

# 备考

## 1 原理题

### 1.1 无线电通信机原理

#### 1.1.1 考核要点

#### 1.1.2 题目分析

### 1.2 线性调制原理

#### 1.2.1 考核要点

#### 1.2.2 题目分析

### 1.3 非线性调制原理

#### 1.3.1 考核要点

#### 1.3.2 题目分析

## 2 分析题

### 2.1 噪声与非线性分析

#### 2.1.1 考核要点

#### 2.1.2 题目分析

### 2.2 线性频谱搬移电路分析

#### 2.2.1 考核要点

#### 2.2.2 题目分析

### 2.3 振荡器电路分析

#### 2.3.1 考核要点

#### 2.3.2 题目分析

## 1 原理题

### 1.1 无线电通信机原理

#### 1.1.1 考核要点

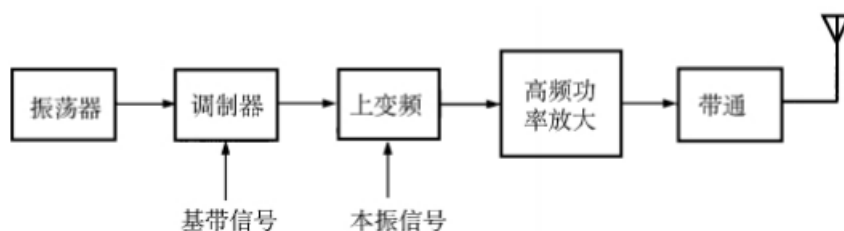
1. 能够画出超外差式收发机原理框图；
2. 能够从时域和频域两个角度，用数学、文字、示意图等方法阐述整机及功能单元的工作原理；
3. 能够阐述超外差式收发机的一般设计原则，包括：增益分配原则、如何保证选择性、中频频点设计原则，信道选择原理、如何处理中频干扰和镜像干扰、如何选择功率放大方案。

#### 1.1.2 题目分析

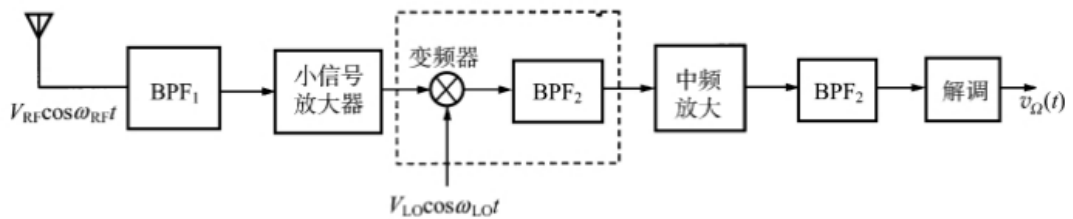
涉及内容：4.2.1、4.4

##### • 原理框图

##### ◦ 超外差式发射机



##### ◦ 超外差式接收机



- 工作原理

- 超外差式发射机

- 基带信号：即低频的调制信号（音频信号） $v_{\Omega}(t) = v_{\Omega m} \cos(\Omega t)$ .
    - 振荡器：产生载波信号  $v_c(t) = V_{cm} \cos(\omega_c t)$ .
    - 调制器：通过载波信号与调制信号产生调幅波（AM、DSB、SSB；PM、FM）
    - 上变频：通过本振信号  $v_L(t)$  与调幅波相乘，增大频率.
    - 高频功率放大器：将信号放大功率后送上天线.

- 超外差式接收机

- BPF1：选择频带，消除镜像干扰.
    - 小信号放大器：低噪声放大器，放大射频小信号.
    - 下变频：通过本振信号  $v_{LO}(t)$  将射频信号  $v_{RF}(t)$  降为频率固定的中频信号  $v_{IF}(t)$ .
    - BPF2：中频滤波，选择信道.
    - 中频放大器：使镜像频率远离有用信号.

- 设计原则

- 增益分配原则

- 发射机
      - 振荡器、调制器、混频器，均用于产生调幅或调频信号.
      - 高频功率放大器提供主要增益，可达几十 dB，并且可以使用多级放大电路.
    - 接收机
      - 小信号放大器增益不宜过大，以免经变频器后失真，一般不超过 15 dB.
      - 下混频器的增益也不大：无源的小于一倍，有源的可能有 10 dB 左右.
      - 增益主要来自中频放大器，一般有几十倍的增益.

