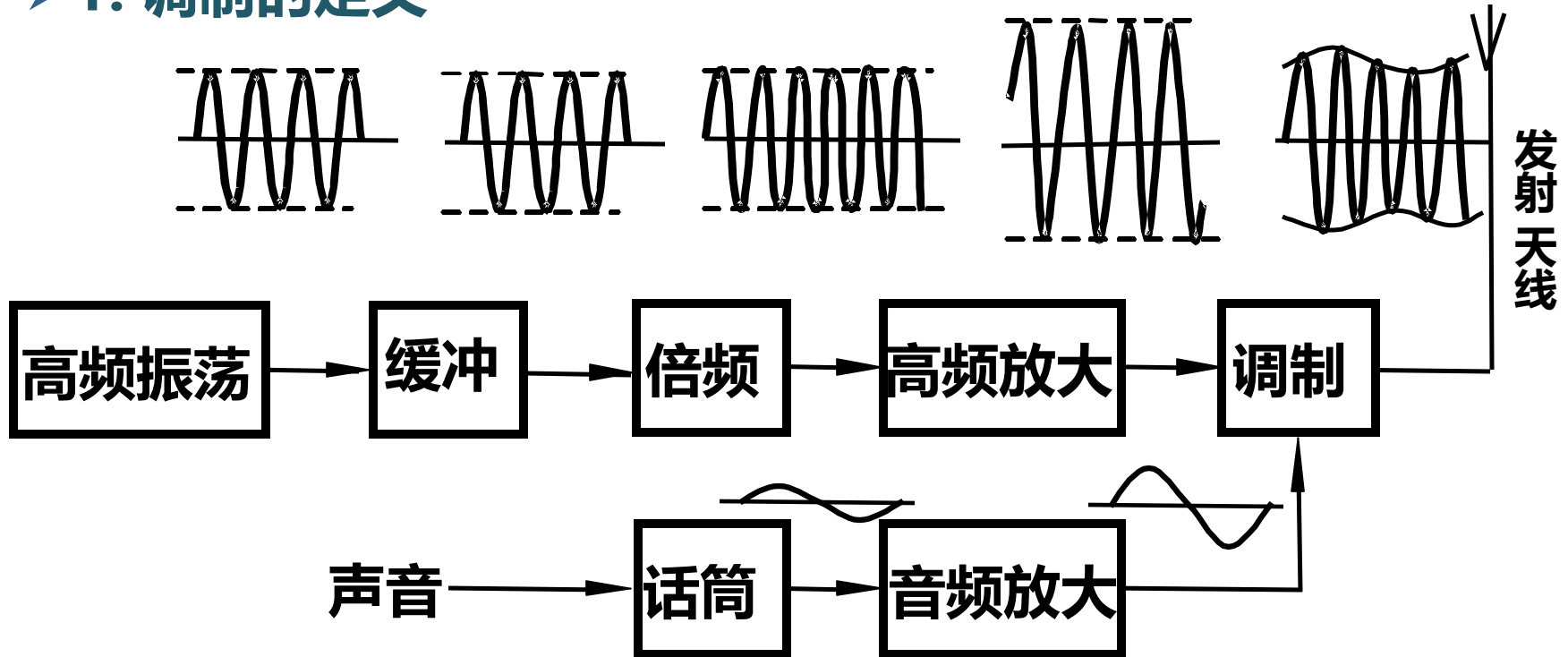


Chapter 7 振幅调制与解调

- ➡ **§7.1 概述**
- ➡ **§7.2 调幅波的性质**
- ➡ **§7.3 平方律调幅**
- ➡ **§7.4 斩波调幅**
- ➡ **§7.5 模拟乘法器调幅**
- ➡ **§7.6 单边带信号的产生**
- ➡ **§7.7 残留边带调幅**
- ➡ **§7.8 高电平调幅**
- ➡ **§7.9 包络检波**
- ➡ **§7.10 同步检波**
- ➡ **§7.11 单边带信号的接收**

7.1 概述

➤ 1. 调制的定义



振幅调制：是指利用调制信号去控制载波的振幅，使载波信号的振幅按调制信号的规律变化。

7.1 概述

➤ 2. 为什么要调制?

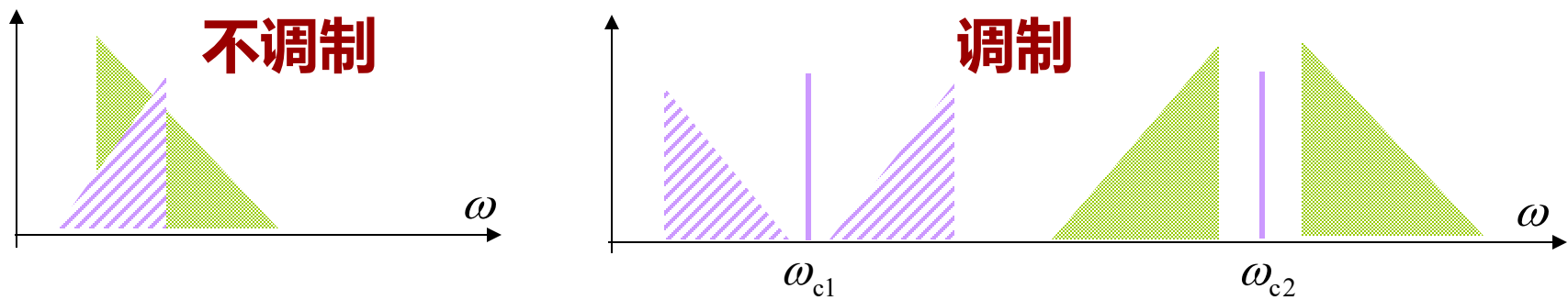
▶ 从切实可行的天线出发

为使天线能有效地发送和接收电磁波，天线的几何尺寸必须和信号波长相比拟，一般不宜短于 $1/4$ 波长。

音频信号: $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ 波长: $15 \sim 15000 \text{ km}$

天线长度: $3.75 \sim 3750\text{km}$

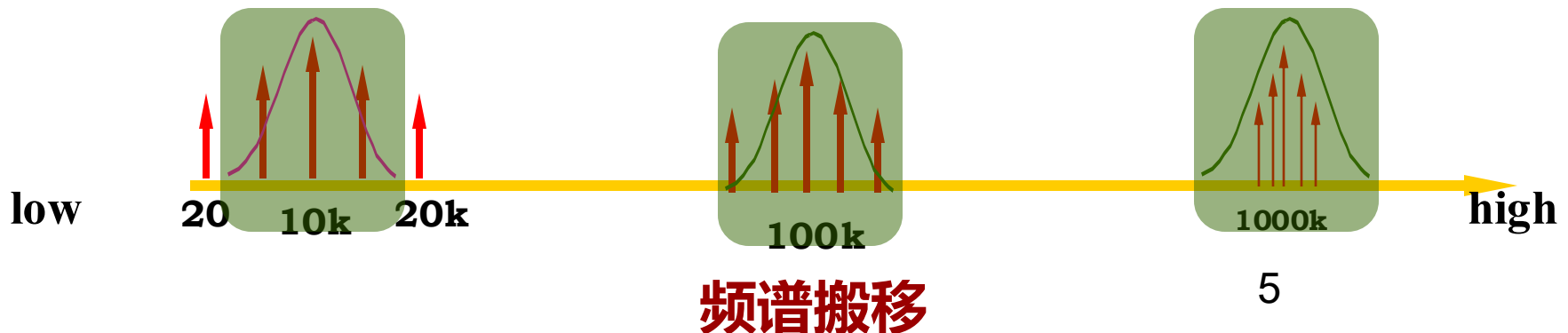
▶ 如果直接发射音频信号，则发射机工作在同一频段，接收机将同时收到许多不同电台的节目，但无法加以选择。



7.1 概述

➤ 2. 为什么要调制?

- ▶ 利用高频振荡产生载波，将低频信号“附加”到这个高频振荡载波上
- ▶ 高频可使天线辐射效率提高，尺寸缩小
- ▶ 每个电台在不同频率的载波上，接收机可以调谐选台。



