

通信电子电路

郑海永

zhenghaiyong@gmail.com

课程：<http://vision.ouc.edu.cn/~zhenghaiyong/courses/>

Piazza：<https://piazza.com/ouc.edu.cn/>

中国海洋大学 信息科学与工程学院 电子工程系



本章主要内容¹

- ① 变频器
- ② 变频器的基本原理
- ③ 变频器的主要技术指标
- ④ 晶体三极管变频电路
- ⑤ 环形混频电路和模拟乘法器构成的混频电路
- ⑥ 超外差接收机的通调与跟踪
- ⑦ 变频干扰及其抑制方法

¹本幻灯片中大部分图来源于中国矿业大学《通信电子电路》精品课程：
<http://jpkc.cumt.edu.cn/txdzdl/>，特此致谢！

目录 I

- 1 变频器
 - 概述
 - 变频器基本原理
 - 变频器主要技术指标
 - 晶体三极管变频电路
 - 超外差接收机的统调与跟踪
 - 环形混频电路
 - 模拟乘法器构成的混频电路

- 2 变频干扰及其抑制方法
 - 变频干扰

内容提要 I

- 1 变频器
 - 概述
 - 变频器基本原理
 - 变频器主要技术指标
 - 晶体三极管变频电路
 - 超外差接收机的统调与跟踪
 - 环形混频电路
 - 模拟乘法器构成的混频电路

- 2 变频干扰及其抑制方法
 - 变频干扰

频谱变换

- 将输入信号进行**频谱变换**获得所需频率的输出信号。
- 器件工作在**非线性**状态，产生新的频率分量，实现频谱变换。

频谱搬移电路

- 将输入信号频谱沿频率轴进行不失真的搬移
- 振幅调制与解调、变频（混频）、...

频谱非线性变换电路

- 将输入信号频谱进行特定的非线性变换
- 频率调制与解调、...

内容提要 I

1 变频器

● 概述

- 变频器基本原理
- 变频器主要技术指标
- 晶体三极管变频电路
- 超外差接收机的统调与跟踪
- 环形混频电路
- 模拟乘法器构成的混频电路

2 变频干扰及其抑制方法

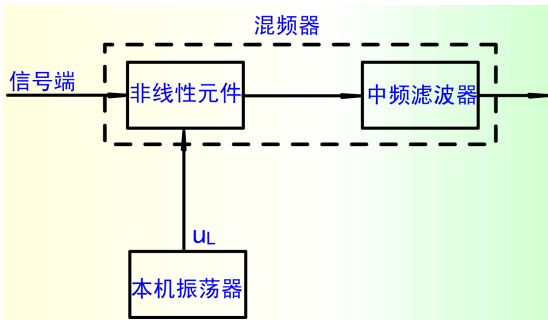
- 变频干扰

什么是变频器？

频率变换电路

为什么要进行变频？

变频器基本组成



内容提要 I

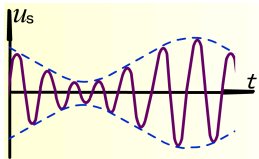
1 变频器

- 概述
- 变频器基本原理
- 变频器主要技术指标
- 晶体三极管变频电路
- 超外差接收机的统调与跟踪
- 环形混频电路
- 模拟乘法器构成的混频电路

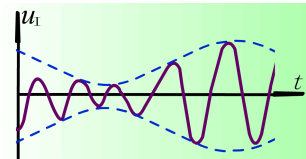
2 变频干扰及其抑制方法

- 变频干扰

波形与频谱

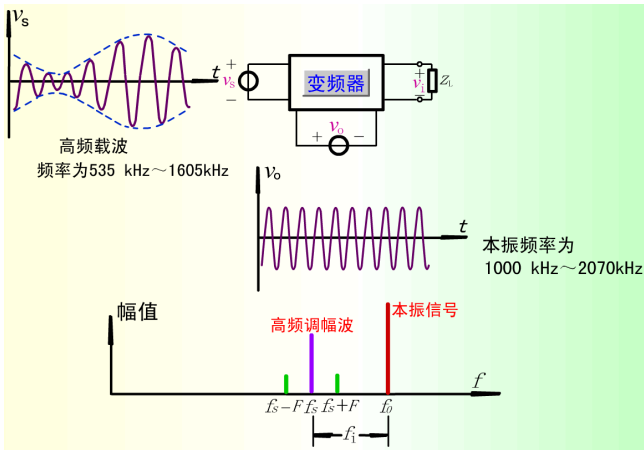


高频信号输入

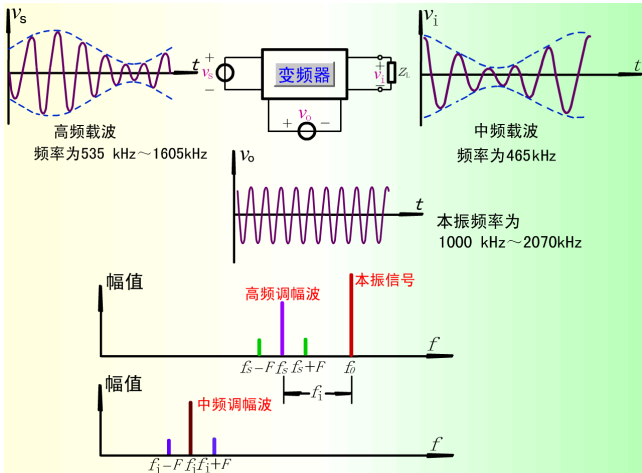


中频信号输出

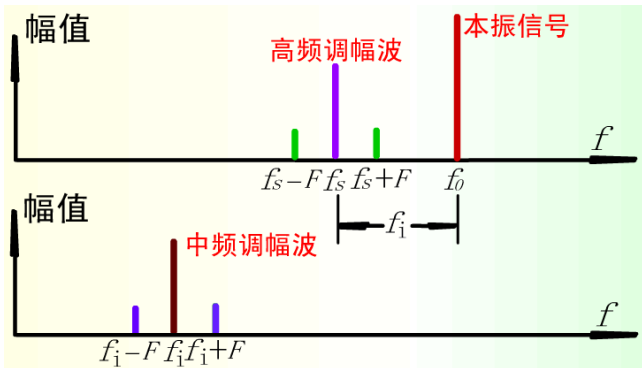
波形与频谱



波形与频谱



波形与频谱



- 变频的作用是将信号频率自高频搬移到中频，也就是**信号搬移**过程。
- 高频调幅信号的上边频变成中频调幅信号的下边频，而高频调幅信号的下边频变成中频调幅信号的上边频。

数学分析

- 如果非线性元件上同时加上等幅的高频信号电压 $u_L(t)$ 和输入信号电压 $u_S(t)$ ，则会产生新频率的电流成分。
- 由于变频器工作于输入特性曲线的弯曲段，电流可用幂级数表示：

$$\Delta u = u_S(t) + u_L(t) = U_{Sm} \cos \omega_S t + U_{Lm} \cos \omega_L t$$

$$i = a_0 + a_1 \Delta u + a_2 (\Delta u)^2 + \dots$$

$$\approx a_0 + a_1 [u_S(t) + u_L(t)] + a_2 [u_S(t) + u_L(t)]^2$$

$$= a_0 + a_1 (U_{Sm} \cos \omega_S t + U_{Lm} \cos \omega_L t) + a_2 (U_{Sm} \cos \omega_S t + U_{Lm} \cos \omega_L t)^2$$