- 如何保证选择性

- 通过上述接收机框图中的 BPF1 选择频带.
    - 通过 BPF2 进一步选择信道.

- 中频频点设计原则

- 中频的性能
      - 高中频：镜像频率远离有用信号，有利于抑制镜像频率干扰，提高灵敏度。（干扰性）
      - 低中频：有利于抑制相邻信道的干扰信号，选择信道，提供稳定的高增益。（选择性）
    - 中频的选择
      - 根据对抑制镜像通道的要求.
      - 根据对中频干扰的抑制要求.

- 根据中频滤波器的可实现性.
- 根据抑制寄生通道干扰要求.
- 信道选择原理
  - 发射机：通过上变频器选择要发送的信道.
  - 接收机：通过中频滤波器选择接受的信道.
- 如何处理中频干扰和镜像干扰
  - 选择合适的中频，提高中频抗拒比.
  - 二次变频方案
    - I 中频选择高中频值，抑制镜像频率干扰.
    - II 中频选择地中品质，抑制邻道干扰.
  - 直接下变频方案：不存在镜像频率干扰.
  - 镜频抑制接受方案：改变电路结构以抑制镜频干扰.
- 如何选择功率放大方案
  - A、B、AB 类放大器属于线性放大器，一般情况下都可以使用，不过效率不够高.
  - C、D、E 类放大器属于非线性放大器，一般只有包络恒定时才可以使用。（调幅波不可以，调频波与调相波可以）

## 1.2 线性调制原理

### 1.2.1 考核要点

1. 能够从时域和频域两个角度，用数学、文字、方框图等方法阐述 AM、DSB 和 SSB 调制解调方案的工作原理；
2. 能够计算信号带宽和信号功率。

### 1.2.2 题目分析

涉及内容：3.2.1

文字与框图略.

- 调制
  - AM
    - 时域： $v(t) = V_{\text{cm}}(1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t$ .
    - 频域： $\omega_c, \omega_c \pm \Omega$ .
    - 实现：乘法器、加法器.
  - DSB
    - 时域： $v(t) = AV_{\Omega\text{m}}V_{\text{cm}} \cos \Omega t \cos \omega_c t$ .
    - 频域： $\omega_c \pm \Omega$ .
    - 实现：乘法器.
  - SSB

- 时域:  $v(t) = \frac{1}{2}AV_{\Omega m}V_{cm}\cos(\omega_c + \Omega t)$ .
  - 频域:  $\omega_c + \Omega$ .
  - 实现: 滤波法; 移相法.
- 解调
  - 相干解调 (同步检波): 适用于 AM、DSB、SSB.
    - 步骤
      - 步骤一: 载波提取.
      - 步骤二: 频谱搬移.
    - 乘积型同步检波
      - 方案一: 二极管双平衡混频器 + 低通滤波器.
      - 方案二: 吉尔伯特模拟乘法器 + 低通滤波器.
    - 叠加型同步检波: 双边检波、单边检波.
  - 包络检波 (非相干解调): 适用于 AM.
    - 小信号: 二极管平方律检波
    - 大信号
      - 串联型峰值包络检波
      - 并联型峰值包络检波
      - 晶体管平均包络检波
- 带宽与功率
  - 带宽
    - AM、DSB:  $2F$ .
    - SSB:  $F$ .
  - 功率: 以 AM 为例
    - 调幅功率:  $P = \frac{V_{cm}^2(t)}{2} = \frac{V_{cm}^2}{2}(1 + m_a \cos \Omega t)^2$ .
    - 功率最值:  $P_{\max}, P_{\min} = \frac{V_{cm}^2}{2}(1 \pm m_a)^2$ .
    - 调制信号的平均功率:  $P_{\text{avg}} = \frac{V_{cm}^2}{2}\left(1 + \frac{1}{2}m_a^2\right)$ .
    - 载频功率:  $P_c = \frac{V_{cm}^2}{2}$ .
    - 总旁频功率:  $2P_{\omega \pm \Omega} = \frac{m_a^2 P_c}{2}$ . (很小, 如 4.5%)