低频（音频）：20Hz ~ 20kHz

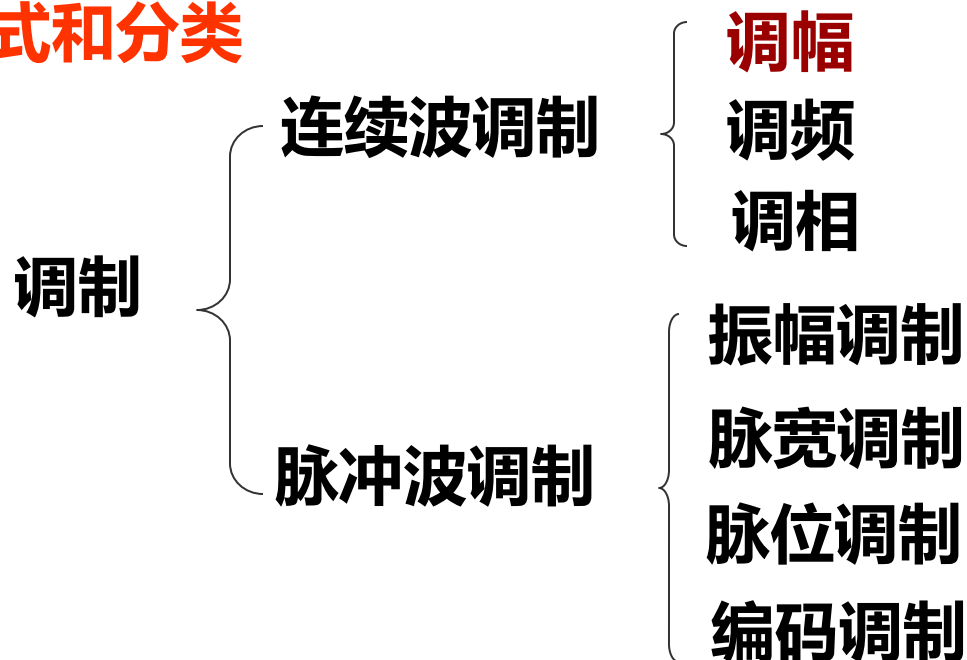
AM广播信号：535 ~ 1605kHz, $BW=20\text{kHz}$

7.1 概述

➤ 3. 调制方式和分类

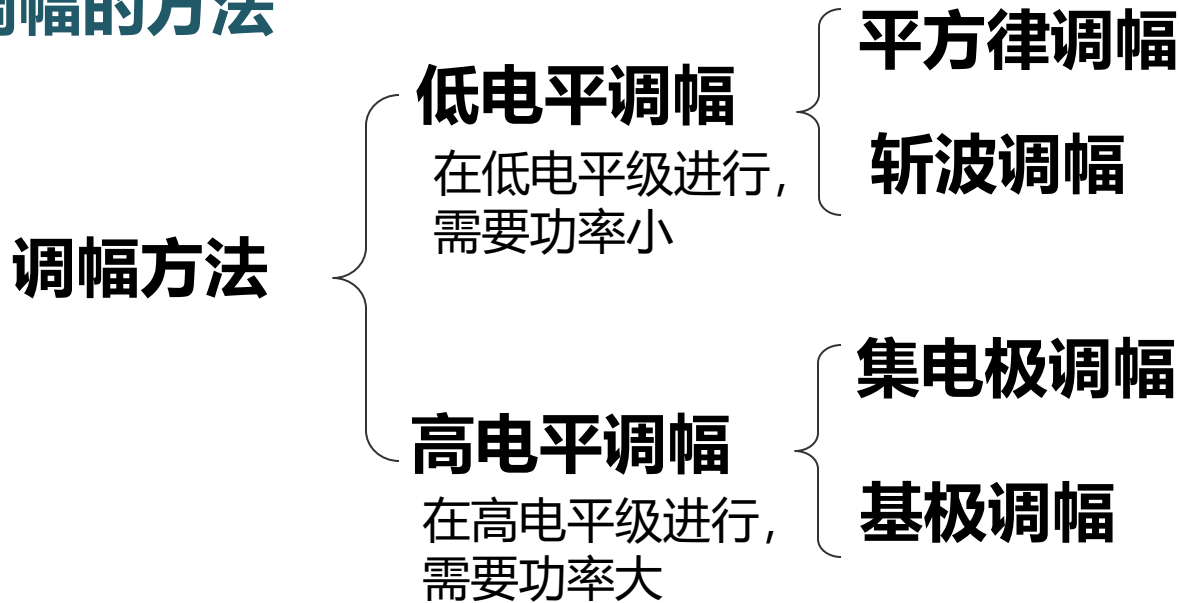
将信号附加到高频振荡上，就是利用信号控制高频振荡的某个参数，使这个参数随信号而变化，这就是**调制**。

调制的方式和分类



7.1 概述

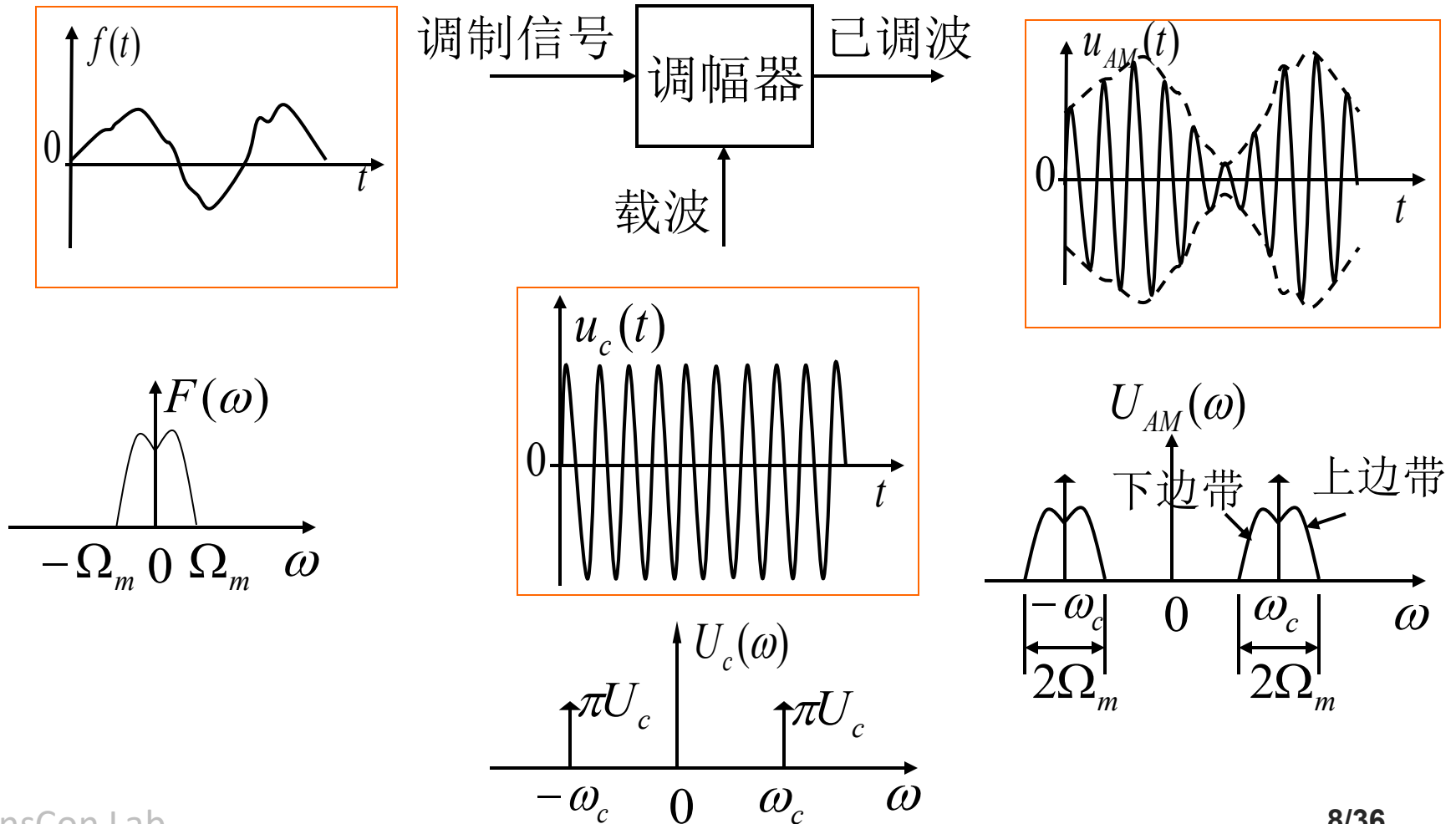
➤ 4. 调幅的方法



- 根据频谱结构的不同可分为
 - 普通调幅 (**AM**) 波,
 - 抑制载波的双边带调幅 (**DSB-SC AM**)波
 - 抑制载波的单边带调幅 (**SSB-SC AM**)波。

