



课程名称：**通信电子线路**

英文名称：**Communication electronic circuit**

教材名称及作者：西安电子科技大学出版社

曾兴雯主编《高频电路原理与分析》（第四版）

21世纪高等学校通信类规划教材



## 本课程的特点

### 课程的目的、要求

#### 目的:

- 了解通信电子信息产生、发射、接收的原理与方法;
- 分析通信电子器件和通信电路的工作原理;
- 掌握通信电子线路的基本组成和分析、计算方法;
- 培养通信电子线路的识图、作图和简单设计能力;
- 培养分析和解决通信电子线路中实际问题的能力,培养创新实践精神;
- 了解通信电子线路的最新发展动态,为后续电子课程及电子专业打下基础。



### 要求:

- 1) 了解通信电子线路的特点，通信电子信息产生、发射、接收的原理与方法；
- 2) 熟悉基本通信电子器件的功能特点和用途；
- 3) 掌握基本通信电子线路的电路结构、分析方法和基本设计方法；
- 4) 掌握基本通信电子线路实验技能和安装调试方法。

### 通过本课程的学习，应达到下列基本要求：

(一)掌握以下定义、基本概念和基本原理：串联谐振、关联谐振、接入系数、频率特性、通频带、选择性、品质因数、松耦合双调谐、参差调谐、Y参数、截止频率、特征频率、谐振放大倍数、自给偏压、过压状态、欠压状态、临界状态、阻抗区配、槽路效率、正弦波振荡器、压电效应、晶体振荡、调幅、检波、抑制载波调幅、同步检波、调频、鉴频、限幅、频谱图、变容二极管、电抗管、锁相、捕获、锁定、跟踪、变频、混频、干扰、噪声、输出功率和效率。

(二)正确运用下列分析方法：折线近似分析法；幂级数分析法；处理实际问题时所用的估算法；

《高频电路原理与分析》



# 基本内容及学时分配

## 1. 通信电子线路序论（4）

### 1.1 无线通信系统概述

### 1.2 无线电信号

## 2. 高频电路基础（4）

### 2.1 高频电路中的元器件

### 2.2 振荡回路

### 2.3 电子噪音

## 3 高频谐振放大器（8）

### 3.1 高频小信号放大器

### 3.2 高频功率放大器的原理与特性

### 3.3 高频功放的高频效应

### 3.4 高频功率放大器的实际线路

### 3.5 高频功放、功率合成与射频模块放大器



## 4 正弦波振荡器 (6)

4.1 反馈振荡器的原理

4.2 LC振荡器

4.3 振荡器频率的稳定度

4.4 LC振荡器的设计方法

4.5 石英晶体振荡器

4.6 振荡器中的几种现象

## 5 频谱的线性搬移电路 (6)

5.1 非线性电路的分析方法

5.2 二极管电路

5.3 差分对电路

5.4 其他频谱线性搬移电路

## 6 振幅调制、解调与混频 (8)

6.1 振幅调制

6.2 调幅信号的解调

6.3 混频

6.4 混频器的干扰

## 7 角度调制与解调 (8)

7.1 角度调制信号分析

7.2 调频器与调频方法

7.3 调频电路

7.4 鉴频器与鉴频方法

7.5 鉴频电路

7.6 调频收发信机及附属电路

7.7 调频多重广播



# 第一章 绪论

## 简介

§1-1 无线通信系统概述

§1-2 信号、频谱与调制

§1-2-1 通信系统中的基本信号

§1-2-2 调幅信号及其频谱

§1-2-3 调角信号及其频谱

§1-2-4 数码调制信号及其频谱

§1-2-5 多路通信及已调波比较



## 简介

现代通信与信息社会

通信的任务:克服距离上的障碍,迅速而准确地传输信息。

历史:

第一阶段: 语言

第二阶段: 文字、邮政

第三阶段: 印刷术

第四阶段: 电气通信 (技术发展迅速)

第五阶段: 信息时代 (信源多样化, 传输速率 $\uparrow$ , 存储量 $\uparrow$ , 信号处理复杂...)