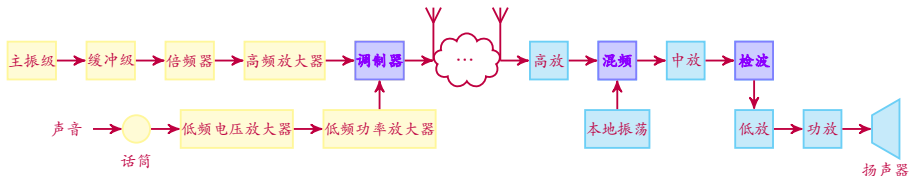
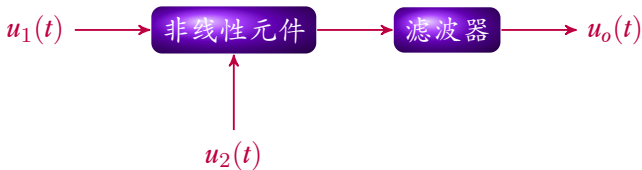
$$= a_0 + a_1 (U_{Sm} \cos \omega_S t + U_{Lm} \cos \omega_L t) + \frac{a_2}{2} (U_{Sm}^2 + U_{Lm}^2)$$

$$+ \frac{a_2}{2} (U_{Sm}^2 \cos 2\omega_S t + U_{Lm}^2 \cos 2\omega_L t)$$

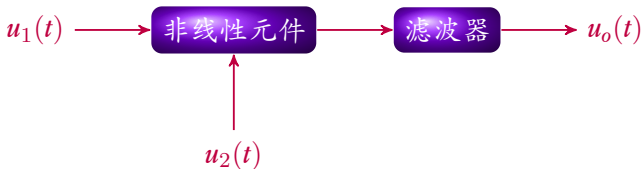
$$+ a_2 U_{Sm} U_{Lm} [\cos(\omega_S + \omega_L)t + \cos(\omega_S - \omega_L)t]$$

- 只要电路元件的伏安特性包含有平方项就可以实现变频。
- 原则上凡是具有相乘功能的器件都可用来构成变频电路。

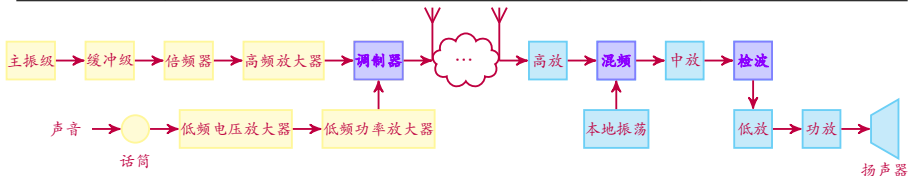
调幅、变频与检波



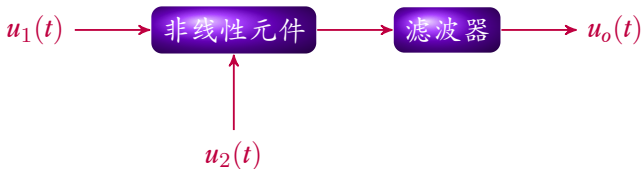
调幅、变频与检波



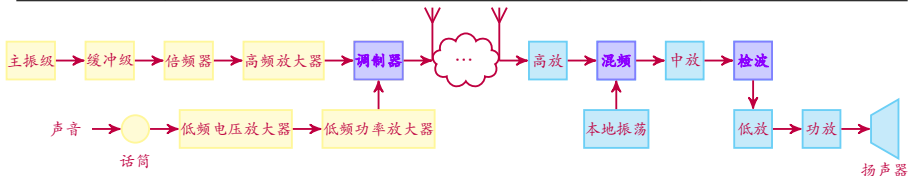
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅				
变频				
同步检波				
包络检波				



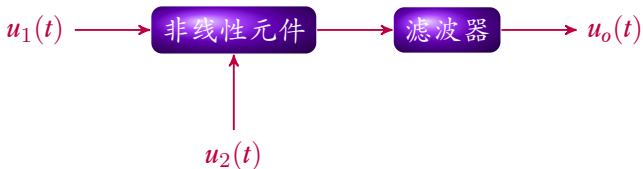
调幅、变频与检波



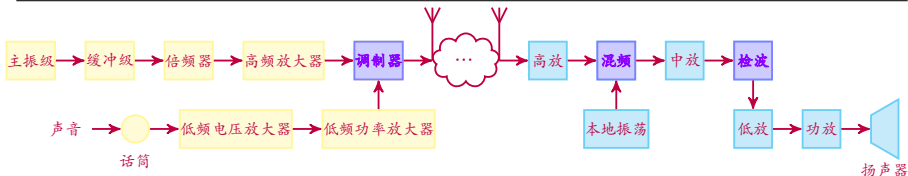
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号		
变频				
同步检波				
包络检波				



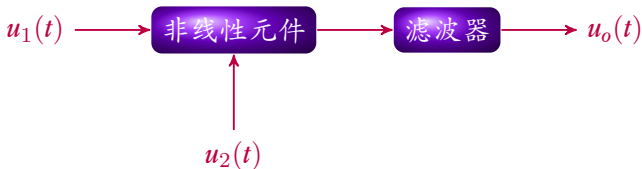
调幅、变频与检波



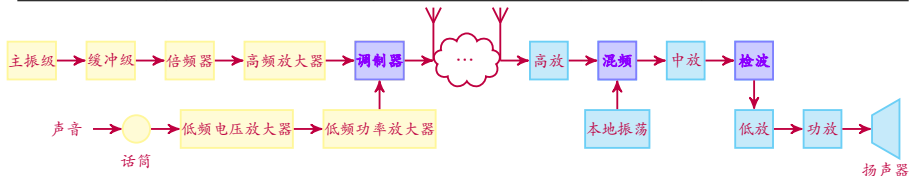
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号		高频调幅信号
变频				
同步检波				
包络检波				



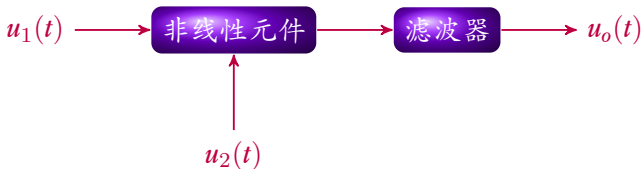
调幅、变频与检波



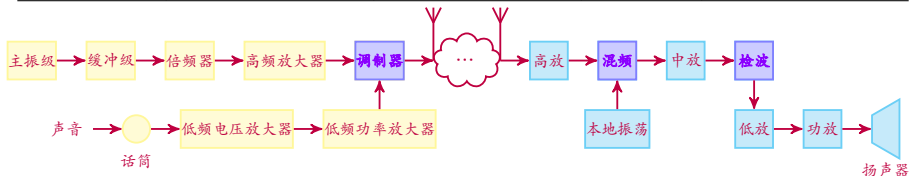
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频				
同步检波				
包络检波				



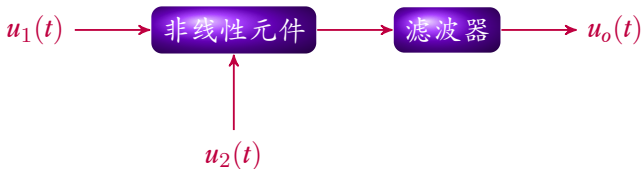
调幅、变频与检波



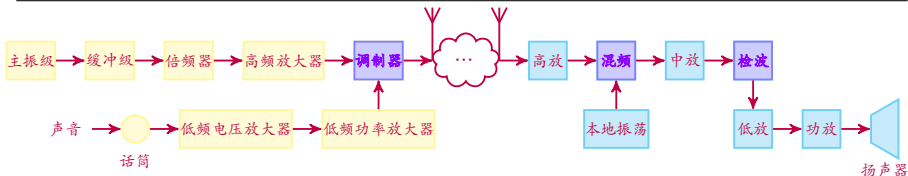
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频	高频调幅信号	高频振荡信号		
同步检波				
包络检波				



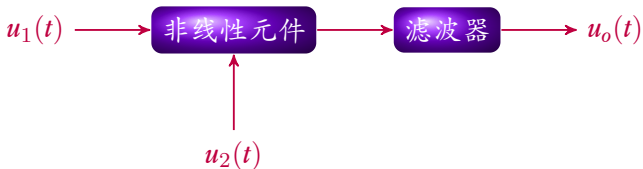
调幅、变频与检波



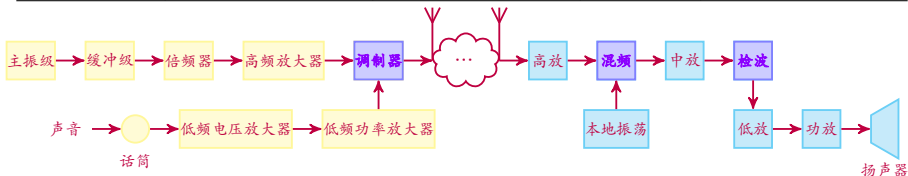
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频	高频调幅信号	高频振荡信号		中频调幅信号
同步检波 包络检波				