7.1 概述

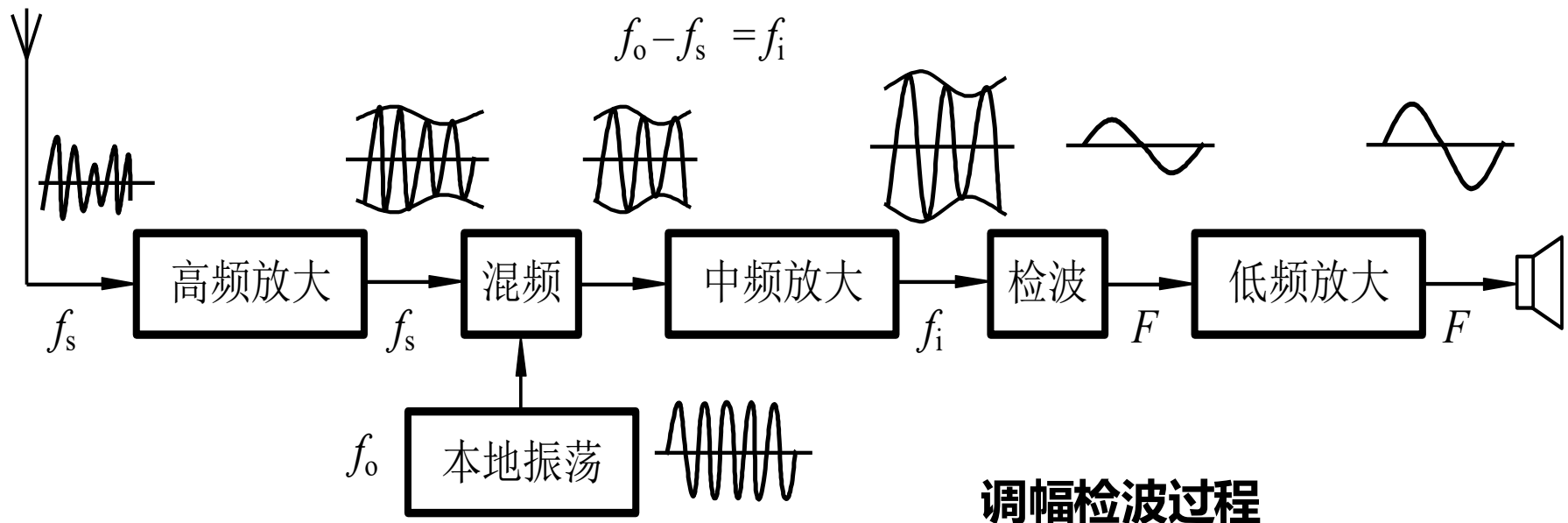
➤ 5. 调幅过程：频谱线性搬移



7.1 概述

➤ 6. 检波

检波是调制的逆过程，检波是从振幅受调制的高频信号中还原出原来的调制的信号。由于还原所得的信号与高频调幅信号的包络变化规律一致，故又称**包络检波**。



7.1 概述

➤ 6. 检波

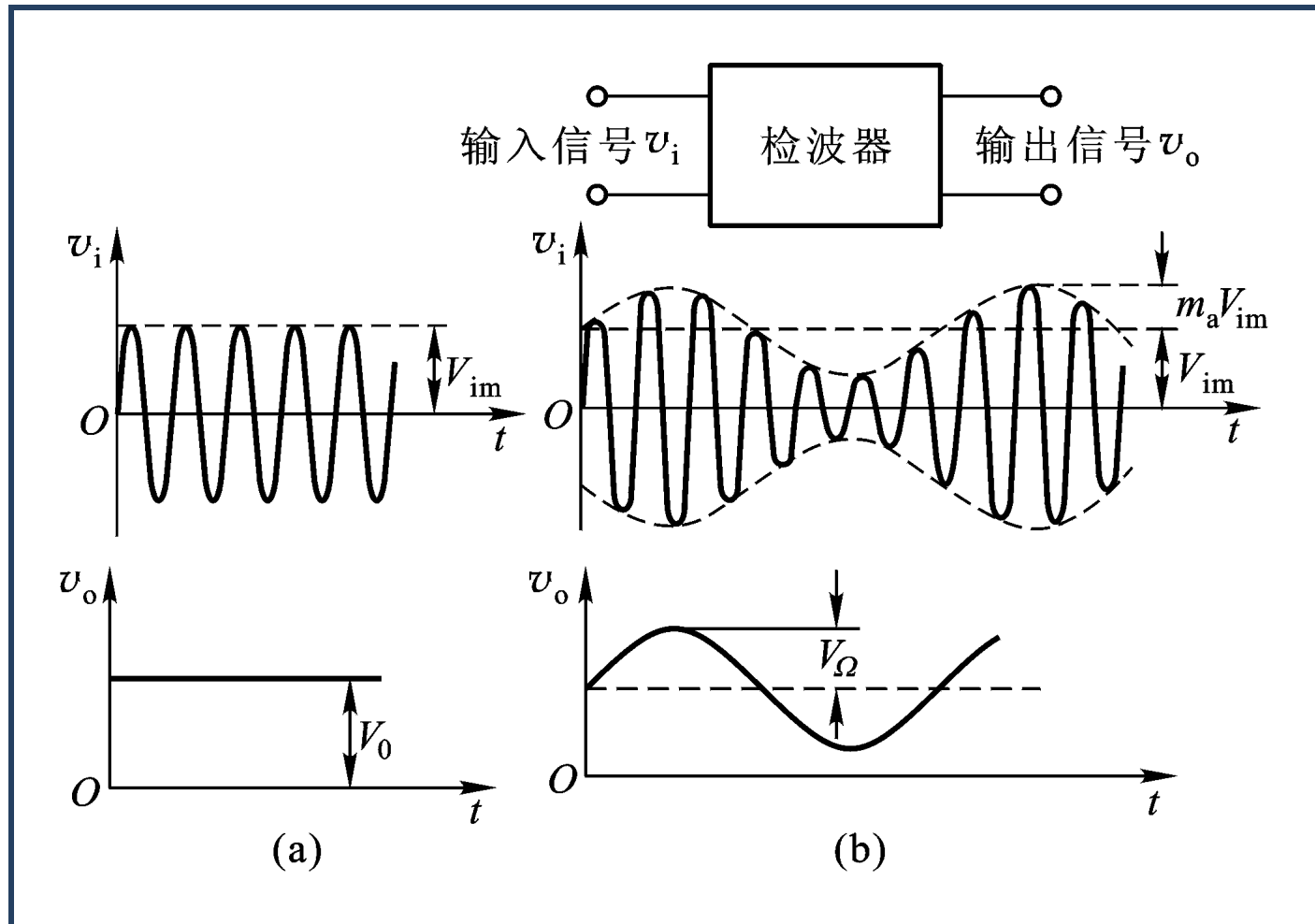


图 7.1.1 检波器的输入输出波形

7.1 概述

➤ 6. 检波

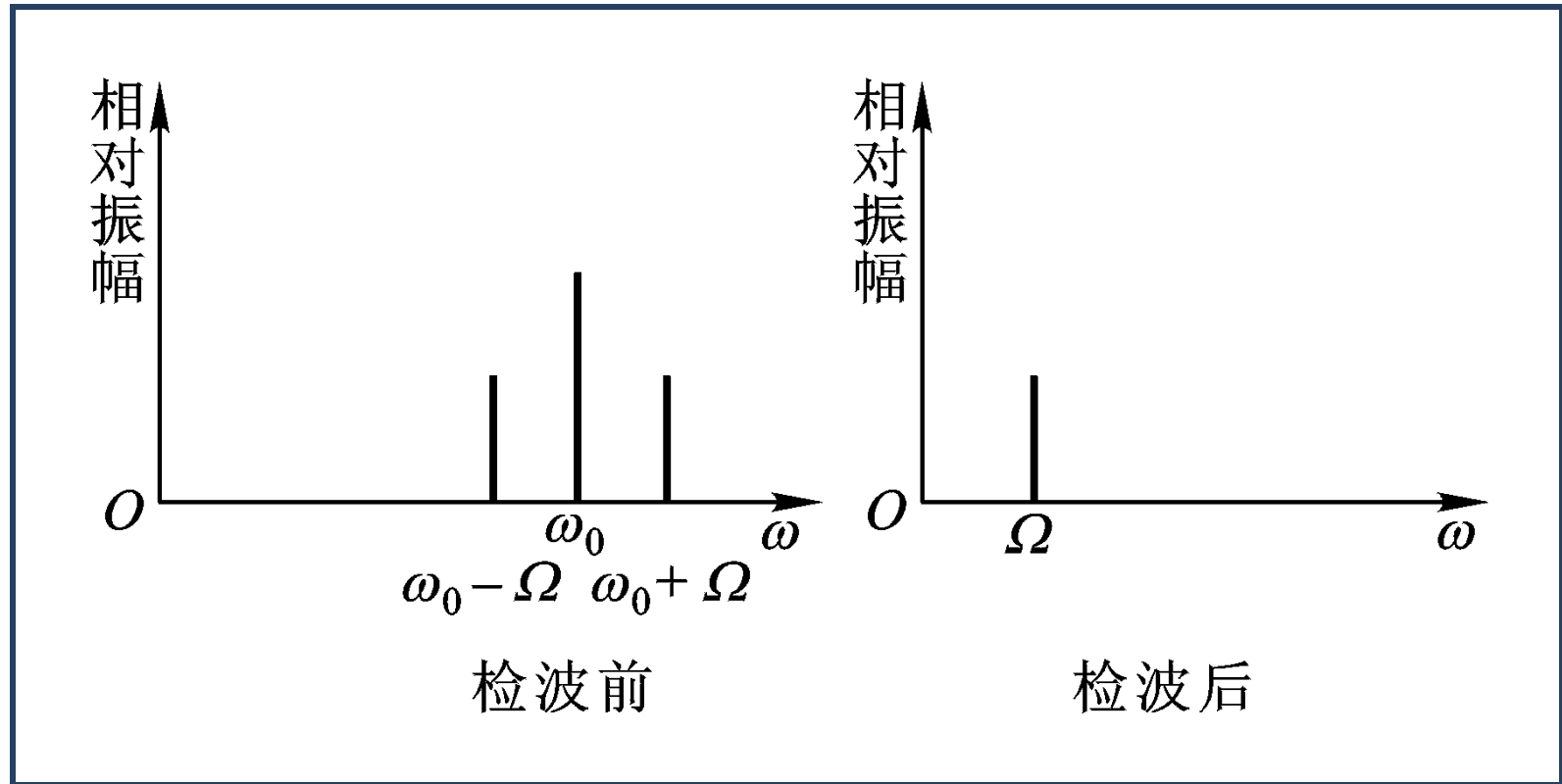


图 7.1.2 检波器检波前后的频谱

7.1 概述

➤ 6. 检波

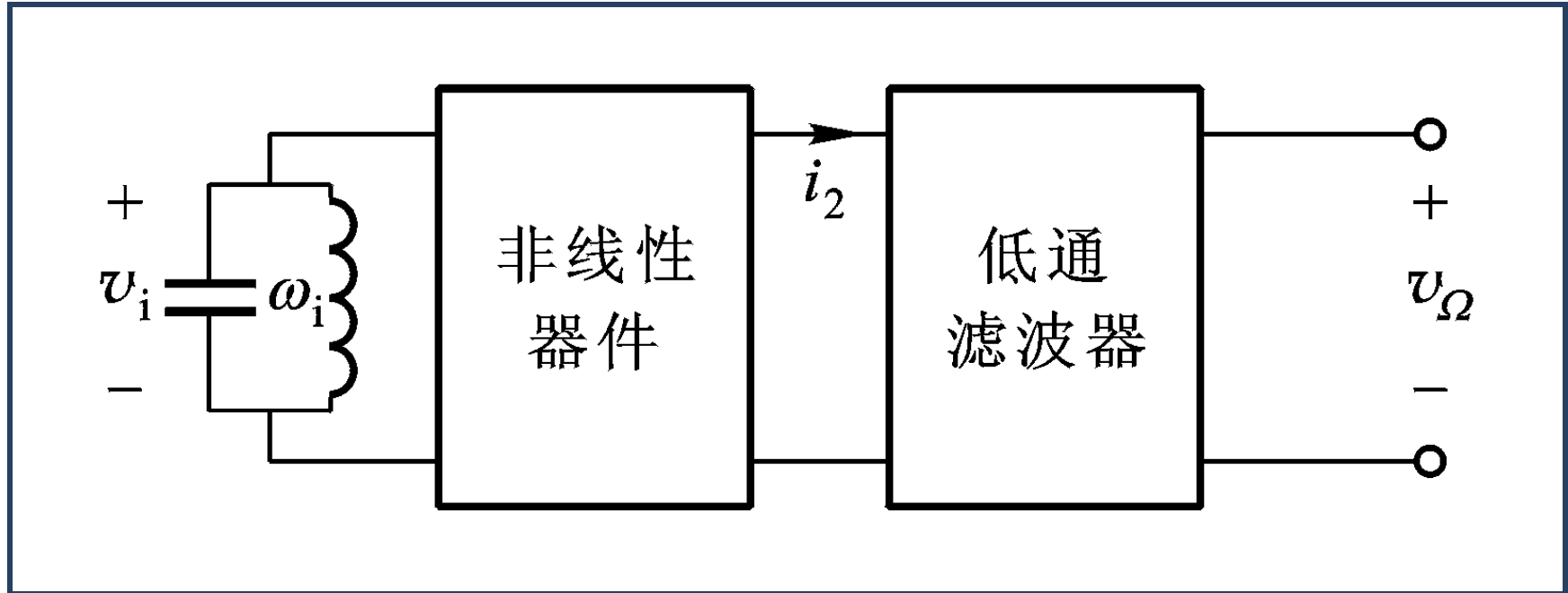
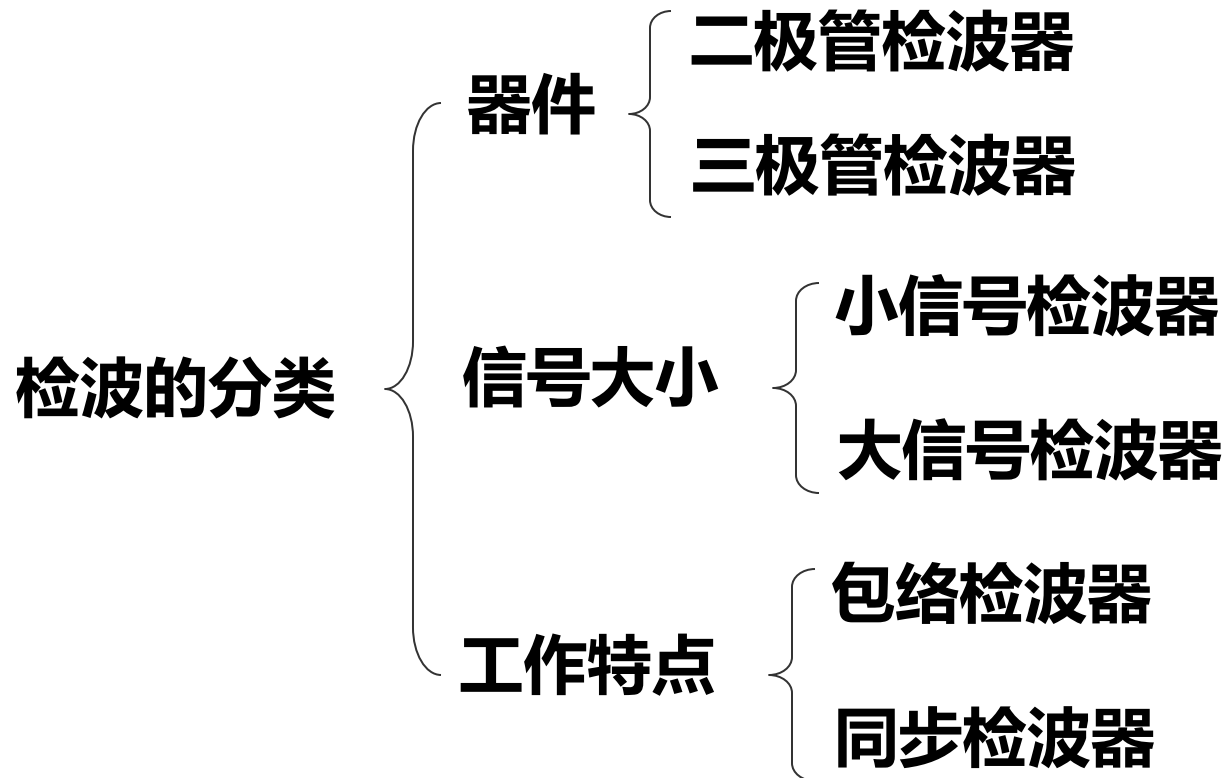
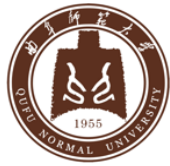