## 1.3 非线性调制原理

### 1.3.1 考核要点

1. 能够从时域和频域两个角度, 用数学、文字、方框图等方法阐述 FM、PM 调制解调方案的工作原理;
2. 能够计算信号带宽和信号功率。

### 1.3.2 题目分析

涉及内容：3.2.2

- 调制
  - FM
    - 时域:  $v(t) = V_{\text{cm}} \cos(\omega_c t + m_f \sin \Omega t)$ .
    - 频域:  $\Delta f_m = m_f F$ . (实际有无数对边频分量)
  - PM
    - 时域:  $v(t) = V_{\text{cm}} \cos(\omega_c t + m_p \cos \Omega t)$ .
    - 频域:  $\Delta f_m = m_p p F$ . (实际有无数对边频分量)
- 解调
  - 解调思路
    - 法一：直接调频法
      - 用调制信号直接控制振荡器的频率.
      - 频偏较大，但是频率稳定度不高.
    - 法二：间接调频法
      - 用调制信号的积分值控制调相电路.
      - 频率稳定度高，但是频偏较小.
  - 鉴相方法
    - 模拟鉴相器：适用于锁相合成，灵敏度低，线性较好，锁定时相移  $90^\circ$ .
    - 数字鉴相器：适用于频率合成.
      - 门鉴相器：输入对称方波，锁定时相移  $90^\circ$
      - R-S 触发器鉴相器：输入脉冲或方波，锁定时相移  $90^\circ$ .
      - 边沿触发鉴频鉴相器：输入脉冲或方波，锁定时相移  $0^\circ$  或  $180^\circ$ .
  - 鉴频方法（先限幅，后鉴频）
    - 斜率鉴频
      - 单失谐回路斜率鉴频器
      - 双失谐回路斜率鉴频器
    - 正交鉴频：频相转换网络 + 鉴相器（模拟乘法器 + 低通滤波器）
    - 锁相鉴频
- 带宽与功率
  - 卡尔逊带宽
    - FM:  $\text{BW}_{\text{CR}} = 2(m_f + 1)F = 2(\Delta f_m + F)$ .
    - PM:  $\text{BW}_{\text{CR}} = 2(m_p + 1)F = 2(\Delta f_m + F)$ .
  - 功率：均为  $\frac{V_{\text{cm}}^2}{2}$ .

## 2 分析题

### 2.1 噪声与非线性分析

#### 2.1.1 考核要点

1. 能够阐述和计算系统多级级联系统的噪声系数和噪声温度；
2. 能够用文字、数学方法解释、分析电子系统典型非线性失真现象的产生机理，包括：谐波、堵塞、互调；
3. 能够计算多级级联系统的灵敏度、动态范围。

#### 2.1.2 题目分析

涉及内容：第二章

- 分贝单位

- 无量纲单位

- 电压增益： $A_V = 20 \lg A_V \text{ (dB)}$ .
    - 功率增益： $G_P = 10 \lg G_P \text{ (dB)}$ .
    - 当输入输出阻抗相同时， $G_P = \frac{V_o^2/R_o}{V_i^2/R_i} = A_V^2$ .

- 有量纲单位

- 电压： $U = 20 \lg \frac{U}{1 \text{ V}} \text{ (dBV)} = 20 \lg \frac{U}{1 \text{ mV}} \text{ (dBmV)}$ .
    - 功率： $P = 10 \lg \frac{P}{1 \text{ W}} \text{ (dBW)} = 10 \lg \frac{P}{1 \text{ mW}} \text{ (dBm)}$ .

- 运算说明

- dB 可加减（结果为 dB），不可乘除.
    - dBm 与 dBm 可相减（结果为 dB），不可相加
    - dB 与 dBm 可加减，结果为 dBm 或  $\text{dBm}^{-1}$ .