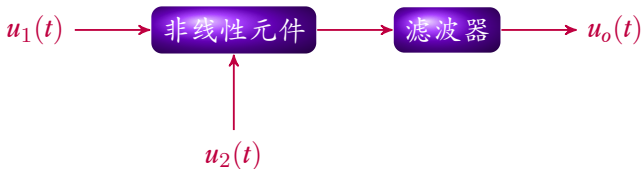
调幅、变频与检波



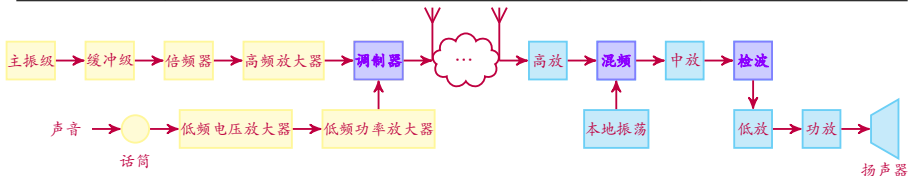
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频	高频调幅信号	高频振荡信号	带通 f_i	中频调幅信号
同步检波 包络检波				



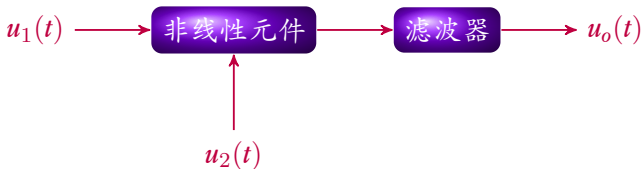
调幅、变频与检波



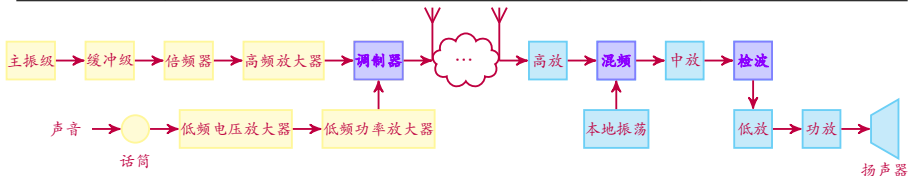
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频	高频调幅信号	高频振荡信号	带通 f_i	中频调幅信号
同步检波	中频调幅信号	中频同步信号		
包络检波				



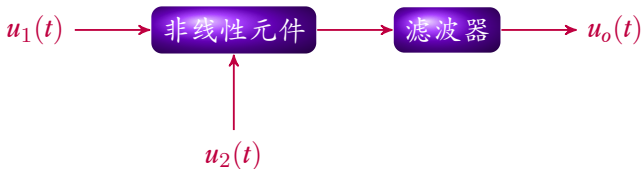
调幅、变频与检波



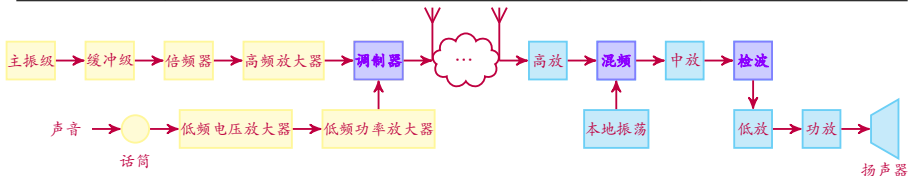
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频	高频调幅信号	高频振荡信号	带通 f_i	中频调幅信号
同步检波	中频调幅信号	中频同步信号		低频调制信号
包络检波				



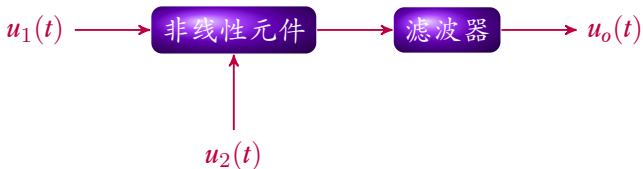
调幅、变频与检波



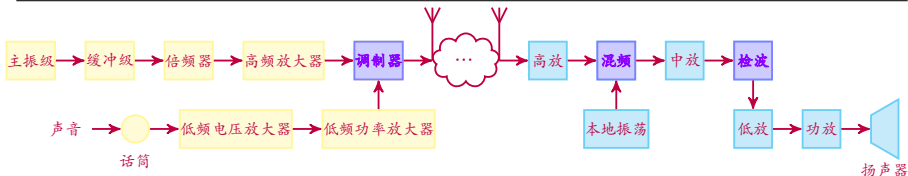
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频	高频调幅信号	高频振荡信号	带通 f_i	中频调幅信号
同步检波	中频调幅信号	中频同步信号	低通	低频调制信号
包络检波				



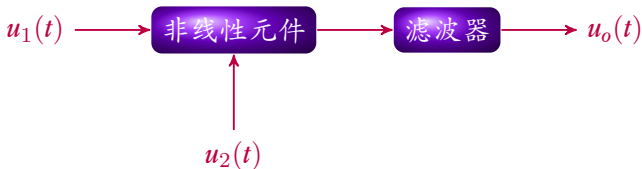
调幅、变频与检波



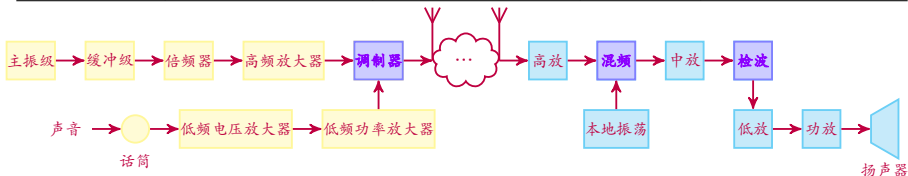
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频	高频调幅信号	高频振荡信号	带通 f_i	中频调幅信号
同步检波	中频调幅信号	中频同步信号	低通	低频调制信号
包络检波	中频调幅信号	N/A		



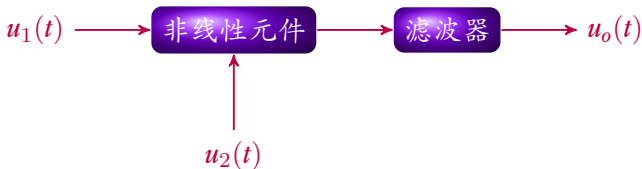
调幅、变频与检波



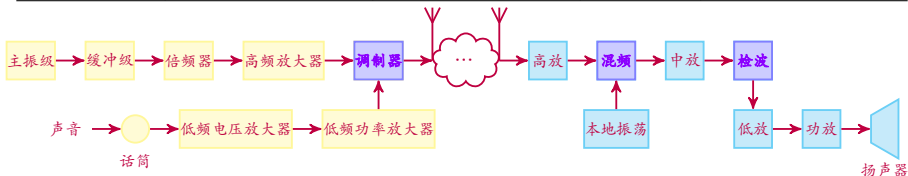
	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频	高频调幅信号	高频振荡信号	带通 f_i	中频调幅信号
同步检波	中频调幅信号	中频同步信号	低通	低频调制信号
包络检波	中频调幅信号	N/A		低频调制信号



调幅、变频与检波



	$u_1(t)$	$u_2(t)$	滤波器	$u_o(t)$
调幅	高频载波信号	低频调制信号	带通 f_c	高频调幅信号
变频	高频调幅信号	高频振荡信号	带通 f_i	中频调幅信号
同步检波	中频调幅信号	中频同步信号	低通	低频调制信号
包络检波	中频调幅信号	N/A	低通	低频调制信号



内容提要 I

1 变频器

- 概述
- 变频器基本原理
- 变频器主要技术指标
- 晶体三极管变频电路
- 超外差接收机的统调与跟踪
- 环形混频电路
- 模拟乘法器构成的混频电路

2 变频干扰及其抑制方法

- 变频干扰

变频器增益

$$\text{变频器电压增益 } K_{VC} = \frac{\text{中频输出电压}}{\text{高频输入电压}} = \frac{U_I}{U_S}$$

$$\text{变频器功率增益 } K_{PC} = \frac{\text{中频输出信号功率}}{\text{高频输入信号功率}} = \frac{P_I}{P_S}$$