图 7.1.3 检波器的组成部分

7.1 概述

➤ 6. 检波





Chapter 7 振幅调制与解调

- ➡ §7.1 概述
- ➡ **§7.2 调幅波的性质**
- ➡ §7.3 平方律调幅
- ➡ §7.4 斩波调幅
- ➡ §7.5 模拟乘法器调幅
- ➡ §7.6 单边带信号的产生
- ➡ §7.7 残留边带调幅
- ➡ §7.8 高电平调幅
- ➡ §7.9 包络检波
- ➡ §7.10 同步检波
- ➡ §7.11 单边带信号的接收

7.2 调幅波的性质

➤ 1. 普通调幅波的数学表示式

首先讨论单音调制的调幅波。

载波信号： $v_0 = V_0 \cos \omega_0 t$ 调制信号： $v_\Omega = V_\Omega \cos \Omega t$

调幅信号（已调波）： $v_{AM} = V_m(t) \cos \omega_0 t$

由于调幅信号的振幅与调制信号成线性关系，即有：

$V_m(t) = V_0 + k_a V_\Omega \cos \Omega t$ ， 式中 k_a 为比例常数

即： $V_m(t) = V_0 \left(1 + \frac{k_a V_\Omega}{V_0} \cos \Omega t \right) = V_0 (1 + m_a \cos \Omega t)$

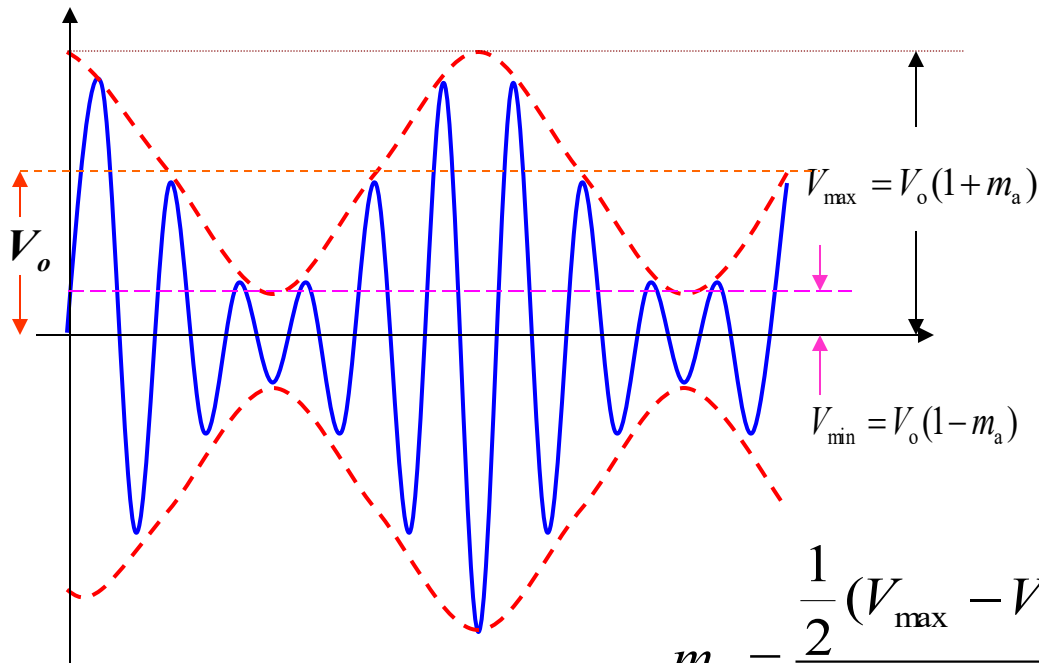
式中 m_a 为调制度， $m_a = \frac{k_a V_\Omega}{V_0}$ 常用百分比数表示。

$\therefore v_{AM} = V_0 (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$

7.2 调幅波的性质

➤ 1. 普通调幅波的数学表示式

$$v_{AM} = V_0 (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$$



$\cos \Omega t = 1$: 调幅波峰值 V_{\max}

$\cos \Omega t = -1$: 调幅波谷值 V_{\min}

$$m_a = k_a \frac{V_{\Omega}}{V_0} = \frac{\text{包络振幅}}{\text{载波振幅}}$$

$$m_a = \frac{1}{2} \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{V_0} = \frac{V_{\max} - V_0}{V_0} = \frac{V_0 - V_{\min}}{V_0}$$

波形特点:

- (1) 调幅波的振幅（包络）变化规律与调制信号波形一致
- (2) 调幅度 m_a 反映了调幅的强弱度

7.2 调幅波的性质

➤ 1. 普通调幅波的数学表示式

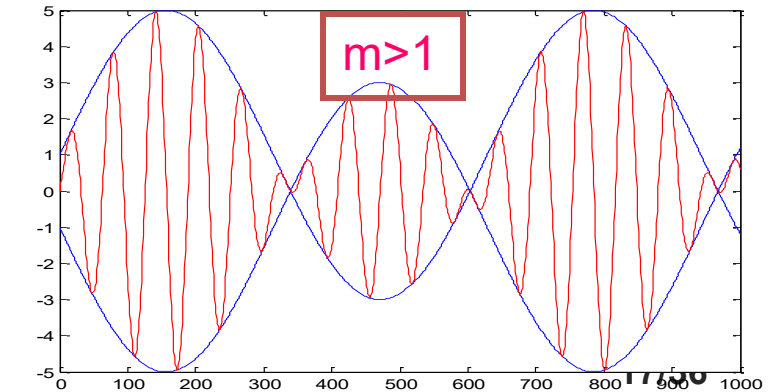
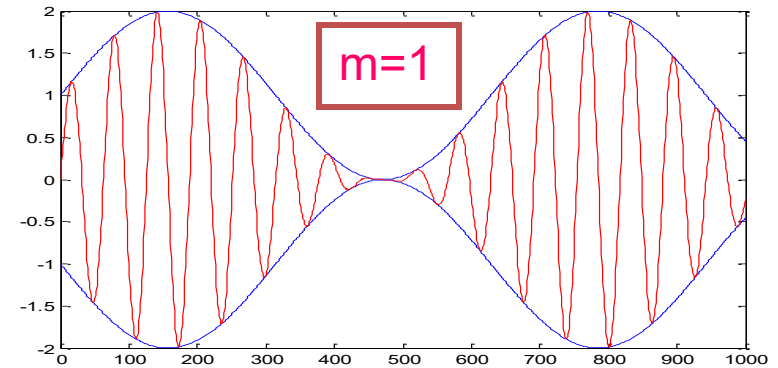
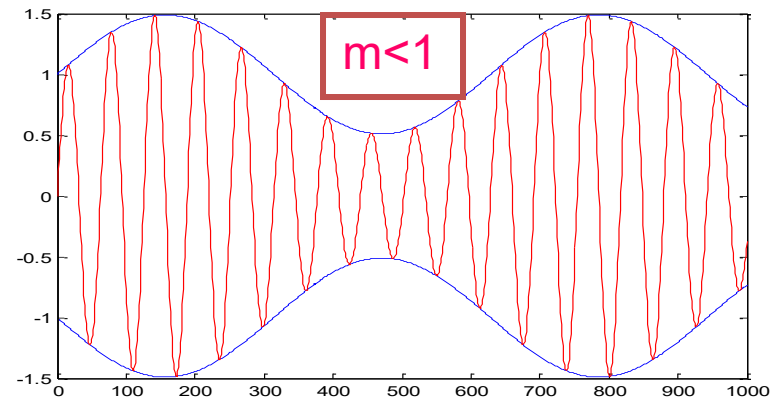
$$v_{\Omega} = V_{\Omega} \cos \Omega t$$

$$v_0 = V_0 \cos \omega_0 t$$

$$m_a = 0$$

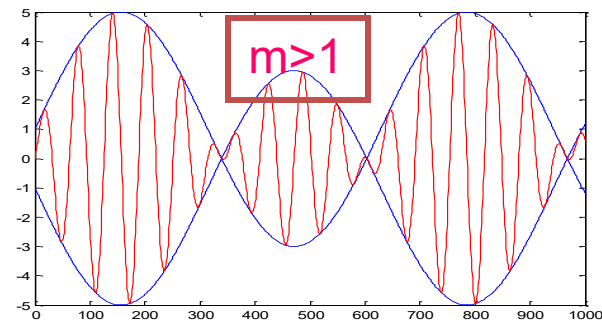
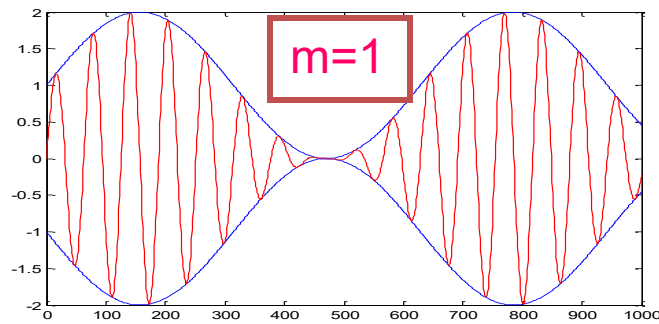
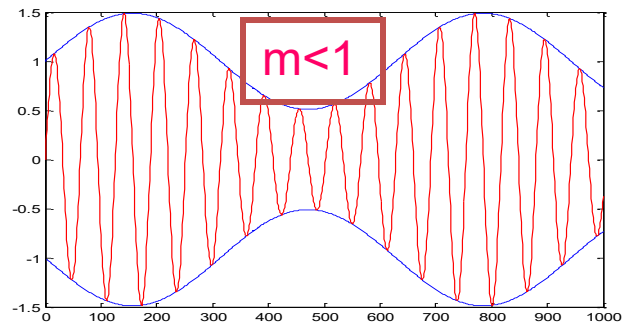
$$0 < m_a < 1$$