例: 个人通信

第三代移动通信



## §1-1 无线通信系统概述

### 一、概念

通信：不失真地将信息(消息)从一方传送到另一方。

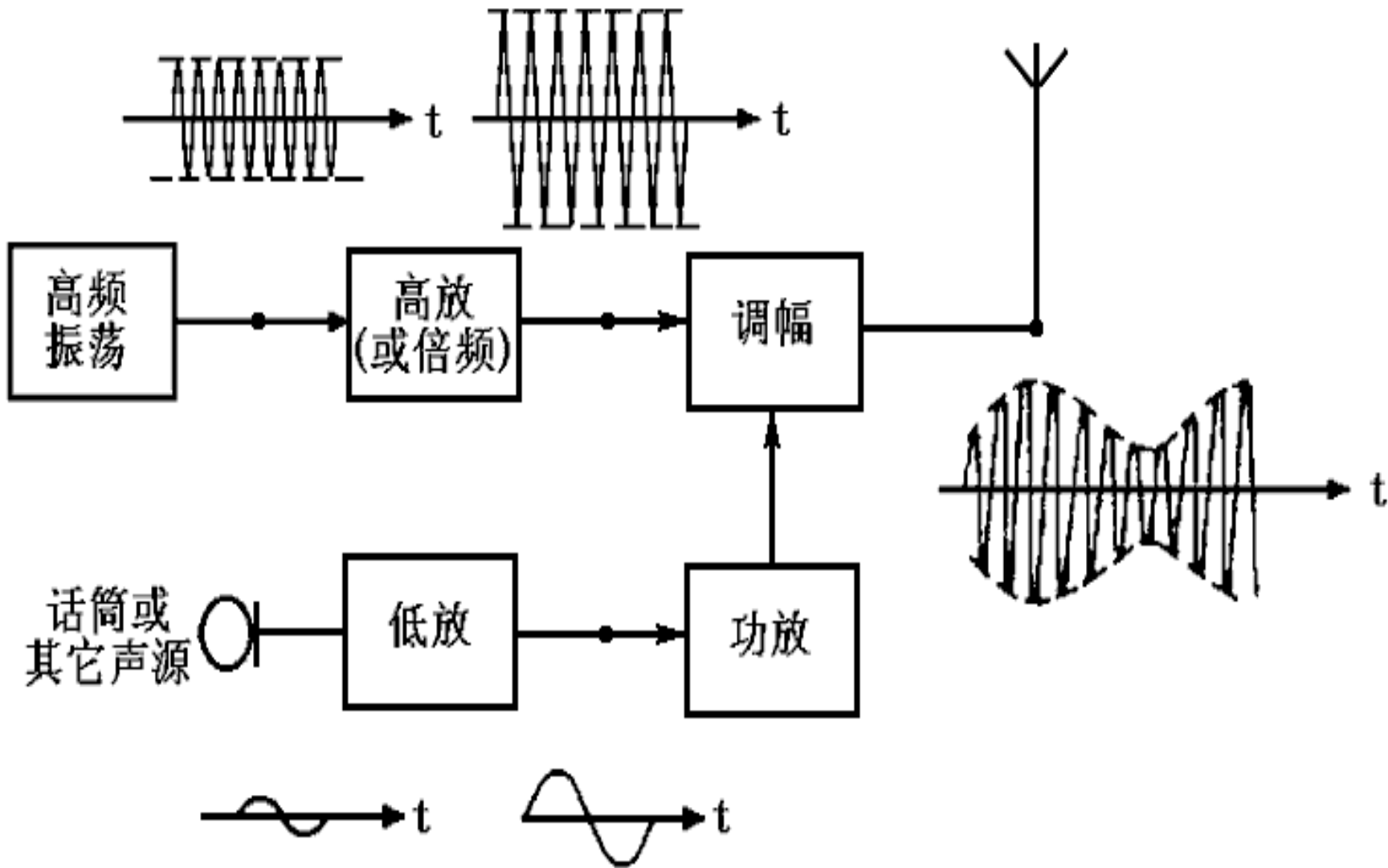
典型的通信系统:移动通信系统、卫星通信系统、  
光纤通信系统、电话通信系统

### 二、通信系统模式

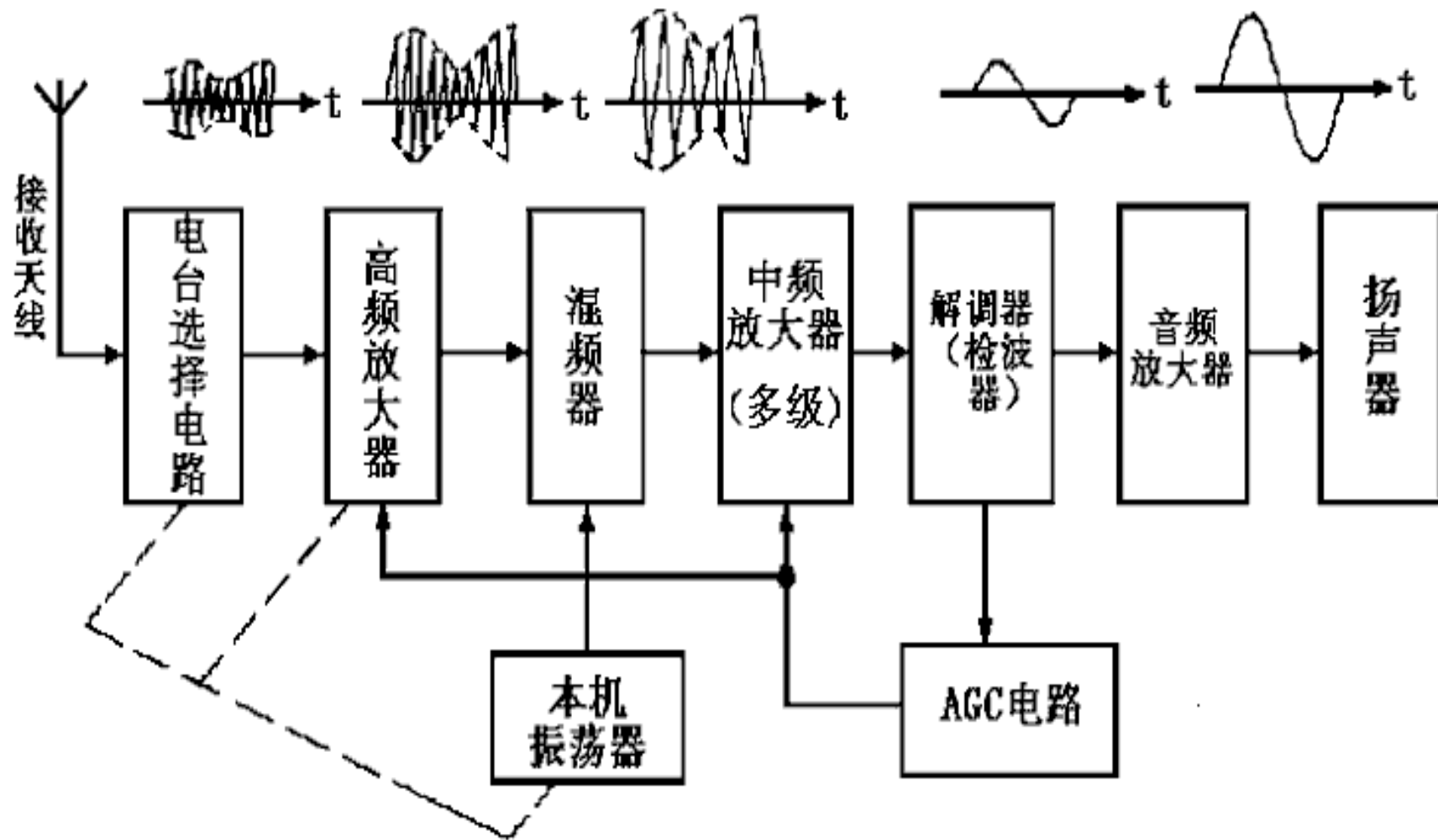
特性：衰减特性、干扰情况、频率特性、时变与非时变  
特性 等。

通信系统举例：短波数据/语音通信

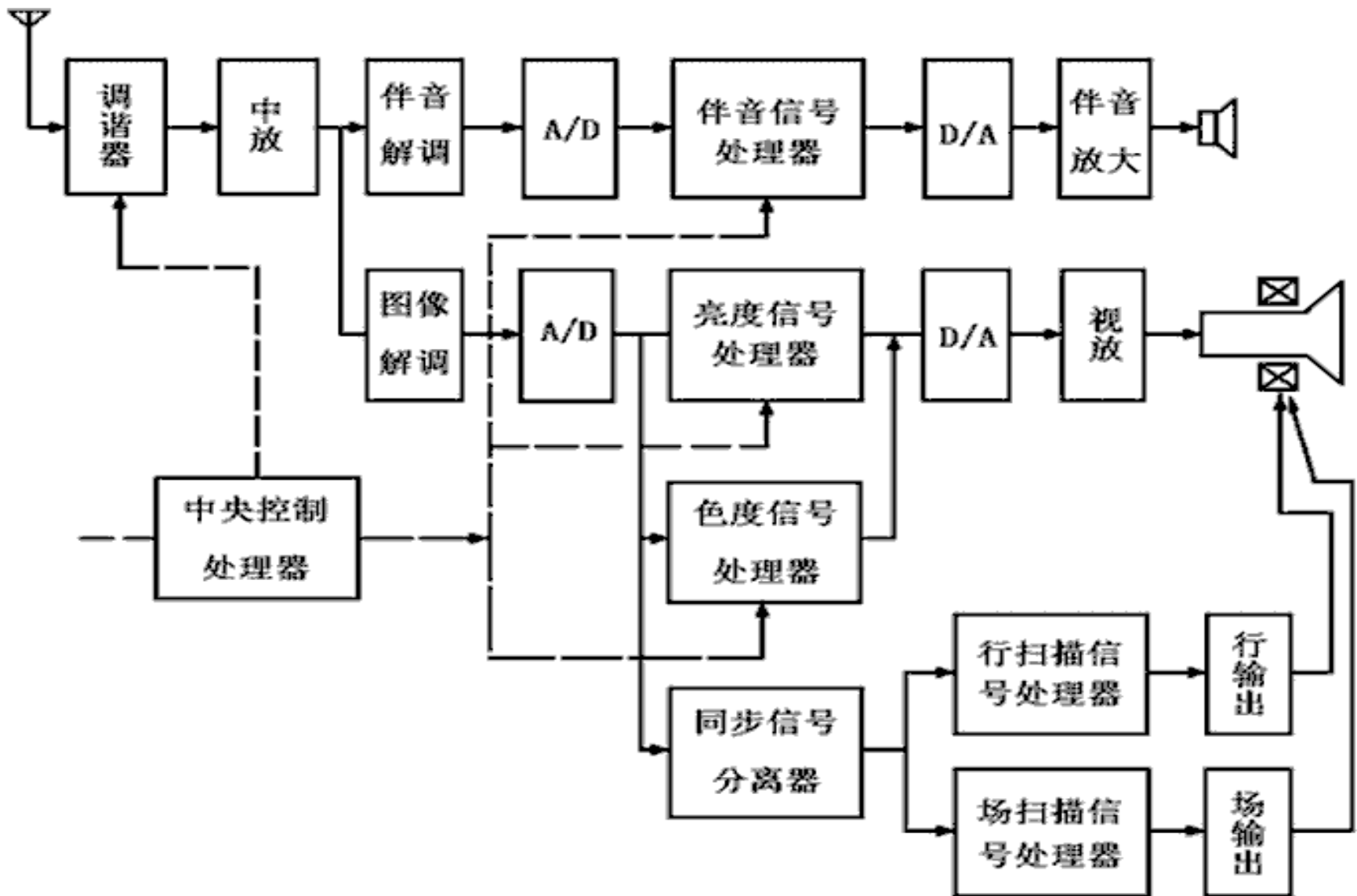




无线调幅发射机框图



无线调幅接收机框图



数字彩电接收机框图

### 三、通信系统中的调制与解调

#### 1. 调制与解调的作用

- (1) **波长与天线的有效配合**：保证天线天线的有效辐射或接收电磁波信号的条件，是天线尺寸与信号波长相比拟。故：信号频率范围较宽，或信号波长太长时，天线难以制作。