- 对接收机而言， K_{VC} （或 K_{PC} ）大，有利于提高灵敏度。
- 通常在广播收音机中 K_{PC} 为 $20 \sim 30\text{dB}$ ，电视接收机中 K_{VC} 为 $6 \sim 8\text{dB}$ 。

变频器增益

$$\text{变频器电压增益 } K_{VC} = \frac{\text{中频输出电压}}{\text{高频输入电压}} = \frac{U_I}{U_S}$$

$$\text{变频器功率增益 } K_{PC} = \frac{\text{中频输出信号功率}}{\text{高频输入信号功率}} = \frac{P_I}{P_S}$$

选择性

采用品质因数 Q 高的选频网络或滤波器

- 变频器在变频过程中除产生有用的中频信号外，还产生许多频率项。
- 要使变频器输出只含有所需的中频 f_I 信号，而对其他各种频率的干扰予以抑制，要求输出回路具有良好的选择性。

变频器增益

$$\text{变频器电压增益 } K_{VC} = \frac{\text{中频输出电压}}{\text{高频输入电压}} = \frac{U_I}{U_S}$$

$$\text{变频器功率增益 } K_{PC} = \frac{\text{中频输出信号功率}}{\text{高频输入信号功率}} = \frac{P_I}{P_S}$$

选择性

采用品质因数 Q 高的选频网络或滤波器

工作稳定性

要求本振信号频率稳定度高，则应采用稳频等措施。

变频器增益

$$\text{变频器电压增益 } K_{VC} = \frac{\text{中频输出电压}}{\text{高频输入电压}} = \frac{U_I}{U_S}$$

$$\text{变频器功率增益 } K_{PC} = \frac{\text{中频输出信号功率}}{\text{高频输入信号功率}} = \frac{P_I}{P_S}$$

选择性

采用品质因数 Q 高的选频网络或滤波器

工作稳定性

要求本振信号频率稳定度高，则应采用稳频等措施。

非线性失真

设计和调制电路时，应尽量减小失真及干扰。

- 变频器工作在非线性状态会产生许多不需要的频率分量，其中一部分将落在中频回路的通频带范围内，产生包络失真。
- 变频过程中还将产生组合频率干扰、交叉调制干扰等，会影响正常通信。

变频器增益

$$\text{变频器电压增益 } K_{VC} = \frac{\text{中频输出电压}}{\text{高频输入电压}} = \frac{U_I}{U_S}$$

$$\text{变频器功率增益 } K_{PC} = \frac{\text{中频输出信号功率}}{\text{高频输入信号功率}} = \frac{P_I}{P_S}$$

选择性

采用品质因数 Q 高的选频网络或滤波器

工作稳定性

要求本振信号频率稳定度高，则应采用稳频等措施。

非线性失真

设计和调制电路时，应尽量减小失真及干扰。

噪声系数

变频器位于接收机前端，因此要求其本身噪声系数越小越好。

$$N_F = \frac{\text{输入端载频信号噪声功率比}}{\text{输出端中频信号噪声功率比}}$$

内容提要 I

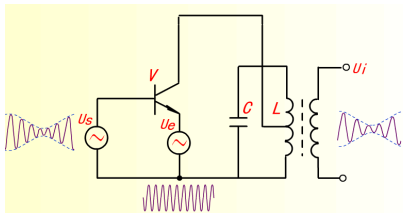
1 变频器

- 概述
- 变频器基本原理
- 变频器主要技术指标
- 晶体三极管变频电路
- 超外差接收机的统调与跟踪
- 环形混频电路
- 模拟乘法器构成的混频电路

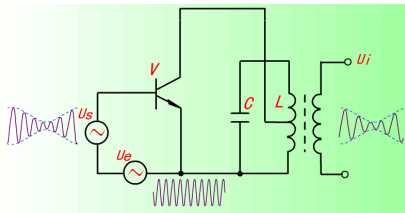
2 变频干扰及其抑制方法

- 变频干扰

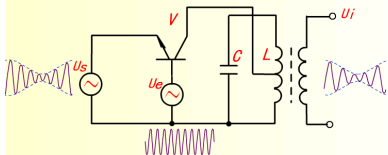
三极管变频电路的四种形式



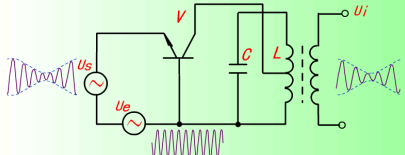
(a)本振由发射极注入信号由基极注入



(b)本振、信号都由基极注入



(c)信号都由发射极注入、本振由基极注入



(d)本振、信号都由发射极注入

三极管变频电路的四种形式

不管本振电压注入方式如何，实际上输入信号和本振信号都是加在基极和发射极之间，并且利用三极管转移特性的非线性实现频率变换。

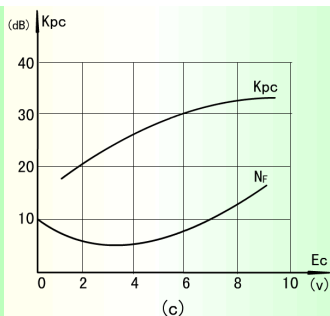
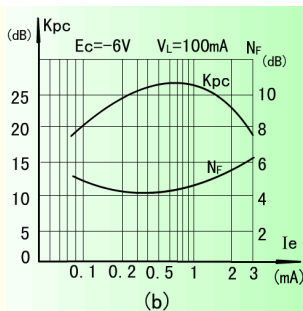
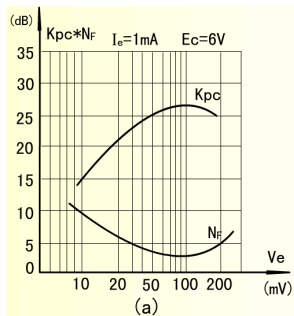
共发射极

- 共发射极电路多用于频率较低的情况。⇒ 广播电视接收机
- 电压增益大，输出电压与输入电压反相；高频时 β 比 β_0 下降迅速。
- 若信号与本振分别由基极和发射极注入，相互影响小，但本振需要功率大。
- 若信号与本振都由基极注入，相互影响大，但本振需要功率小。

共基极

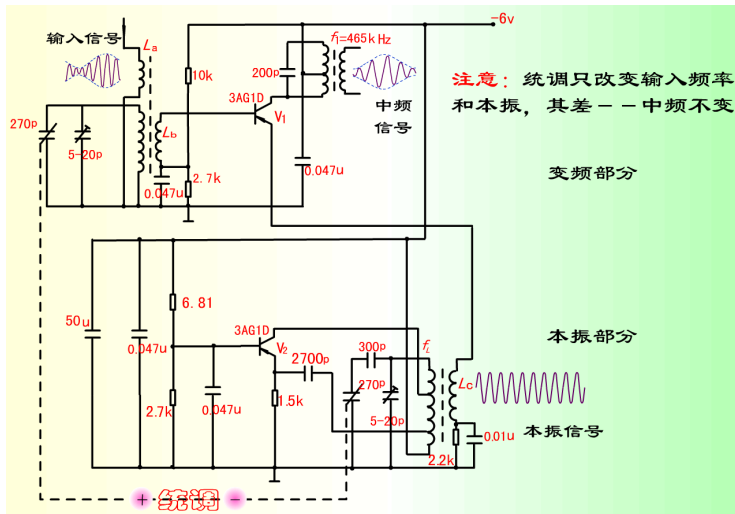
- 共基极电路多用于频率较高的情况。⇒ 调频接收机
- 有电压放大但无电流放大作用，输出电压与输入电压同相；高频时 α 比 α_0 下降甚微。
- 当工作频率不高时，变频增益比发射极电路低。