$$m_a > 1$$



7.2 调幅波的性质

➤ 1. 普通调幅波的数学表示式



7.2 调幅波的性质

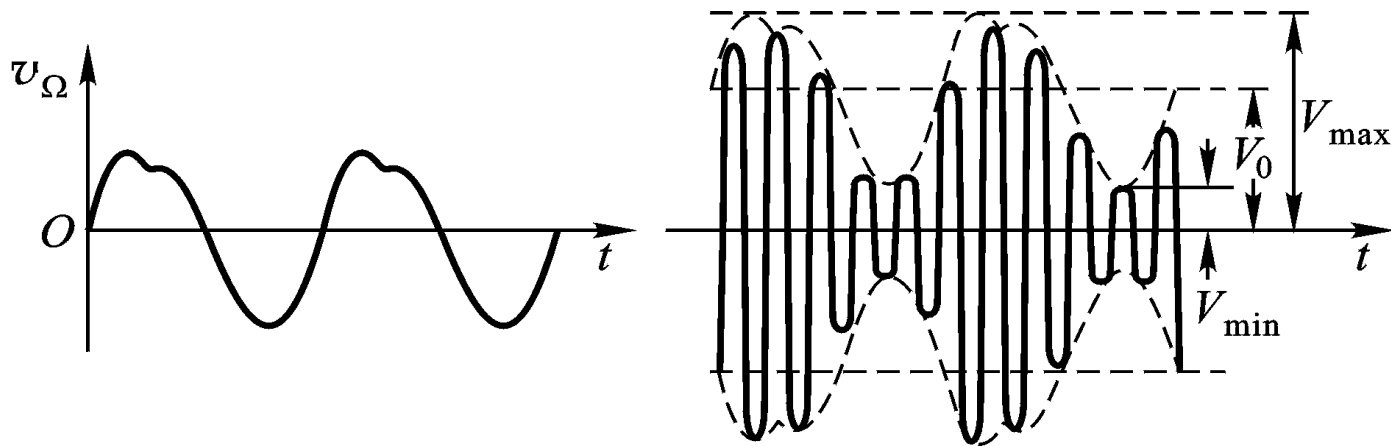
➤ 1. 普通调幅波的数学表示式

```
t=0:0.0001:0.1;      %时间
wb=2*pi*20;           %调制波频率20Hz
w0=2*pi*500;          %载波频率500Hz
Vbm=6;                %调制波振幅
V0m=10;                %载波振幅
%调制信号
vb=Vbm*cos(wb*t);
%载波信号
vc=V0m*cos(w0*t);
%调制指数
m=Vbm/V0m;            %默认系统灵敏度ka为1。
%已调波信号
vam=V0m*(1+m*cos(wb*t)).*cos(w0*t); %AM调制
%绘图
plot(t,V0m*(1+m*cos(wb*t)),'b',t,-V0m*(1+m*cos(wb*t)),'b',t,vam,'r');
%%%%%%%%%%%%%%
vdsb=V0m*m*cos(wb*t).*cos(w0*t); ; %DSB调制
figure;
plot(t,V0m*(m*cos(wb*t)),'b',t,-V0m*(m*cos(wb*t)),'b',t,vdsb,'r');
```

附： AM调制仿真程序（ Matlab）

7.2 调幅波的性质

➤ 1. 普通调幅波的数学表示式



(a) 调制信号

(b) 已调波形

图 7.2.2 由非正弦波调制所得到的调幅波

峰值调幅度
$$m_{\text{上}} = \frac{V_{\text{max}} - V_0}{V_0}$$

谷值调幅度
$$m_{\text{下}} = \frac{V_0 - V_{\text{min}}}{V_0}$$

**V_{max} 与 V_{min}
可能不对称**

7.2 调幅波的性质

➤ 2. 普通调幅波的频谱

(1) 由单一频率信号调幅

$$\begin{aligned} v_{\text{AM}}(t) &= V_0(1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t \\ &= V_0 \left[\cos \omega_0 t + \frac{1}{2} m_a \cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{1}{2} m_a \cos(\omega_0 - \Omega)t \right] \end{aligned}$$



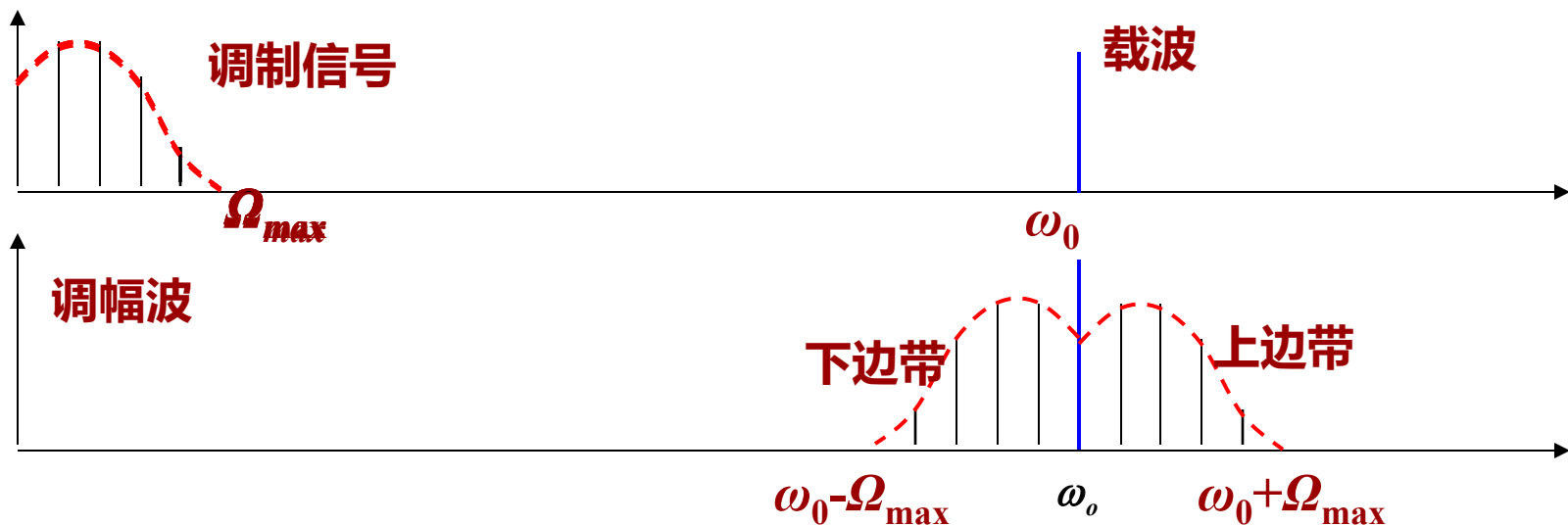
7.2 调幅波的性质

➤ 2. 普通调幅波的频谱

(2) 限带信号的调幅波

信号带宽 $B = 2\Omega_{\max}$

$$\begin{aligned} v_{\text{AM}}(t) &= V_0 \left[1 + \sum_n m_n \cos \Omega_n t \right] \cos \omega_0 t \\ &= V_0 \left\{ \cos \omega_0 t + \sum_n \left[\frac{1}{2} m_n \cos(\omega_0 + \Omega_n)t + \frac{1}{2} m_n \cos(\omega_0 - \Omega_n)t \right] \right\} \\ &= V_0 \left[\cos \omega_0 t + \sum_n \frac{1}{2} m_n \cos(\omega_0 + \Omega_n)t + \sum_n \frac{1}{2} m_n \cos(\omega_0 - \Omega_n)t \right] \end{aligned}$$



7.2 调幅波的性质

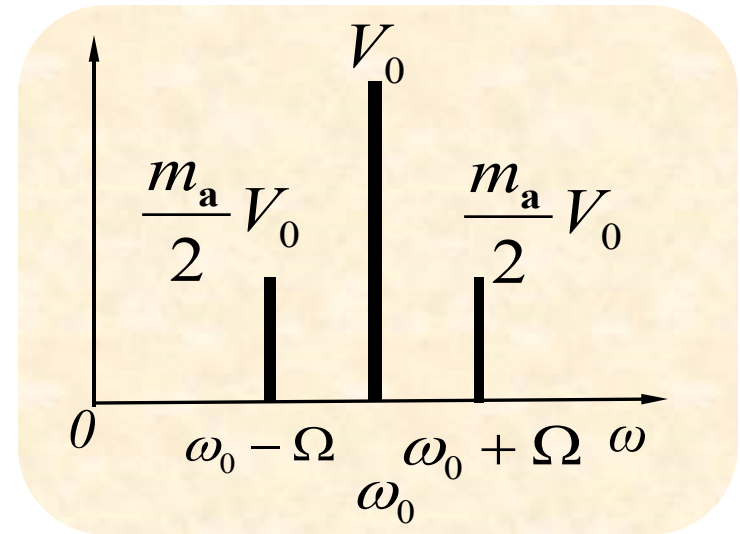
➤ 3. 普通调幅波中的功率关系

$$v(t) = V_o (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_o t$$

如果将普通调幅波输送功率至电阻R上,
则载波与两个边频将分别得出如下的功率:

载波功率:
$$P_{oT} = \frac{1}{2} \frac{V_o^2}{R}$$

上边频或下边频:
$$P_{SB1} = P_{SB2} = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{1}{2} m_a V_o^2 \right)}{R} = \frac{1}{4} m_a^2 P_{oT}$$



在调幅信号一周期内, AM信号的**平均输出功率**是

$$P_{AM} = P_{oT} + P_{DSB} = \left(1 + \frac{1}{2} m_a^2 \right) P_{oT}$$

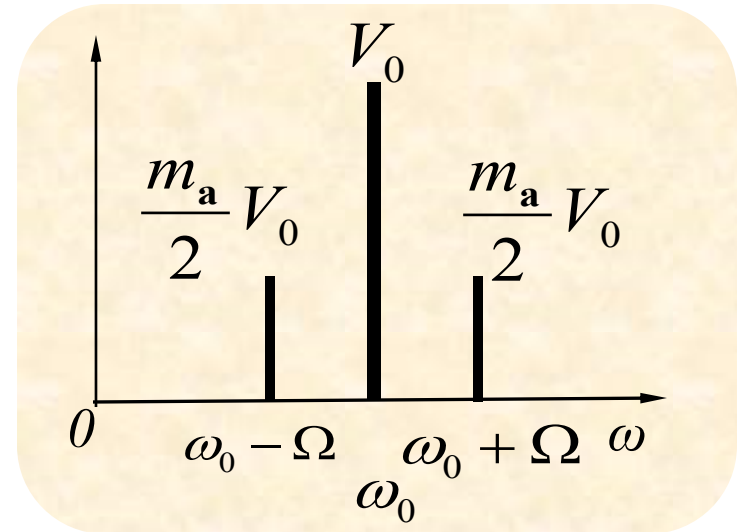
7.2 调幅波的性质

➤ 3. 普通调幅波中的功率关系

$$P_{AM} = P_{oT} + P_{DSB} = (1 + \frac{1}{2} m_a^2) P_{oT}$$

当 $m_a = 1$ 时, $P_{oT} = (2/3) P_o$

当 $m_a = 0.5$ 时, $P_{oT} = (8/9) P_o$



- 可见：载波本身并不包含信号，但它的功率却占整个调幅波功率的绝大部分。
- 从调幅波的频谱图可知，唯有它的上、下边带分量才实际地反映调制信号的频谱结构，而载波分量仅是起到频谱搬移的作用，不反映调制信号的变化规律。
- 通常 $m_a = 20\% - 30\%$, 发射机有用信号功率很小，整机效率低，这就是普通调幅的固有缺点。