- (2) **信号的多路传输**：调制后，各路信号的载频(信号的中心频率)不同，可在同一信道中传输(无线信道或有线信道)。

#### 2. 实现调制与解调

**理论基础：**付氏变换中的频谱搬移特性(频域特性)，任何一个信号如乘上一个高频信号(正弦单频信号)，则可将此任意信号的频谱不失真地搬移到该高频信号频谱的两侧。因此，该高频信号又称为载频信号。

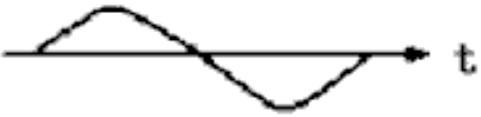
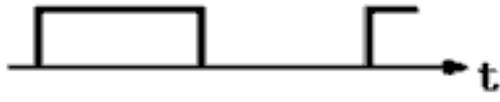

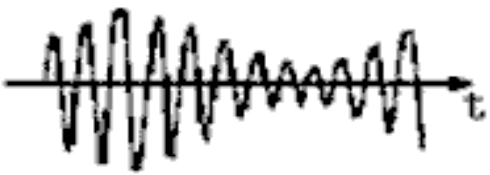
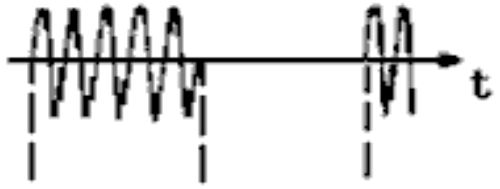
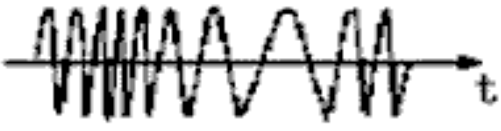
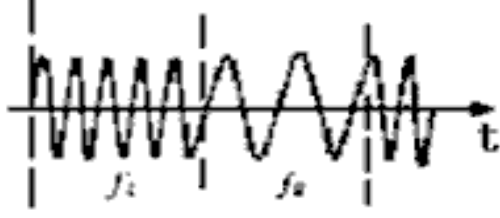
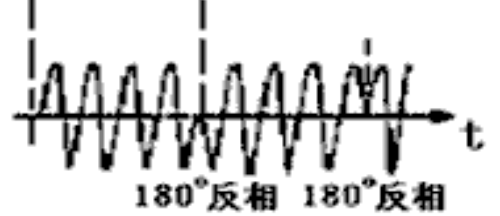
高频信号(载频信号)电压或