变频器工作状态选择

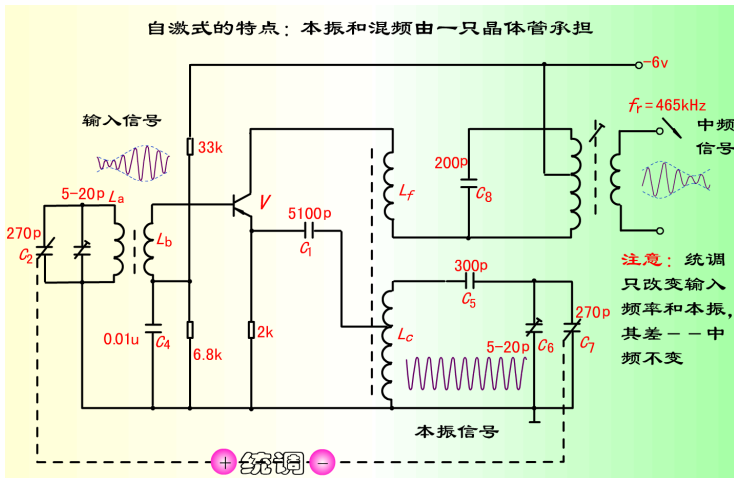


变频器功率增益、噪声系数与工作状态关系

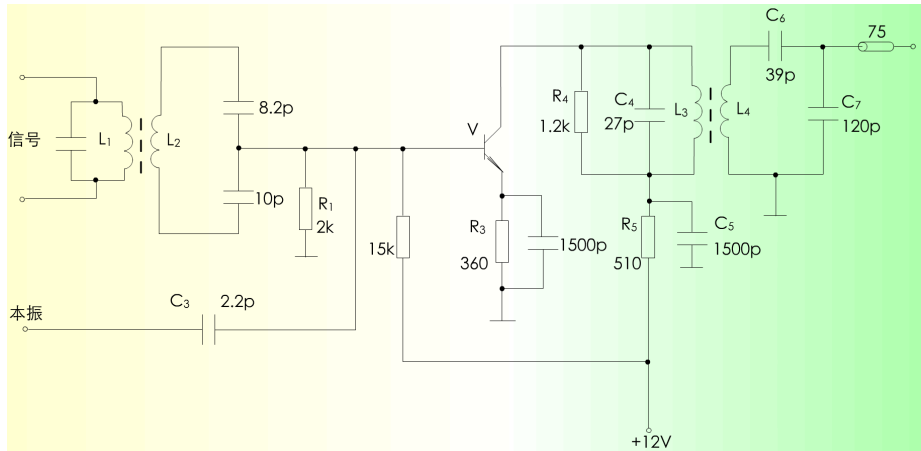
晶体管他激式变频器示例



晶体管自激式变频器示例



电视接收机中的典型变频电路示例



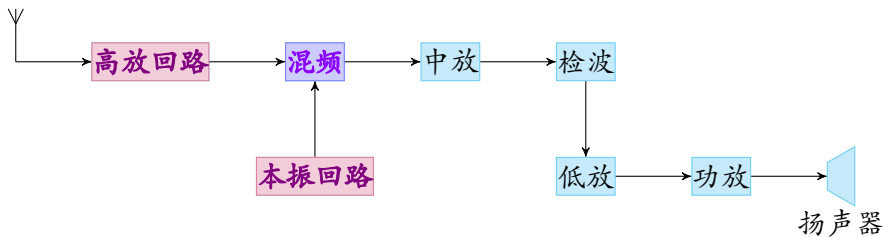
内容提要 I

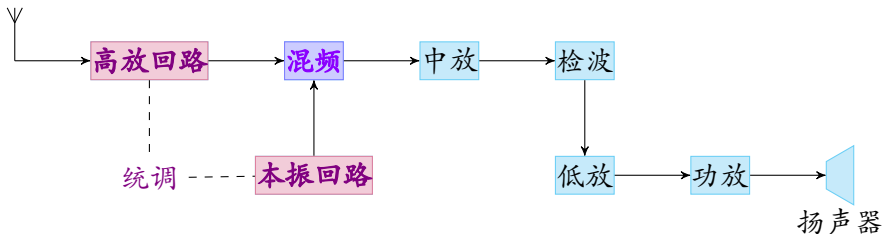
1 变频器

- 概述
- 变频器基本原理
- 变频器主要技术指标
- 晶体三极管变频电路
- 超外差接收机的统调与跟踪
- 环形混频电路
- 模拟乘法器构成的混频电路

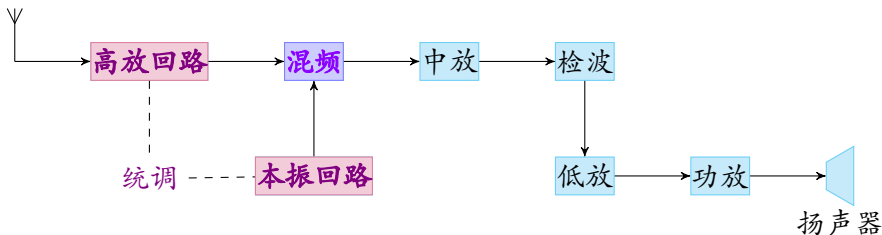
2 变频干扰及其抑制方法

- 变频干扰



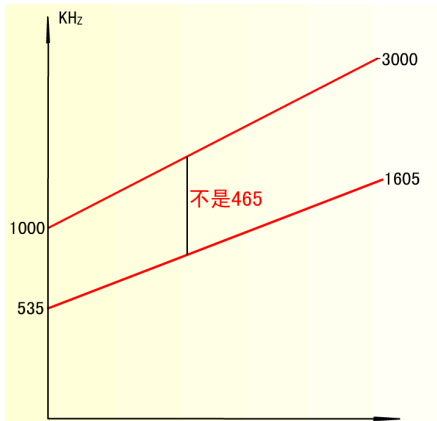


- 高频调谐回路（输入回路、高放回路）与本振回路实行统一调谐。
- 每波段中最低到最高频率的调节由同轴可变电容器进行（如 AM、FM）；
- 改变波段则采用改变固定电感的方法（如 AM \Rightarrow FM）。

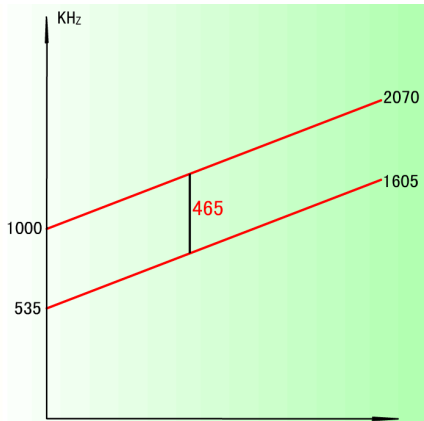


如 AM 调幅波段 $535\text{kHz} \sim 1605\text{kHz}$ ，中频 465kHz ，

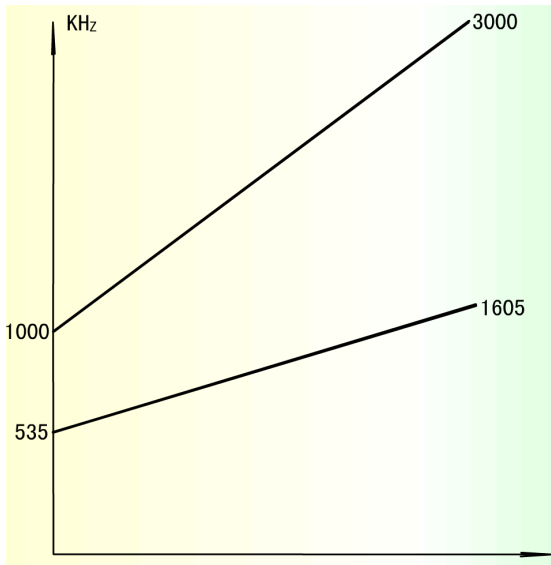
- 高频回路的波段覆盖系数 $K_d = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \frac{1605\text{kHz}}{535\text{kHz}} = 3 = \sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}}$
- 本振波段在相同容量的可变电容调节下变化范围
 $f_{L\min} \sim f_{L\max} = f_{L\min} \sim 3f_{L\min} = 1000(535 + 465)\text{kHz} \sim 3000\text{kHz}$
- 若要求每点都调谐则最高频率应为 $f_{L\max} = 1605 + 465 = 2070\text{kHz}$
- 只有最低频率 $f_{L\min}$ 处可满足中频为 465kHz (**一点跟踪**)