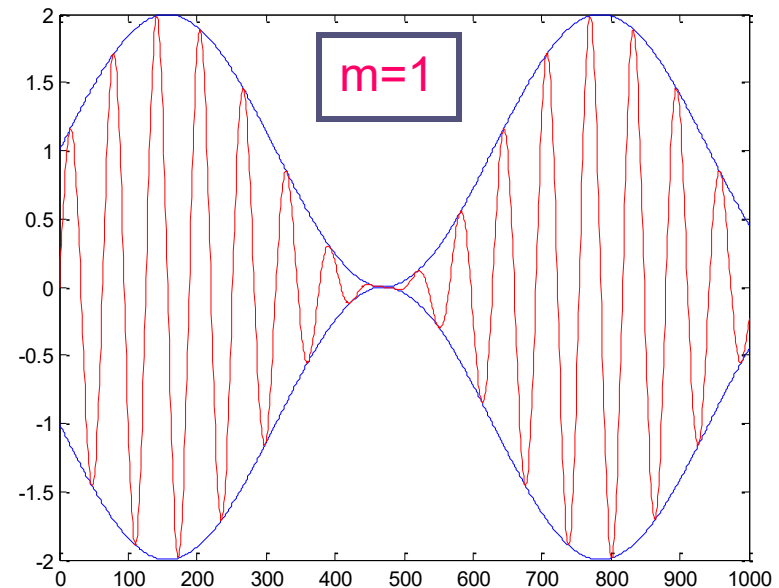
7.2 调幅波的性质

➤ 3. 普通调幅波中的功率关系

$$v_{\text{AM}}(t) = V_0(1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$$

调幅波的最大功率和最小功率，分别对应调制信号的最大值和最小值：

$$P_{\text{max}} = P_{0T}(1 + m)^2$$
$$P_{\text{min}} = P_{0T}(1 - m)^2$$



- **总结：**由前面分析可得：
- (1) 当调幅度 $m=1$ 时，调幅波的最大功率为载波功率的4倍，而最小功率为零，因此由于最大、最小功率相差太大，对特定的功放管而言，其额定输出功率将大大受限；
- (2) 当 $m=1$ 时，不携带调制信号的载波成分将占用调幅波总功率的 $2/3$ ，而带有信号的边频只调幅波总功率的 $1/3$ ，因此功率浪费大，效率低；若 $m<1$ ，则效率更低。

7.2 调幅波的性质

➤ 4. 双边带信号

在调制过程中，将载波抑制就形成了抑制载波双边带信号，简称**双边带信号（DSB）**。它可用载波与调制信号相乘得到，其表示式为：

$$v_{DSB}(t) = kf(t)v_c$$

若调制信号为单一正弦信号 $v_\Omega = V_\Omega \cos \Omega t$ 调制时，

$$v_{DSB}(t) = kV_0V_\Omega \cos \Omega t \cos \omega_0 t = g(t) \cos \omega_0 t$$