电流的瞬时表达式：

$$v(t) = V \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$



AM      FM      PM

调制信号 (基带信号)	$f(t)$		
载频信号	$v=V\cos(\omega_0 t + \phi_0)$		
振幅调制 AM	用 $f(t)$ 改变 $v$ , 使 $v$ 随 $f(t)$ 变化; $\omega_0$ 、 $\phi_0$ 不改变		
频率调制 FM	用 $f(t)$ 改变 $\omega_0$ 或 $f_0$ , 使 $\omega_0$ 随 $f(t)$ 变化而变化; $v$ 不改变		
相位调制 PM	用 $f(t)$ 改变 $\phi_0$ , 使 $\phi_0$ 随 $f(t)$ 变化; $v$ 不改变	波形与调频波类似	

## 调制方式分类



## 四、通信系统的波段划分

波段名称		波段 (波长范围)	频段 (频率范围)	传输信道	
				无线信道	有线信道
甚长波		1000~100km	0.3~3kHz	海水	架空明线
超长波		100~10km	3~30kHz	海水、地表层、电离层、自由空间	架空明线 对称电缆
长波		10~1km	30~300kHz		
中波		1000~200m	0.3~1.5MHz	地表层、电离层、自由空间	同轴电缆
短波		200~10m	1.5~30MHz		
超短波	米波	10~1m	30~300MHz	自由空间 (直线范围)	
微波	分米波	100~10cm	0.3~3GHz		
	厘米波	10~1cm	3~30GHz		
	毫米波	10~1mm	30~300GHz		
	亚毫米波	1~0.1mm	300~3000GHz		
光波	长波长	1.25~1.6 μm			光缆
	短波长	0.8~0.9 μm			



## 五、电波传输特性

直射传播（视距）

绕射波（地波）

反射波（天波）

折射传播

散射传播



## 六、通信系统共同的基本特性

### (1) 通信容量

一个信道（有线或无线）可同时传送的独立已调信号的路数。

- \*与传输媒介有关（空间、电缆、光缆等）

- \*与通信方式有关（AM,SSB,FM等）

### (2) 信号失真度

通信系统中接收到的信号不同于原信号的程度。

**减小信号失真度的措施：**

- \*合理的收、发设备的整体设计；

- \*优选单元电路；

- \*精调各电路的工作状态。





## 共同的基本特性(续)

### (3) 传输距离

- \*与发射功率、效率，接收灵敏度有关；
- \*与通信体制、方式有关；
- \*与信道损耗，干扰和噪声的强度等有关。

### (4) 抗干扰、抗噪声能力

- \*合理的通信体制；
- \*优良的选频电路，调制和解调电路；
- \*高质量和低噪声的元器件。



## §1-2 信号、频谱与调制

### §1-2-1 通信系统中的基本信号

#### 一、电信号

1.概念：表示某种信息变化的电流（电压）信号，称为电信号。

基带信号（原始电信号）

已调信号（高频、中频）

另外：干扰、噪声也是信号（称干扰信号）。

## 2.分类

(1)规则信号：（确定的时间函数）

周期信号---离散频谱

周期性的时间函数

采用付氏级数的方法进行分析

非周期信号---连续频谱

非周期性的时间函数

采用付氏变换的方法进行分析

(2)非规则信号：（非确定的时间函数）

随机信号（例如：热噪声）（均匀频谱且趋于无穷大）

采用随机过程、概率和统计的方法进行分析。

## 二、信号的表示方法

重点:

时域表达式(波形), 频域表达式(频谱)

两种表示方法的实质是一致的。

时域表达式和频域表达式的直接关系:

周期信号(离散谱) → 付氏级数方法

正变换:

$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jn\Omega t} dt$$

反变换:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(n) e^{jn\Omega t} = \alpha_0 + \sum_{n=1}^{\infty} F(n) \cos(n\Omega t + \varphi_n)$$

## 非周期信号（连续谱）→付氏变换方法

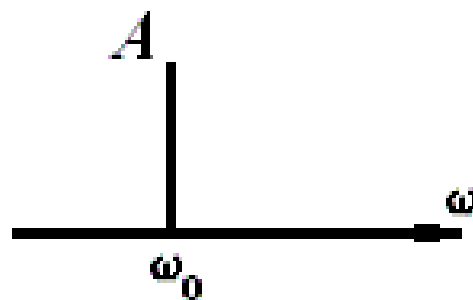
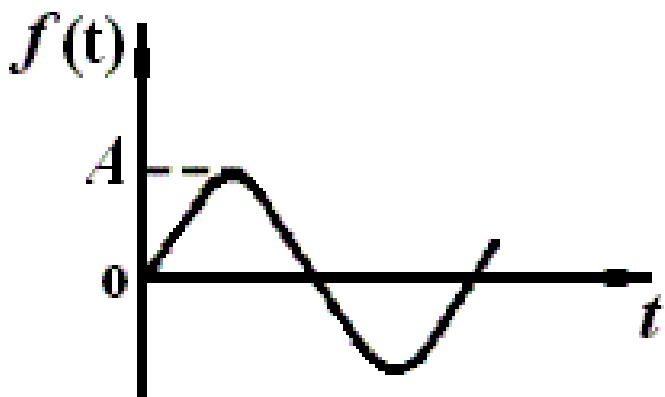
正变换：