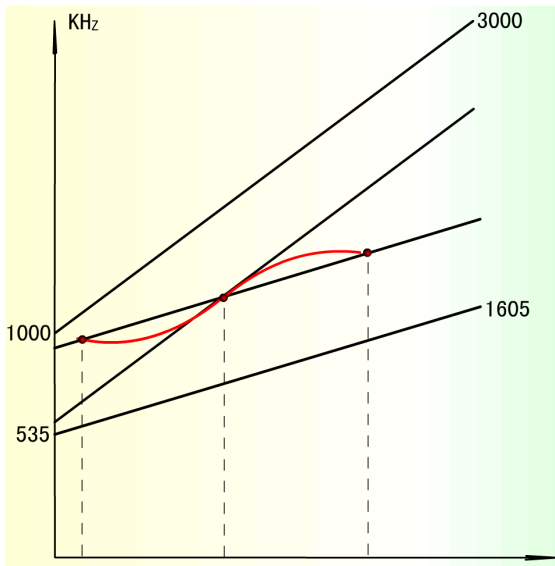


不理想只有一点可以取出中频

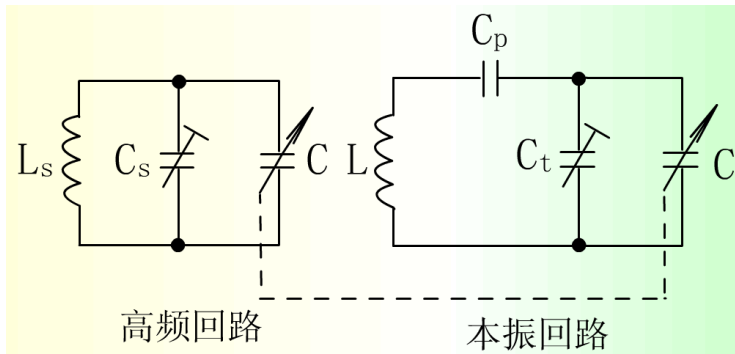


理想所有点都可以取出中频

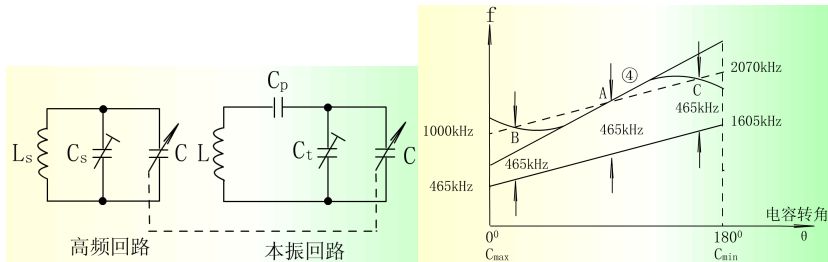




- 为使统调能基本满足，而又不使电路太复杂；
- 在本振回路采取措施（三点统调或三点跟踪）。

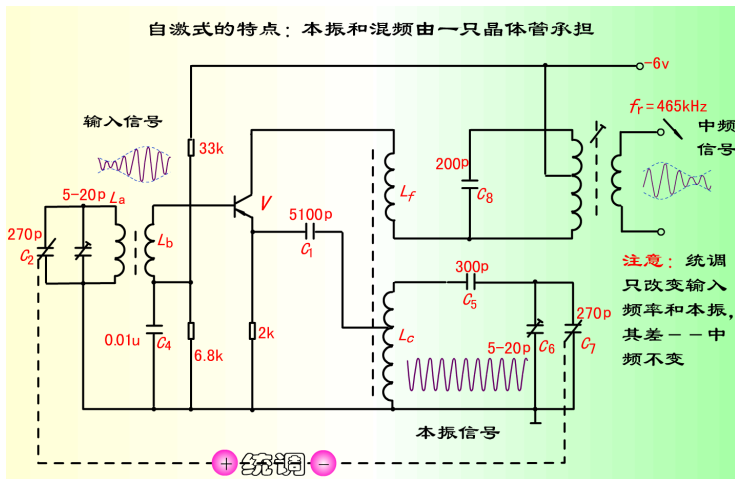


- 为使统调能基本满足，而又不使电路太复杂；
- 在本振回路采取措施（**三点统调**或**三点跟踪**）。

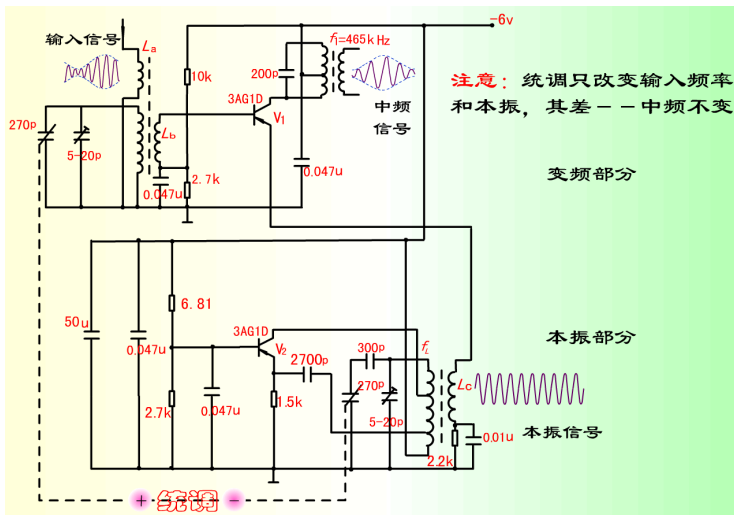


- **垫整电容** $C_p \approx C_{\max}$ ，**垫补电容** $C_t \approx C_{\min}$ 。
- 本振频率高频端 $f_{L\max}$ ， $C = C_{\min}$ ，总电容 $C_\Sigma \approx 2C_{\min} > C_{\min}$ 增大，使高频本振频率 $f_{L\max}$ 降低。
- 本振频率低频端 $f_{L\min}$ ， $C = C_{\max}$ ，总电容 $C_\Sigma \approx \frac{1}{2}C_{\max} < C_{\max}$ 减小，使高频本振频率 $f_{L\min}$ 提高。

晶体管自激式变频器示例



晶体管他激式变频器示例



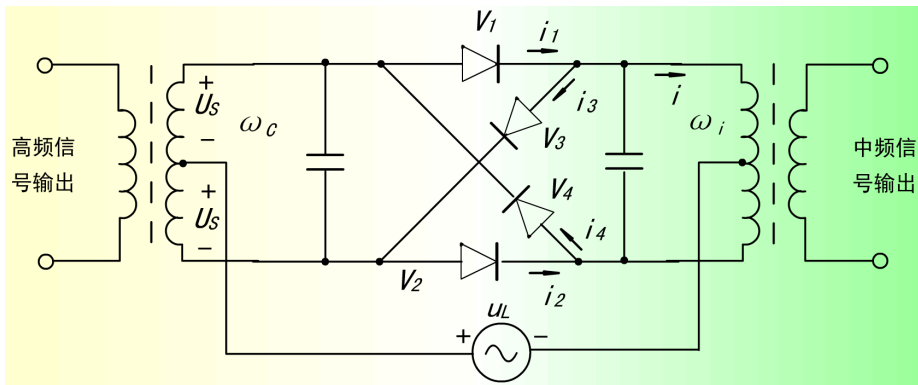
内容提要 I

1 变频器

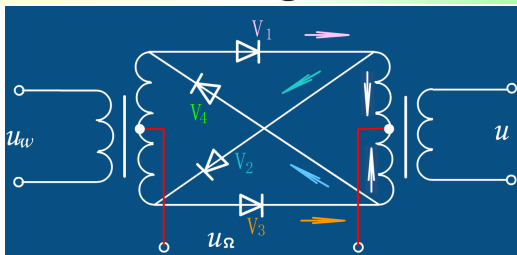
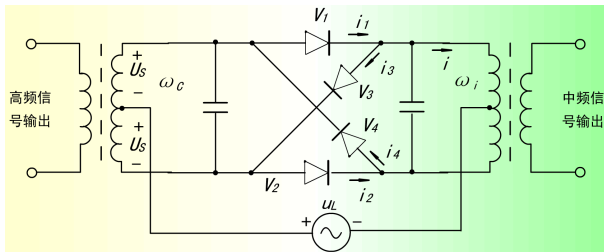
- 概述
- 变频器基本原理
- 变频器主要技术指标
- 晶体三极管变频电路
- 超外差接收机的统调与跟踪
- 环形混频电路
- 模拟乘法器构成的混频电路