- 噪声系数和噪声温度

- 单个系统

- 噪声系数： $F := \frac{(\text{SNR})_i}{(\text{SNR})_o} = \frac{P_i/N_i}{P_o/N_o}$ .
    - 等效噪声温度： $T_e := \frac{N_{\text{内}}}{kBG_P}$

- 多级级联

- 噪声系数： $F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_{\text{PA}1}} + \frac{F_3 - 1}{G_{\text{PA}1}G_{\text{PA}2}} + \dots$ .
    - 等效噪声温度： $T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_{\text{PA}1}} + \frac{T_{e3}}{G_{\text{PA}1}G_{\text{PA}2}} + \dots$ .

- 非线性失真

- 输入端只有一个有用信号

- 将非线性函数幂级数展开，代入信号（三角函数）后利用倍角公式，从而转化为各次谐波的一次项. 因此单个正弦信号经过非线性系统，也会产生谐波分量.

- 1 dB 增益压缩点:  $V_{\text{im}-1\text{dB}} = \sqrt{0.145 \left| \frac{a_1}{a_3} \right|}$ .
- 输入端有两个及以上信号
  - 谐波: 同单个信号的情况, 产生各次谐波分量.
  - 堵塞: 强干扰信号引起弱有用信号的输出电流变小, 以至为零.
  - 交叉调制: 若干扰信号为振幅调制信号, 则由经过系统后的展开式, 会发生交叉调制失真.
  - 互相调制: 两个频率相近的信号产生各次组合频率分量.
- 互调失真比
  - 电压比:  $\text{IMR} = \frac{3a_3 V_m^2}{4a_1}$ .
  - 功率比:  $P_{\text{IMR}} = (\text{IMR})^2$ .
- 三阶互调截点
  - 基波功率  $P_{o1}$  等于三阶互调功率  $P_{o3}$  时的输入功率记为  $\text{IIP}_3$ , 输出功率为  $\text{OIP}_3$ .
  - 三阶截点输入信号幅度:  $V_{\text{mIP}_3} \approx \sqrt{\frac{4}{3} \left| \frac{a_1}{a_3} \right|}$ .
- 灵敏度和动态范围
  - 灵敏度
    - 灵敏度 (最低输入信号电平):  $P_{\text{in}, \min} = k [T_a + (F - 1)T_0] B \cdot (\text{SNR})_{\text{o}, \min}$ .
    - 基底噪声 (系统总合成噪声):  $F_t = k [T_a + (F - 1)T_0] B$ .
  - 动态范围
    - 线性动态范围:  $\text{DR}_l = \frac{P_{\text{i}, 1\text{dB}}}{P_{\text{in}, \min}}$ .
    - 无杂散动态范围:  $\text{DR}_f (\text{dB}) = \frac{2}{3} [\text{IIP}_3 (\text{dBm}) - F_t (\text{dBm})]$ .
  - 级联系统的动态范围: 求出噪声系数或等效噪声温度后, 使用上述公式.

## 2.2 线性频谱搬移电路分析

### 2.2.1 考核要点

1. 能够用文字、数学方法解释、分析二极管平衡电路、三极管平衡电路的输出信号频谱构成;
2. 能够计算完成调制、解调、混频、鉴相功能所需要的电路参数。

### 2.2.2 题目分析

涉及内容

- 平衡电路 (用于调制、混频): 6.2、6.3、9.1
- 调制解调: 9.1、9.4
- 鉴相电路: 8.6.1
- 调频电路 (角度调制): 9.5
- 鉴频电路 (角度解调): 9.6