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

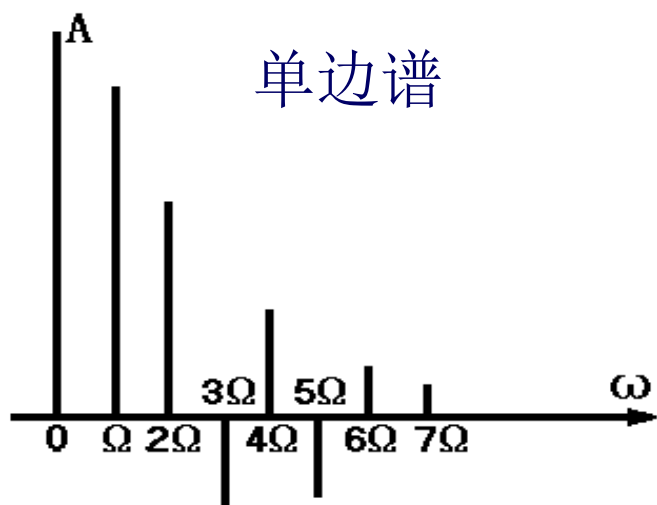
反变换：

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega$$

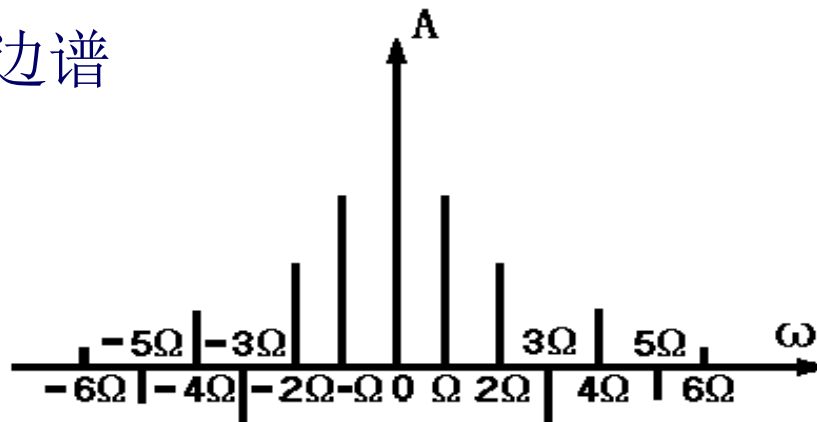
例1：单频正弦信号  $f(t)=A\sin(\omega t)$ ：单谱



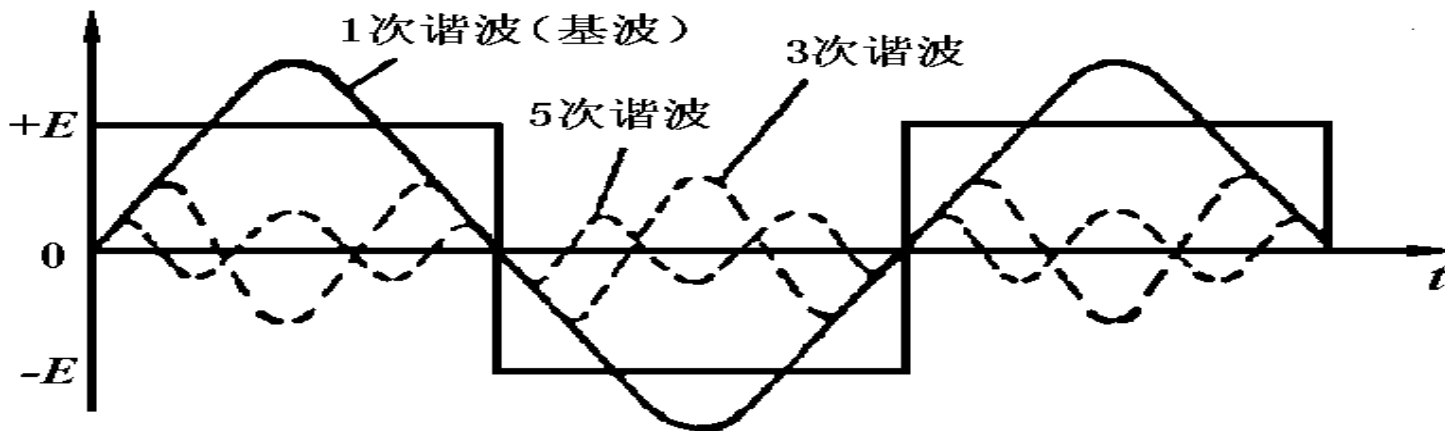
## 周期信号单、双边频谱

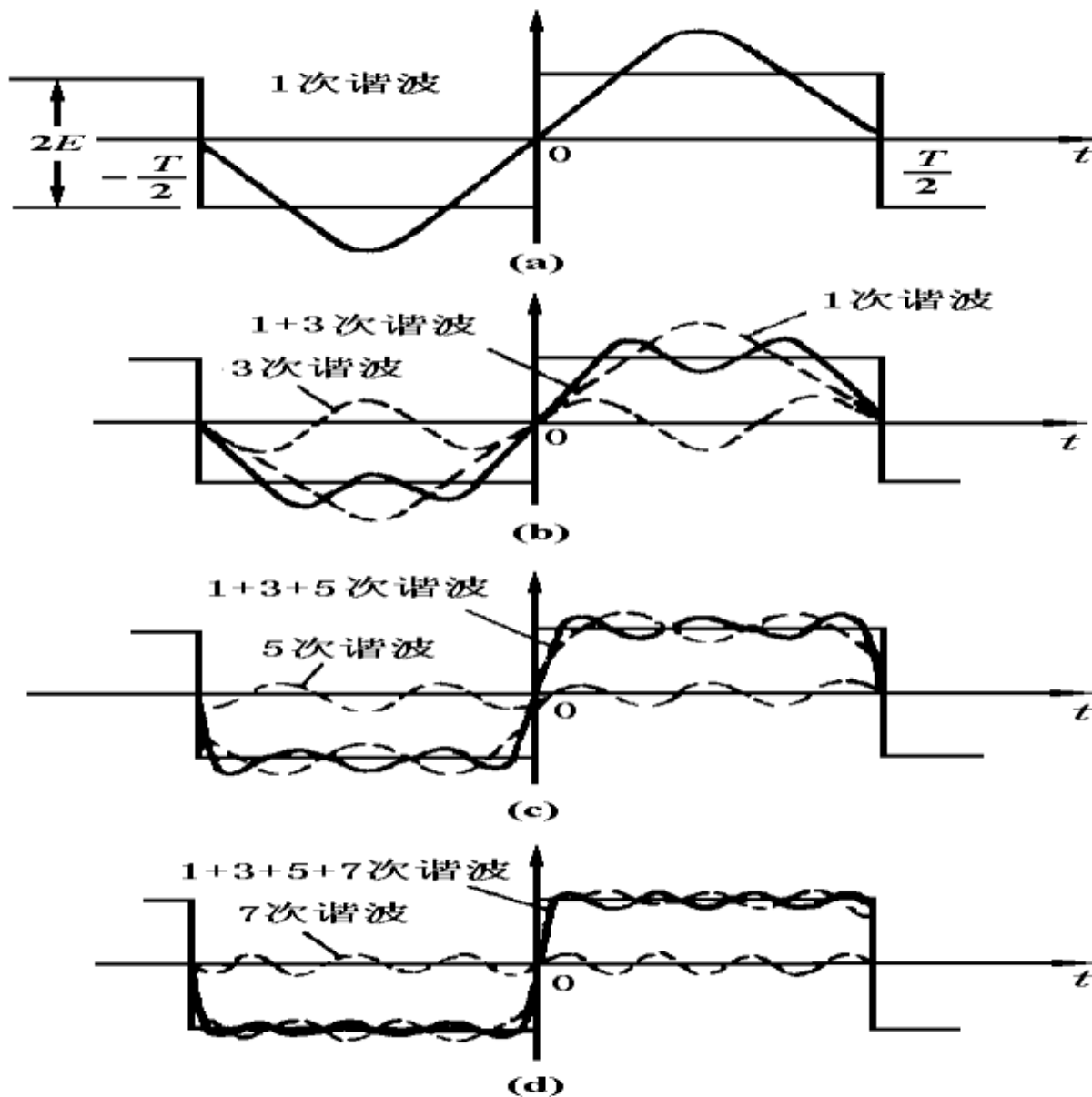


## 双边谱



## 例2：对称方波的合成与分解







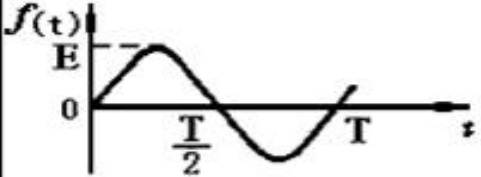
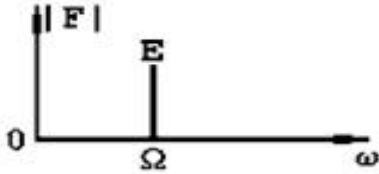
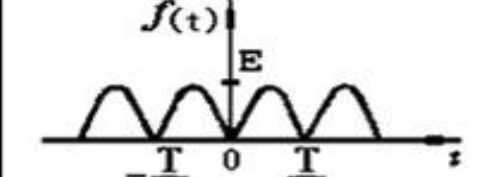