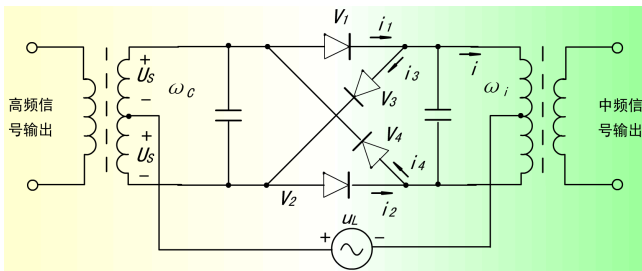
2 变频干扰及其抑制方法

- 变频干扰



环形混频电路





$$\begin{aligned}
 i &= i' - i'' = 2gU_S[k_1(\omega_L t) - k_1(\omega_L t + \pi)] \\
 &= 2gU_S \left[\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{4}{(2n-1)\pi} \cos(2n-1)\omega_L t \right] \\
 &= 4gU_{Sm} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)\pi} \{ \cos[(2n-1)\omega_L + \omega_S]t + \cos[(2n-1)\omega_L - \omega_S]t \}
 \end{aligned}$$

内容提要 I

1 变频器

- 概述
- 变频器基本原理
- 变频器主要技术指标
- 晶体三极管变频电路
- 超外差接收机的统调与跟踪
- 环形混频电路
- 模拟乘法器构成的混频电路

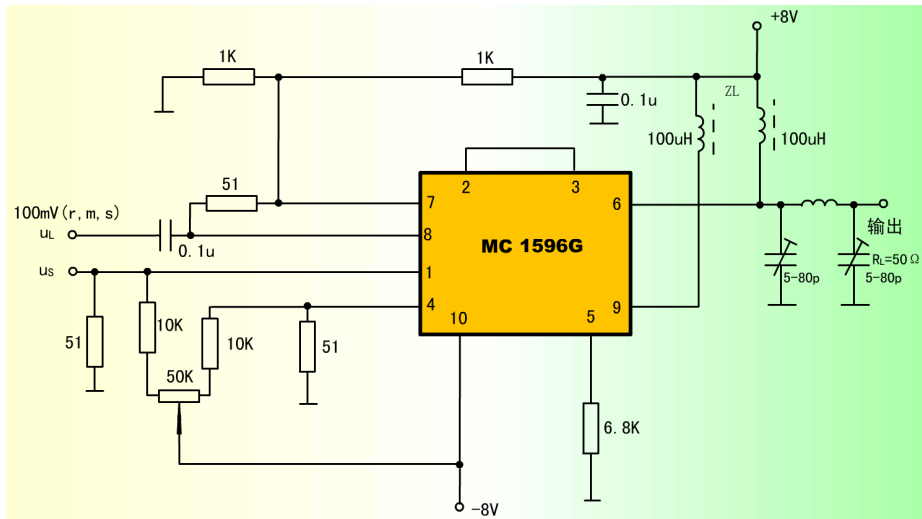
2 变频干扰及其抑制方法

- 变频干扰

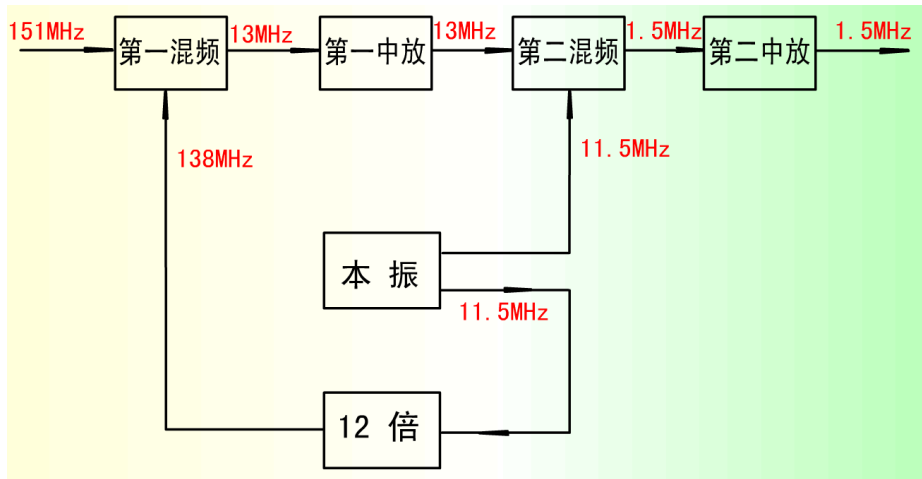
相对于环形混频电路而言，模拟乘法器实现混频

- 混频输出频谱纯洁，可大大减少接收机的干扰。
- 对本振电压的大小无严格要求。

模拟乘法器构成的混频电路



模拟乘法器构成的混频电路



10.4 YDK-IP 型遥控机-甚高频无线电调频控制设备

内容提要 I

1 变频器

- 概述
- 变频器基本原理
- 变频器主要技术指标
- 晶体三极管变频电路
- 超外差接收机的统调与跟踪
- 环形混频电路
- 模拟乘法器构成的混频电路

2 变频干扰及其抑制方法

- 变频干扰

内容提要 I

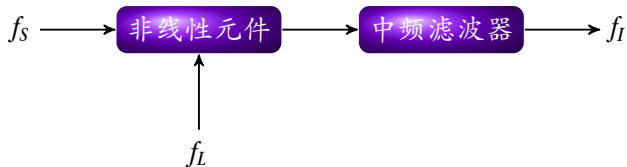
1 变频器

- 概述
- 变频器基本原理
- 变频器主要技术指标
- 晶体三极管变频电路
- 超外差接收机的统调与跟踪
- 环形混频电路
- 模拟乘法器构成的混频电路

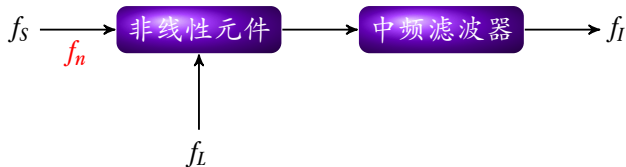
2 变频干扰及其抑制方法

- 变频干扰

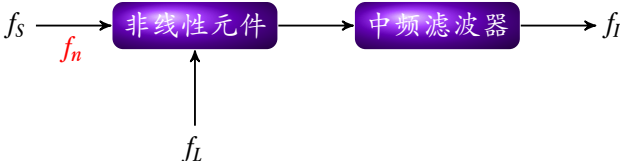
① 成因



① 成因



① 成因

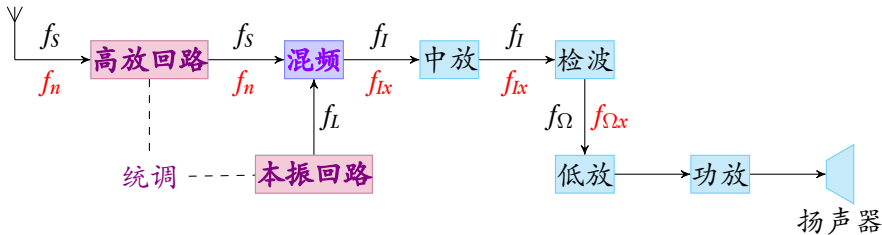


有用频谱内出现新的无用频谱分量

- 变频器件的**非理想相乘**特性。
- 接收机输入回路和前级高放的**选择特性不好**。
- **变频干扰**：有用信号 f_s 、本振信号 f_L 、干扰信号 f_n 和非线性元件。