- 频谱搬移（混频器、幅度调制、相干解调）
  - 有源混频器电路（三极管平衡电路）
    - 单平衡混频器
    - 吉尔伯特双平衡混频器
  - 无源混频器电路（二极管平衡电路）
    - 线性时变状态二极管
    - 二极管双平衡混频器
- 检波
  - 相干解调（同步检波）：适用于 AM、DSB、SSB.
    - 步骤
      - 步骤一：载波提取.
      - 步骤二：频谱搬移.
    - 乘积型同步检波
      - 方案一：二极管双平衡混频器 + 低通滤波器.
      - 方案二：吉尔伯特模拟乘法器 + 低通滤波器.
    - 叠加型同步检波：双边检波、单边检波.
  - 包络检波（非相干解调）：适用于 AM.
    - 小信号：二极管平方律检波
    - 大信号
      - 串联型峰值包络检波（输入阻抗： $\frac{R}{2}$ ）
      - 并联型峰值包络检波（输入阻抗： $\frac{R}{3}$ ）
      - 晶体管平均包络检波（输入阻抗： $\frac{R}{2}$ ）
    - 参数要求
      - $\frac{1}{\omega_c} \ll RC < \frac{1}{\Omega_{\max}}$ .
      - 避免惰性失真： $\tau = RC \leq \frac{\sqrt{1 - m_a^2}}{\Omega m_a}$ .
      - 避免负峰切割失真： $m_a \frac{R_{\sim}}{R_{\sim}} = m_a \frac{R}{R // R_L} < 1$ .
- 调频
  - 直接调频：控制频率
    - LC 正弦振荡器直接调频
    - 晶体直接调频振荡电路
    - 张弛振荡器的直接调频
  - 间接调频：控制相位
    - 可变移相法调相电路
    - 可变时延法调相电路
    - 矢量合成法调相电路



- 间接调频的频偏扩展
- 鉴相
  - 模拟鉴相：吉尔伯特乘法单元
  - 门鉴相器：异或门鉴相器
- 鉴频（先限幅，后鉴频）
  - 斜率鉴频
    - 单失谐回路斜率鉴频器
    - 双失谐回路斜率鉴频器
  - 正交鉴频
    - 频相转换网络
    - 鉴相器（模拟乘法器 + 低通滤波器）

## 2.3 振荡器电路分析

### 2.3.1 考核要点

能够用文字、数学方法解释、分析三点式振荡器电路和晶体振荡电路的工作原理，包括：

1. 能够判断相位平衡条件，
2. 分析起振条件并计算电路参数，
3. 分析振荡电路的稳定条件，
4. 估算振荡频率。

### 2.3.2 题目分析

涉及内容：第七章

- 振荡的条件
  - 平衡条件： $\dot{T}(j\omega_{\text{osc}}) = 1$ .
    - 振幅平衡条件： $|\dot{T}(j\omega)| = |\dot{A}(j\omega)\dot{F}(j\omega)| = 1$ .
    - 相位平衡条件： $\varphi_{\dot{T}(j\omega_{\text{osc}})} = \varphi_{\dot{A}} + \varphi_{\dot{F}} = 2n\pi, n \in \mathbb{N}$ .
  - 起振条件
    - 振幅条件： $|\dot{T}(j\omega)| > 1$ .
    - 相位条件： $\varphi_{\dot{T}(j\omega)} = 0$ .
  - 稳定条件
    - 振幅稳定条件： $\left. \frac{\partial T}{\partial V_i} \right|_{\text{平衡点}} < 0$ .
    - 相位稳定条件： $\left. \frac{\partial \varphi_T}{\partial \omega} \right|_{\text{平衡点}} < 0$ .
- 三点式振荡器

- 平衡条件（一般原则）
  - 与发射极相连的两个电抗元件必须同性质.
  - 另一个电抗元件必须异性质.
- 稳定条件：LC 谐振回路确保了相位稳定.
- 分类
  - 电容三点式振荡器：考毕兹振荡器.
  - 电感三点式振荡器：哈脱莱振荡器.
  - 改进型电容三点式振荡器
    - 克拉泼振荡器：增加串联小电容.
    - 西勒振荡器：增加并联可变电容.

○ 振荡频率

- 近似值： $\omega_{\text{osc}} \approx \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$
- 准确值
  - $g_m := \frac{\dot{I}_c}{\dot{U}_{b'e}} = \frac{\beta \dot{I}_b}{\dot{I}_b r_{b'e}} = \frac{\beta}{r_{b'e}}.$
  - $r_e = \frac{1}{g_m}, g_i \approx g_m.$
  - $\omega_{\text{osc}} = \omega_0 \sqrt{1 + \frac{g_i g_L'}{\omega_0^2 C_1 C_2'}}.$

• 晶体振荡电路

- 串联型晶振电路： $f_q = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}}.$
- 并联型晶振电路： $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_\Sigma}} \approx f_q \left(1 + \frac{C_q}{2C_0}\right).$