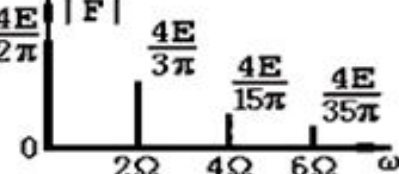
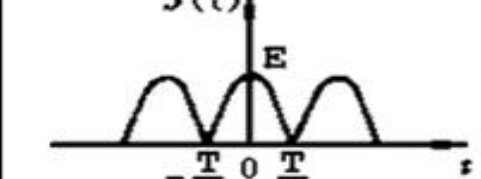
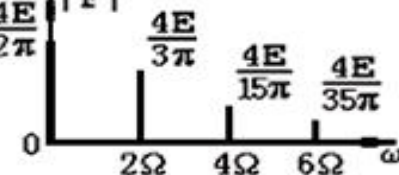
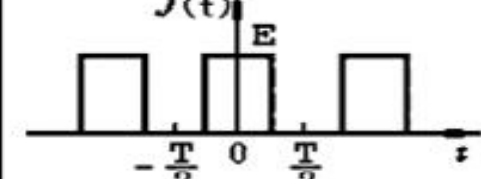
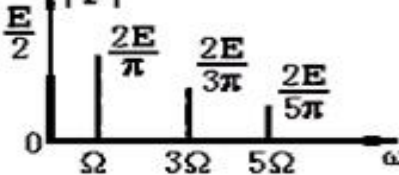
## 结论

- (1) 合成和分解的各次谐波的幅度，随谐波频率的上升而下降，故高次谐波项可以忽略。一般9~11次谐波即可较好地合成方波。
- (2) 信号的时域波形与频域特性的内在关系分析
  - \*高次谐波分量:主要决定方波前后沿的陡度
  - \*低次谐波分量:主要决定方波平顶的平缓度
- (3) 推广：任何一个周期信号均可合成与分解。
  - 例：电子乐器：管乐以方波为主，弦乐 以三角波为主
  - 语音合成：清音，浊音
- (4) 进一步推广：对任意信号的时域波形与频谱间的对应关系，也有重要的借鉴作用。