其中 $g(t)$ 可正可负，与普通调幅波的幅度函数 $V_m(t)$ 不同

7.2 调幅波的性质

➤ 4. 双边带信号

AM调制

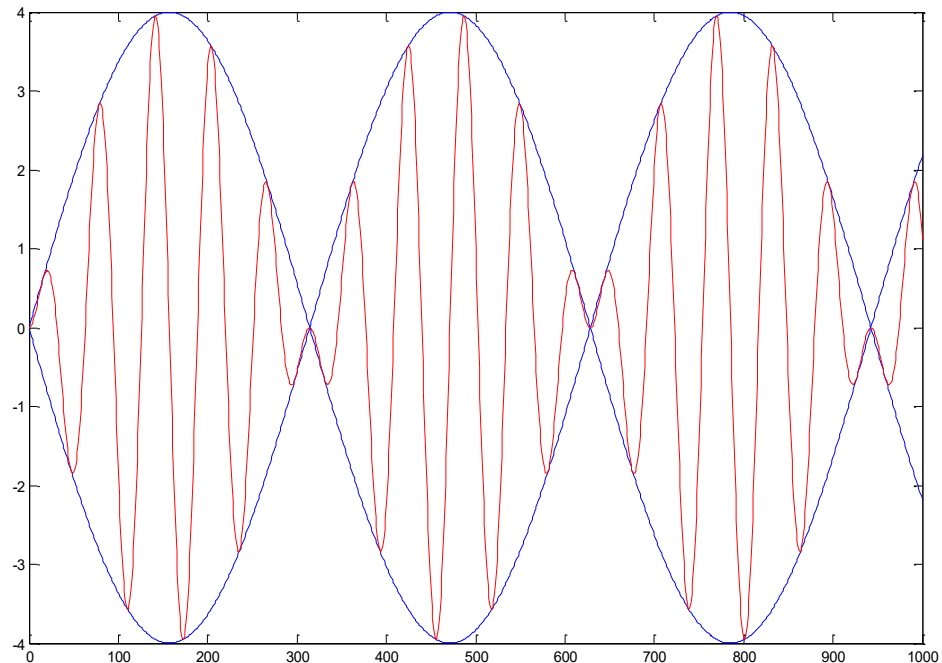


DSB调制

DSB已调信号波形

$$v_{AM} = V_0(1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$$

$$v_{DSB} = V_0(m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$$

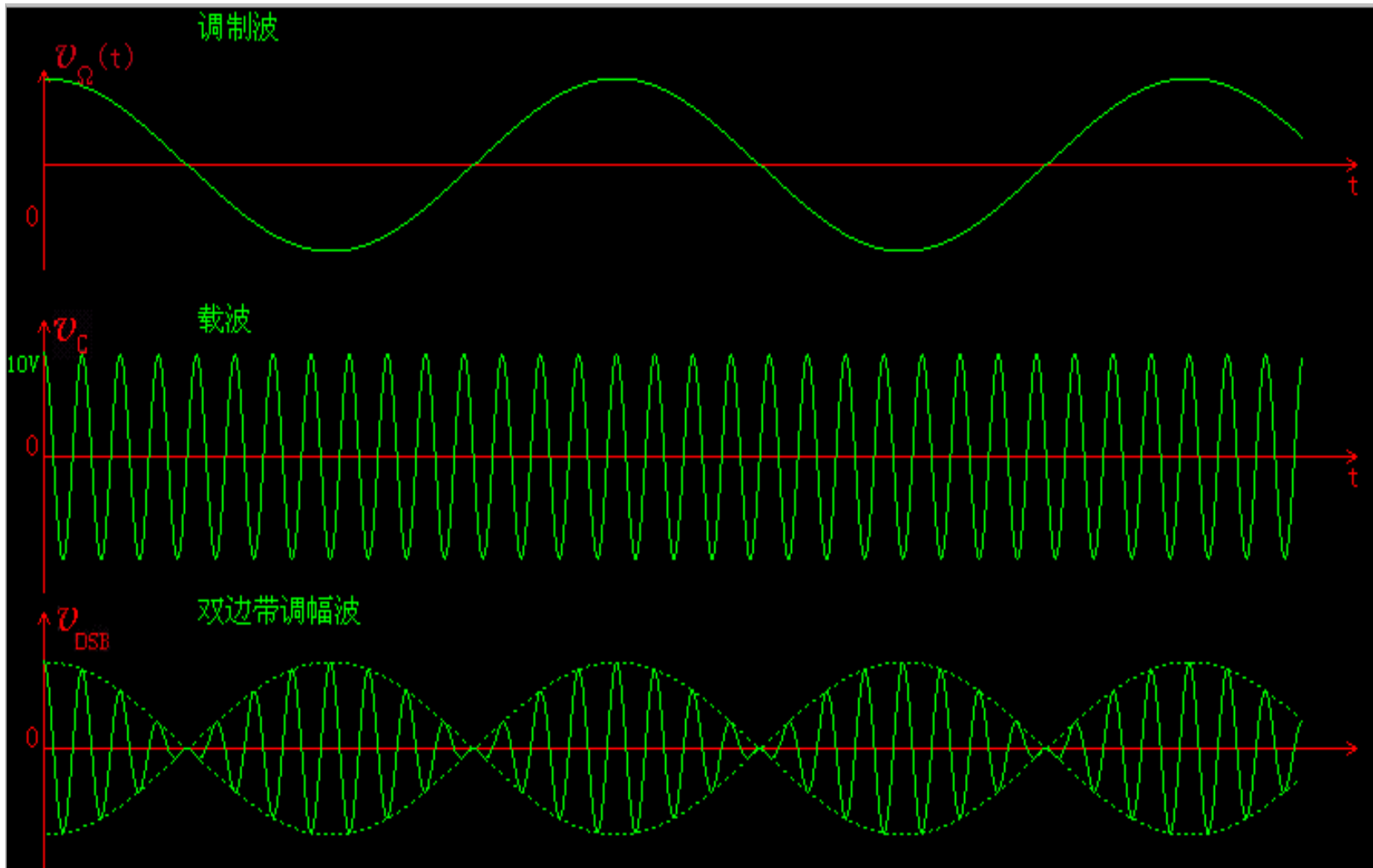


7.2 调幅波的性质

➤ 4. 双边带信号

DSB调制

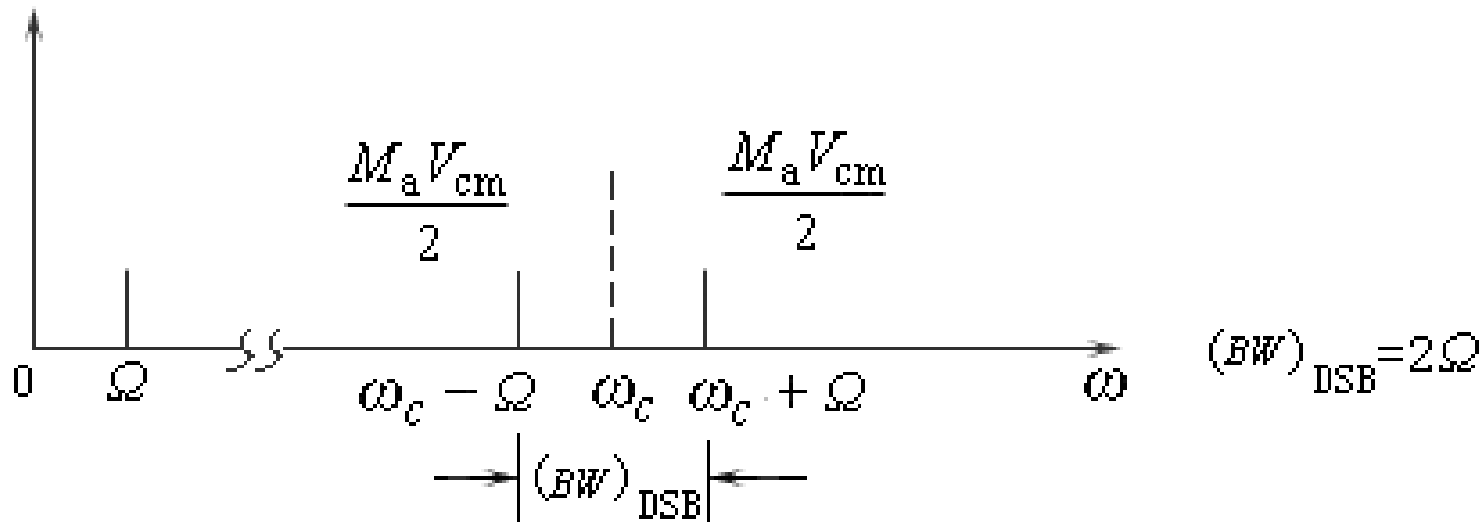
Double Side Band



7.2 调幅波的性质

➤ 4. 双边带信号

单音信号DSB调制频谱特性

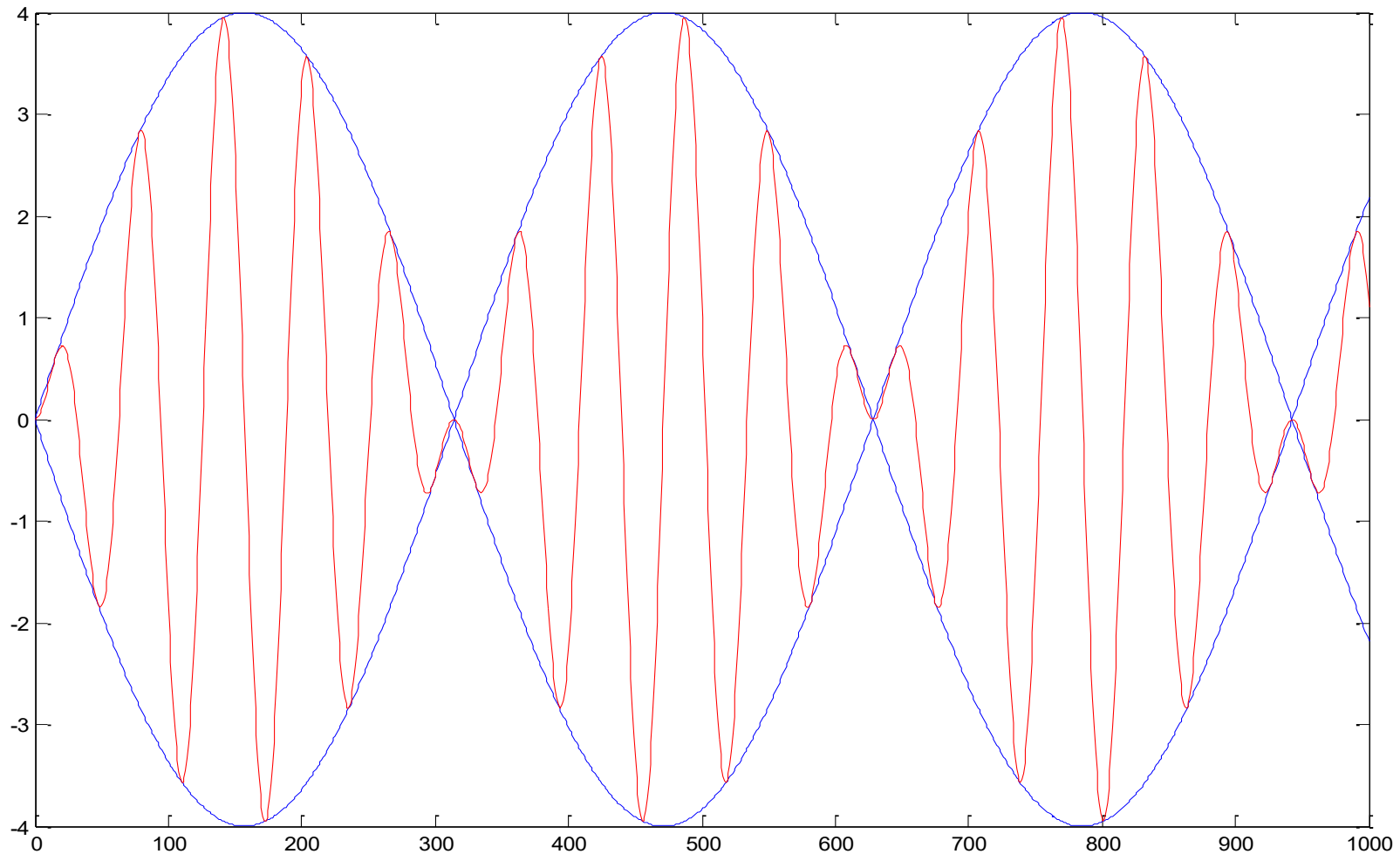


- 1、带宽与**AM**调制相同
- 2、功率大大降低。

7.2 调幅波的性质

➤ 4. 双边带信号

单音信号DSB调制**相位突变**



7.2 调幅波的性质

➤ 5. 单边带信号(**single sideband SSB**)

概念：单边带（SSB）信号是由DSB信号经边带滤波器滤除一个边带或在调制过程中，直接将一个边带抵消而成。

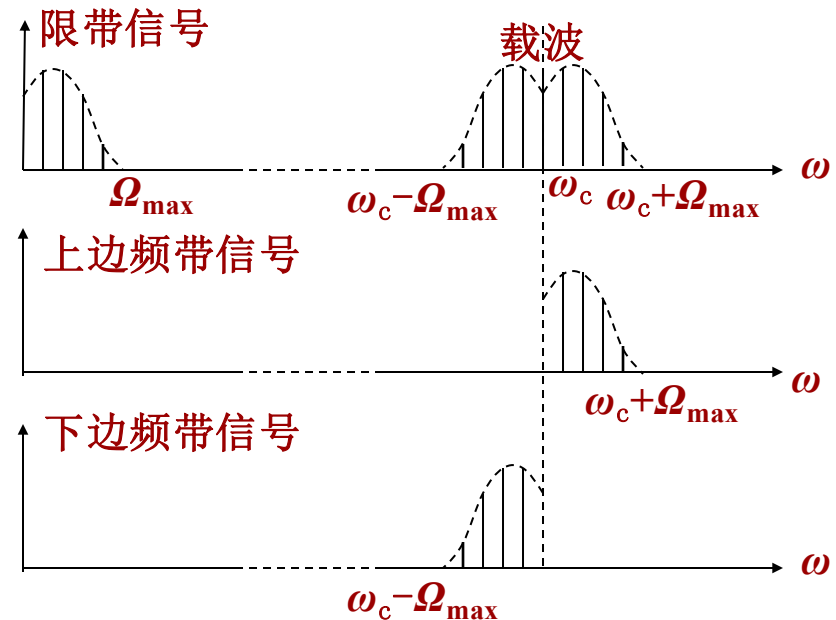
$$v_{DSB}(t) = \frac{1}{2} kV_{\Omega} V_0 [\cos(\omega_0 + \Omega)t + \cos(\omega_0 - \Omega)t]$$

上边带信号

$$\begin{aligned} v_{USB}(t) &= \frac{1}{2} kV_{\Omega} V_0 \cos(\omega_0 + \Omega)t \\ &= V \cos(\omega_0 + \Omega)t \end{aligned}$$

下边带信号

$$\begin{aligned} v_{LSB}(t) &= \frac{1}{2} kV_{\Omega} V_0 \cos(\omega_0 - \Omega)t \\ &= V \cos(\omega_0 - \Omega)t \end{aligned}$$

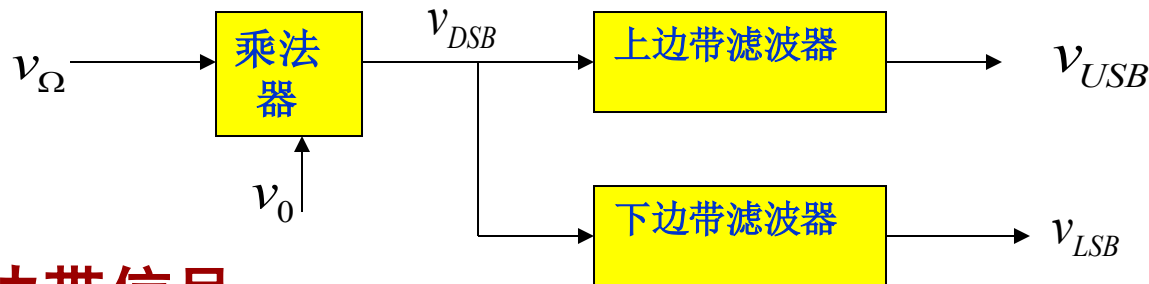


7.2 调幅波的性质

➤ 5. 单边带信号(single sideband SSB)

由DSB信号经过边带滤波器滤除了一个边带而形成，如：

$$v_{DSB}(t) = \frac{1}{2} k V_{\Omega} V_0 [\cos(\omega_0 + \Omega)t + \cos(\omega_0 - \Omega)t]$$



∴ 上边带信号

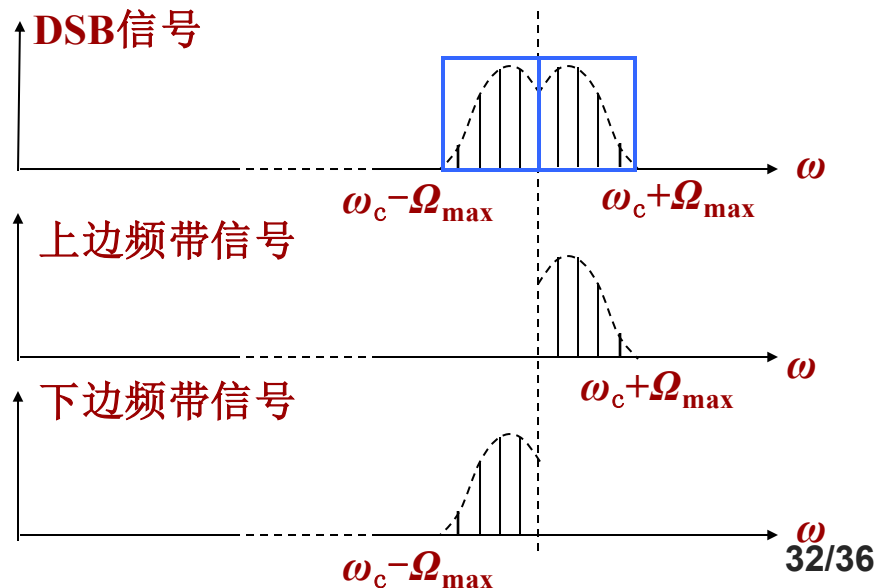
$$v_{USB}(t) = \frac{1}{2} k V_{\Omega} V_0 \cos(\omega_0 + \Omega)t$$