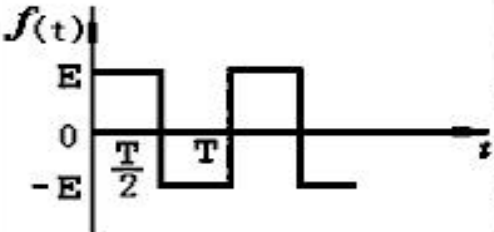
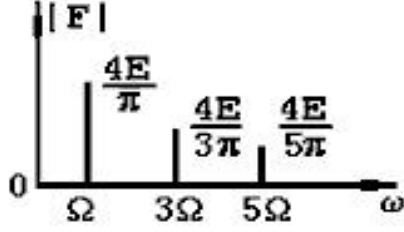
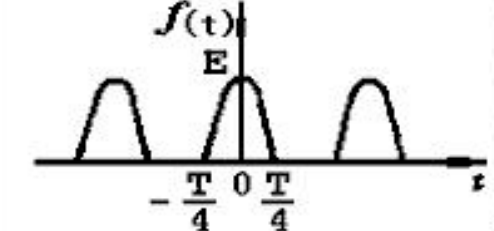
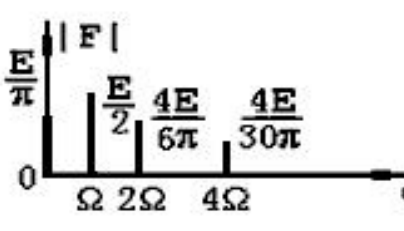
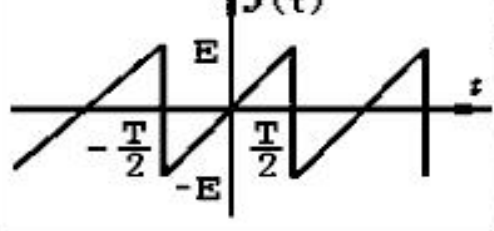
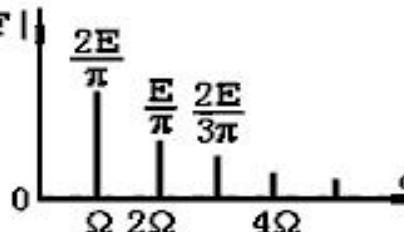
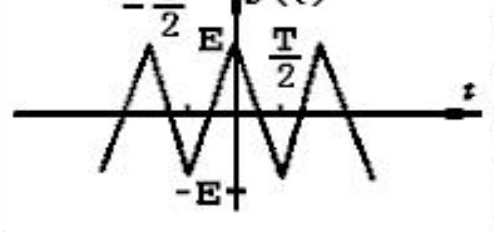
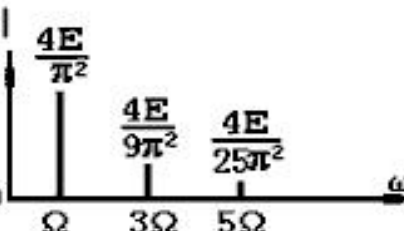





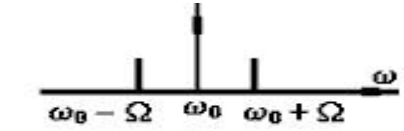
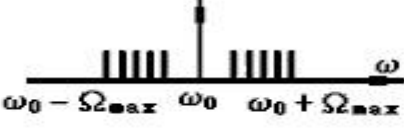

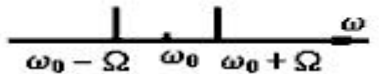
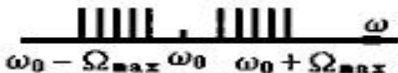

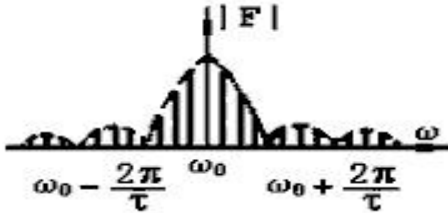

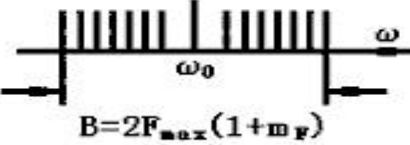
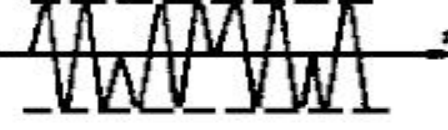
## 三、常用周期信号的波形与频谱

信号波形	信号的付里叶三角级数展开式	信号的幅度频谱
	正弦波信号： $f(t) = E \sin \Omega t$ $\Omega = 2\pi F = \frac{2\pi}{T}$	
	周期全波正弦信号： $f(t) = \frac{4E}{\pi} \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{3} \sin 2\Omega t - \frac{1}{15} \sin 4\Omega t + \frac{1}{35} \sin 6\Omega t + \dots \right]$	
	周期全波余弦信号 $f(t) = \frac{4E}{\pi} \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cos 2\Omega t - \frac{1}{15} \cos 4\Omega t + \frac{1}{35} \cos 6\Omega t + \dots \right]$	
	占空比为1:1的矩形波信号 $f(t) = \frac{2E}{\pi} \left[ \frac{\pi}{4} + \cos \Omega t - \frac{1}{3} \cos 3\Omega t + \frac{1}{5} \cos 5\Omega t + \dots \right]$	



	<p>占空比为1:1并对称于横轴的矩形波信号</p> $f(t) = \frac{4E}{\pi} \left[ \sin\Omega t + \frac{1}{3}\sin 3\Omega t + \frac{1}{5}\sin 5\Omega t + \dots \right]$	
	<p>周期半波余弦信号:</p> $f(t) = \frac{E}{\pi} + \frac{E}{2} \left[ \cos\Omega t + \frac{4}{3\pi}\cos 2\Omega t - \frac{4}{15\pi}\cos 4\Omega t + \dots \right]$	
	<p>锯齿波:</p> $f(t) = \frac{2E}{\pi} \left[ \sin\Omega t - \frac{1}{2}\sin 2\Omega t + \frac{1}{3}\sin 3\Omega t - \frac{1}{4}\sin 4\Omega t + \dots \right]$	
	<p>三角波:</p> $f(t) = \frac{8E}{\pi^2} \left[ \cos\Omega t + \frac{1}{3^2}\cos 3\Omega t + \frac{1}{5^2}\cos 5\Omega t + \dots \right]$	



	<p>单频率普通调幅波:</p> $f(t) = E[1 + m\cos\Omega t]\cos\omega_c t$ <p>多频率普通调幅波:</p> $f(t) = E\left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} m_n \cos\Omega_n t\right]\cos\omega_c t$	 
	<p>单频率平衡调幅波:</p> $f(t) = E\cos\Omega t \cdot \cos\omega_c t$ <p>多频率平衡调幅波:</p> $f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} E_n \cos\Omega_n t \cos\omega_c t$	 
	<p>脉冲调幅信号:</p> $f(t) = \frac{2E}{\pi} \left[ \frac{\pi}{4} + \cos\Omega t - \frac{1}{3}\cos 3\Omega t + \frac{1}{5}\cos 5\Omega t + \dots \right] \cos\omega_c t$	
	<p>调频信号 (FM):</p> $f(t) = E\cos[\omega_c t + m_f \sin\Omega t]$ $m_f = \frac{\Delta f_m}{F} > 1$ <p>原调制信号为 <math>v_m = V_m \cos\Omega t</math></p>	
	<p>相位键控 (脉冲调相 PSK):</p> $f(t) = E\sin\omega_c t \sum_k a_k g[t - kT_s]$	<p>数字调相信号相当于抑制载波的平衡调幅, 它的频谱结构与脉冲信号调幅的频谱相同</p>

## §1-2-2 调幅信号及其频谱

实现调幅:

AM --普通调幅（带载波双边带）

DSB--抑制载波双边带调幅

SSB--单边带调幅

VSB--残留边带调幅

$$v(t) = V \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$



AM      FM      PM

## 一、普通调幅 AM

### 1. 单频信号调幅

#### (1) 时域表达式（波形）

令初始相位为零，要求  $\omega_0 \gg \Omega$

调制信号： $v_{\Omega}(t) = V_{\Omega} \cos(\Omega t)$

载波信号： $v_c(t) = V_C \cos(\omega_0 t)$

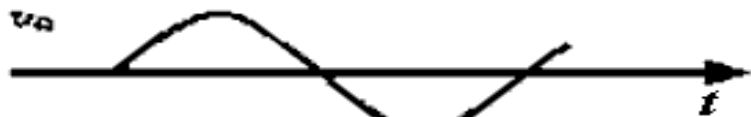
则已调信号：

$$\begin{aligned} v_{AM}(t) &= [V_C + V_{\Omega} \cos(\Omega t)] \cos(\omega_0 t) \\ &= V_C (1 + m_A \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t) \end{aligned}$$

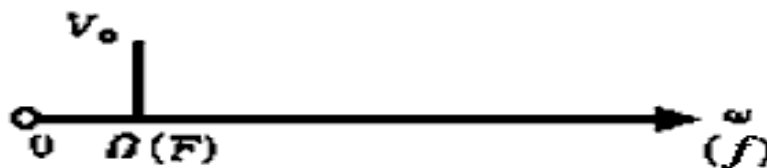
调制度： $m_A = kV_{\Omega}/V_C \leq 1$ （否则，将产生过调失真）



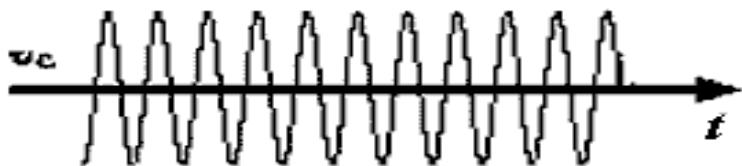
# 单频调幅波形频谱



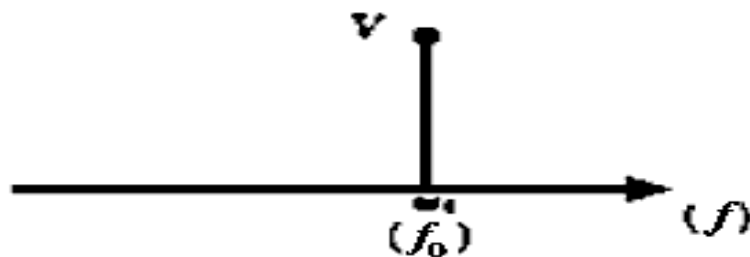
(a)



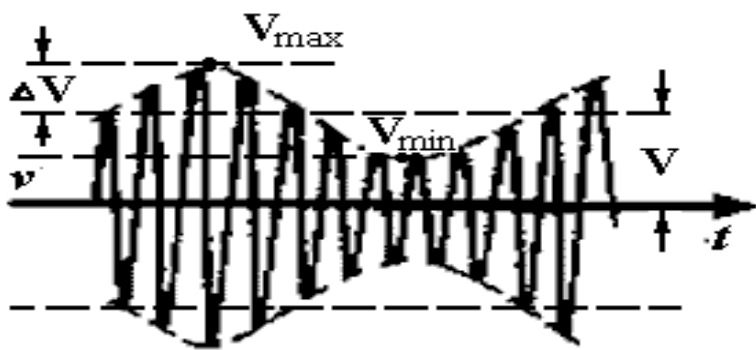
(b)



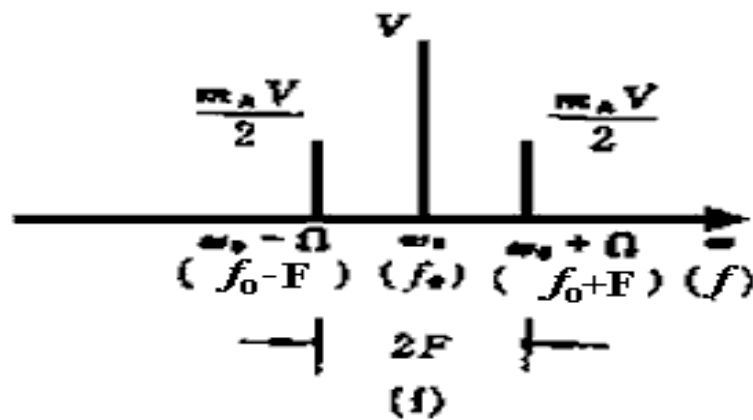
(c)



(d)



(e)



(f)

## (2) 频域表达式 (频谱)

$$\begin{aligned}v_{AM}(t) &= V(1 + m_A \cos(\Omega t))\cos(\omega_0 t) \\ &= V\cos(\omega_0 t) + \frac{Vm_A}{2}\cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{Vm_A}{2}\cos(\omega_0 - \Omega)t\end{aligned}$$

包括载波分量，上边频（频率和）和下边频（频率差）；

即：调幅过程是一个线性的频谱搬移过程，故称为线性调幅。

## (3) 频带宽度 B

调制信号角频率： $\Omega = 2\pi F$ ；则调制频率为： $F = \Omega/2\pi$

载波信号角频率： $\omega_0 = 2\pi f_0$ ；则载波信号频率为： $f_0 = \omega_0/2\pi$

频带宽度：(是设计通信广播系统的重要指标)

$$B = (f_0 + F) - (f_0 - F) = 2F$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/737001033166006064>