$$= V \cos(\omega_0 + \Omega)t$$

∴ 下边带信号

$$v_{LSB}(t) = \frac{1}{2} k V_{\Omega} V_0 \cos(\omega_0 - \Omega)t$$

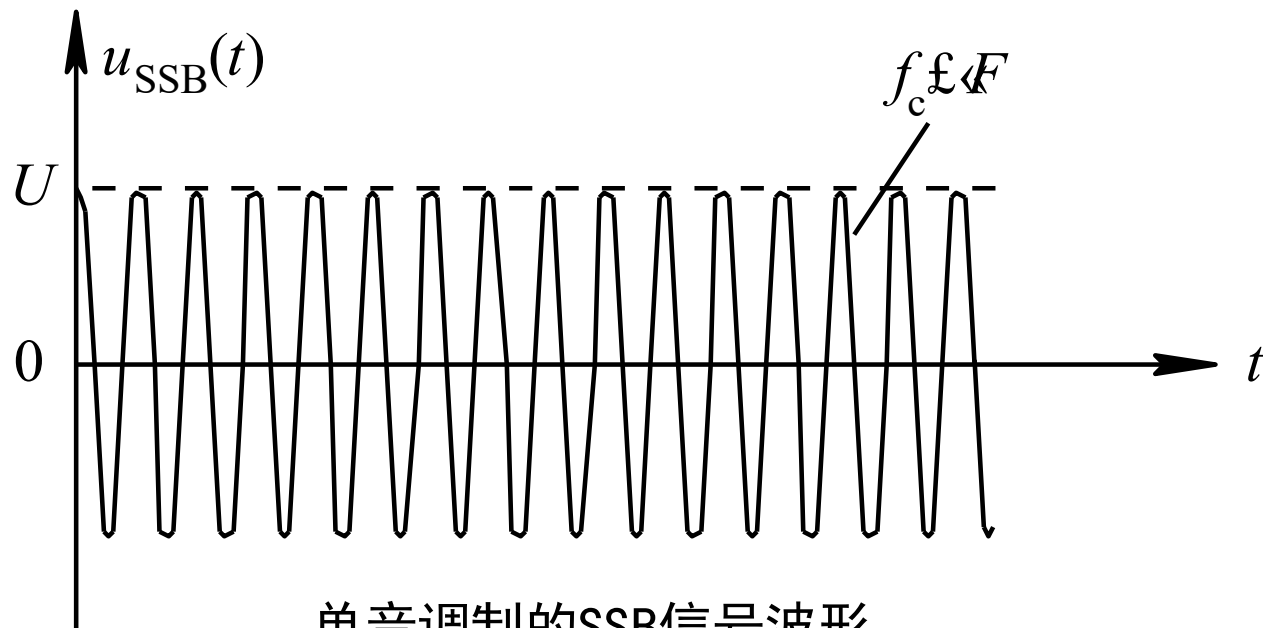
$$= V \cos(\omega_0 - \Omega)t$$



7.2 调幅波的性质

➤ 5. 单边带信号(**single sideband SSB**)

单边带信号的波形及频谱如图所示，由于它们为单一频率成分的信号，因此，单纯从该信号中是无法知道原来调制信号，也无法看出实际该信号的特征。

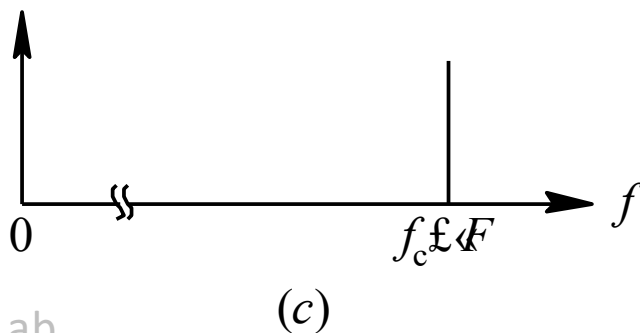
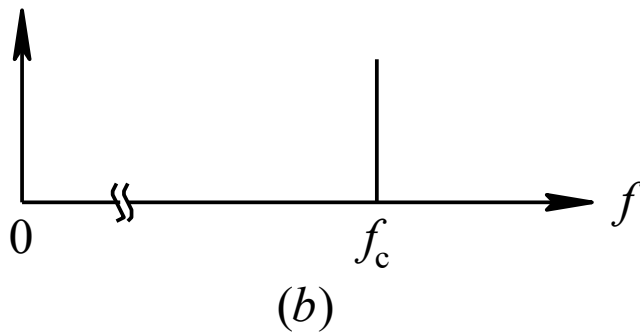
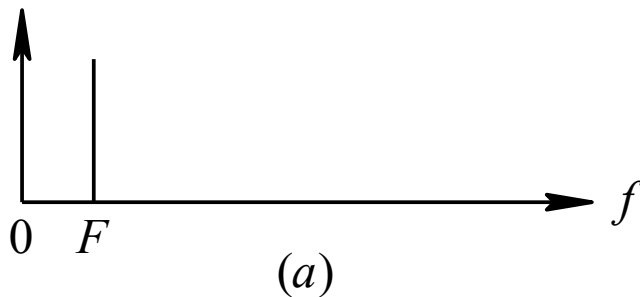


单音调制的SSB信号波形

7.2 调幅波的性质

➤ 5. 单边带信号(single sideband SSB)

单边带调制时的频谱搬移



总结：

单边带调制从本质上说是幅度和频率都随调制信号改变的调制方式。但是，由于它产生的已调信号频率与调制信号频率间只是一个线性变换关系（线性搬移），这一点与AM、DSB类似，因此通常还是把它归结为振幅调制。

SSB调制的特点：占用频带窄，功率利用率高。

小结

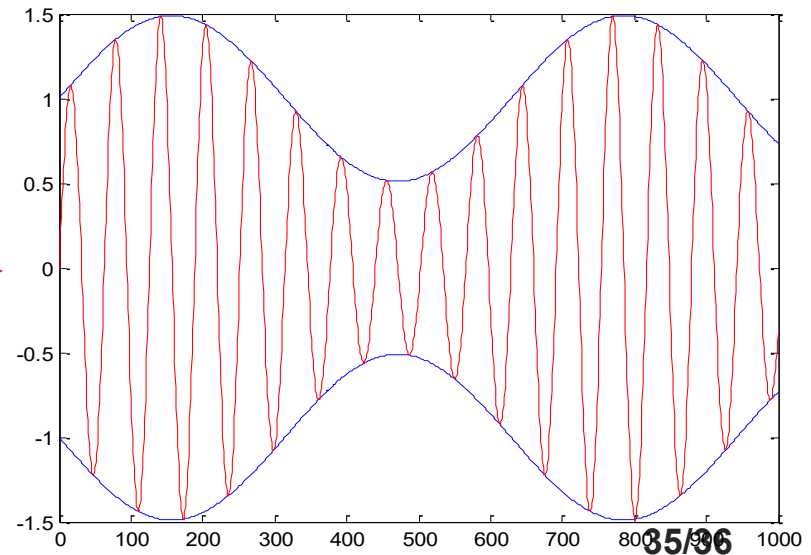
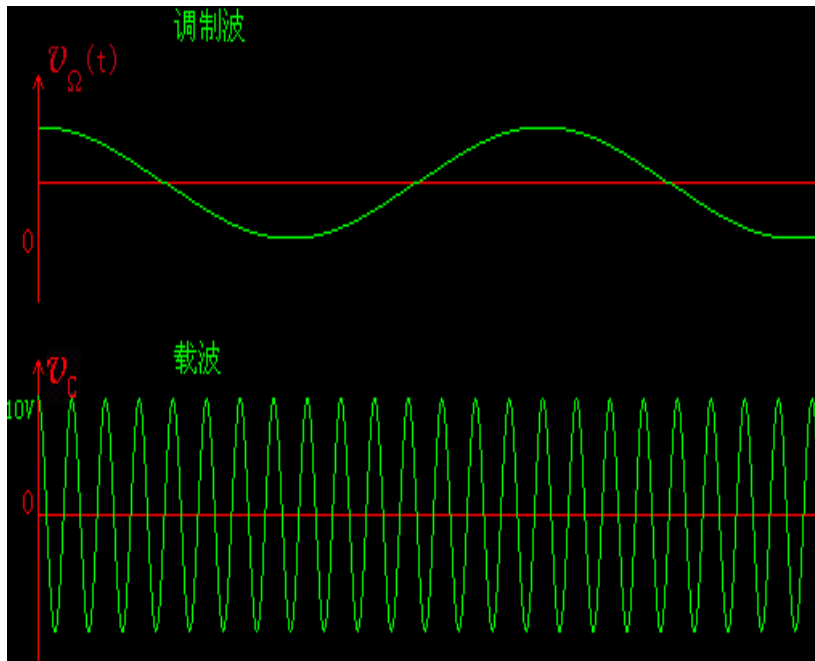
➤ 振幅调制 Amplitude Modulation

定义:

用调制信号去控制载波信号振幅, 使载波信号瞬时幅度随调制信号作线性变化的过程

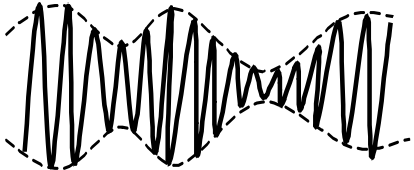

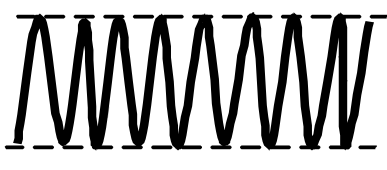
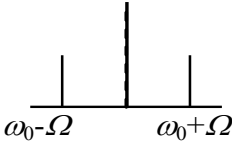
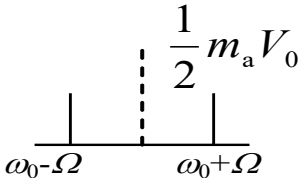
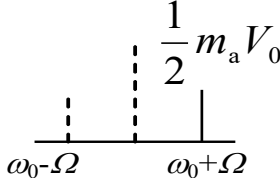
调制方程:

$$v_{AM} = V_0 (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$$



小结

➤ 三种振幅调制信号比较

电压表达式	普通调幅波 $V_0(1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$	载波被抑制双边带调幅波 $m_a V_0 \cos \Omega t \cos \omega_0 t$	单边带信号 $\frac{m_a}{2} V_0 \cos(\omega_0 - \Omega)t$ (或 $\frac{m_a}{2} V_0 \cos(\omega_0 + \Omega)t$)
波形图			
频谱图			
信号带宽	$2(\frac{\Omega}{2\pi})$	$2(\frac{\Omega}{2\pi})$	$\frac{\Omega}{2\pi}$

本章小结

1. 掌握**调制解调的含义**：常见调制方式AM FM PM。
2. 掌握**调幅波的性质**：调制过程数学描述、信号频谱、功率关系。
理解各种调幅波特性，调制系数、表达式、波形、给定信号会画频谱，求解功率。



Thank You !

Q & A