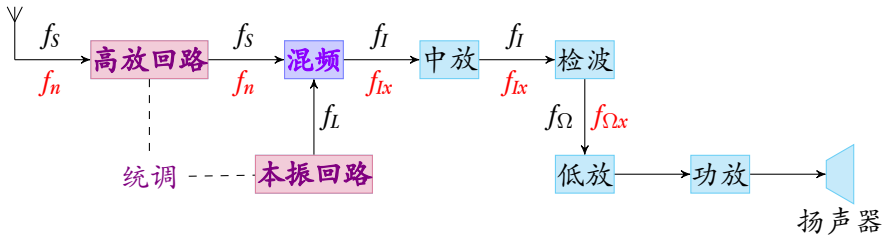
① 成因

- 本振信号 f_L 与有用信号 f_s 和干扰信号 f_n 分别在非线性元件作用下产生接近中频 f_I 的信号 f_{Ix} 。
- 干扰信号 f_n 上的调制信号 $f_{\Omega x}$ 被“调制”到有用信号 f_s 上或干扰信号 f_n 相互作用产生接近中频 f_I 的信号 f_{Ix} 。

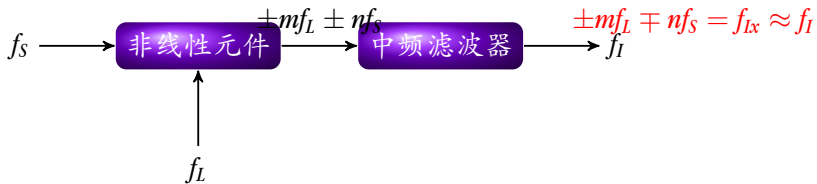


① 成因

- 本振信号 f_L 与有用信号 f_s 和干扰信号 f_n 分别在非线性元件作用下产生接近中频 f_I 的信号 f_{Ix} 。 组合频率干扰 副波道干扰
- 干扰信号 f_n 上的调制信号 $f_{\Omega x}$ 被“调制”到有用信号 f_s 上或干扰信号 f_n 相互作用产生接近中频 f_I 的信号 f_{Ix} 。 交调干扰 互调干扰



② 组合频率干扰

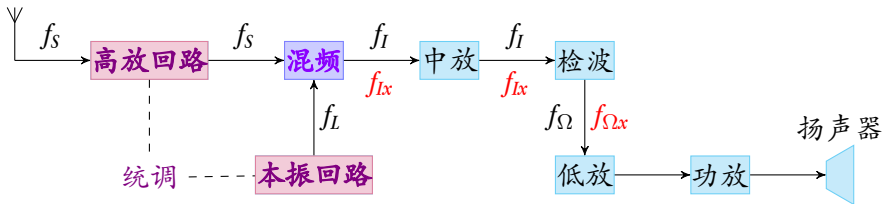


组合频率分量 $\pm mf_L \pm nf_S = f_{Ix} \approx f_I$

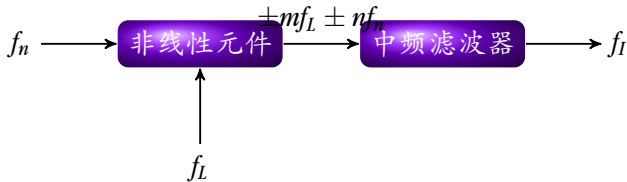
② 组合频率干扰

减弱组合频率干扰的方法

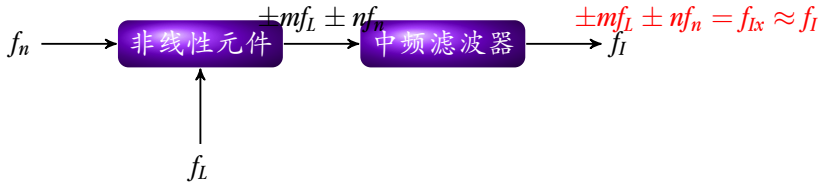
- 适当选择变频电路工作点，尤其本振电压 u_L 不要过大。
- 输入信号 u_s 电压幅值不能过大，否则谐波幅值也大，使干扰增强。
- 选择中频时应考虑组合频率的影响，使其远离在变频过程中可能产生的组合频率。



③ 副波道干扰

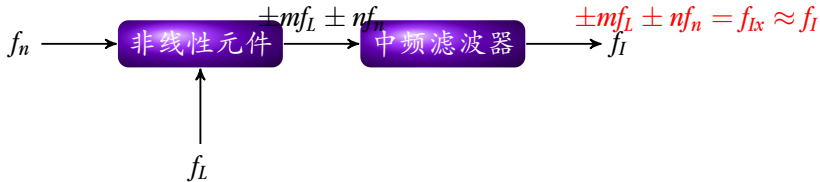


③ 副波道干扰



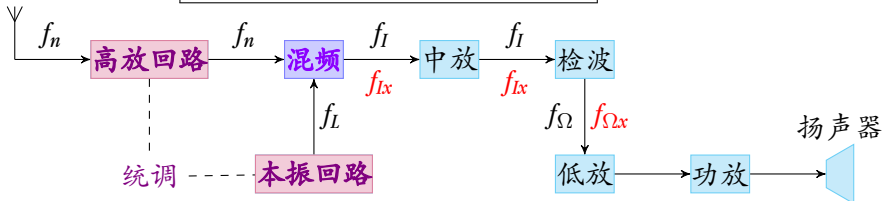
$$\boxed{\text{干扰频率分量 } \pm mf_L \pm nf_n = f_{Ix} \approx f_I} \quad f_n = \frac{1}{n}(mf_L \pm f_I)$$

③ 副波道干扰

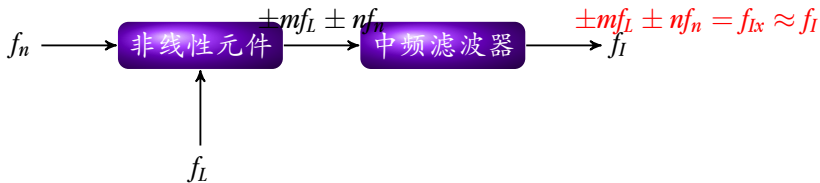


干扰频率分量 $\pm mf_L \pm nf_n = f_{Ix} \approx f_I$ $f_n = \frac{1}{n}(mf_L \pm f_I)$

解调输出低频 $|f_{Ix} - f_I| = f_{\Omega x} \approx f_{\Omega}$ 产生哨叫



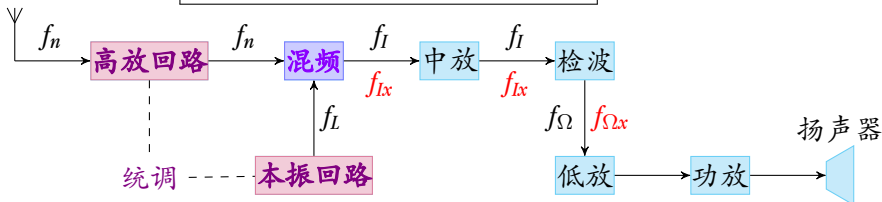
③ 副波道干扰



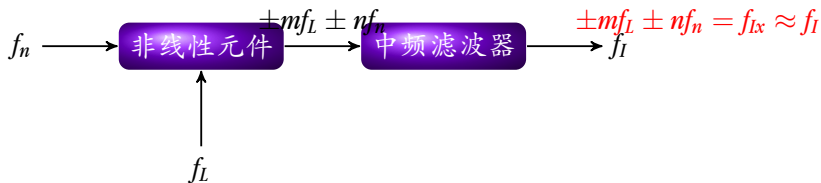
副/寄生波道干扰好像绕过主波道 f_s 通过另一条通路进入中频电路

$$\text{干扰频率分量 } \pm mf_L \pm nf_n = f_{Ix} \approx f_I \quad f_n = \frac{1}{n}(mf_L \pm f_I)$$

解调输出低频 $|f_{Ix} - f_I| = f_{\Omega x} \approx f_{\Omega}$ 产生哨叫



③ 副波道干扰—中频干扰



$$f_n = \frac{1}{n}(mf_L \pm f_I) = f_I(m = 0, n = 1)$$

- **产生**：如果接收机输入回路选择性不好，该信号进入变频器并被放大，产生干扰。
- **抑制**：提高变频器前面电路的选择性，增强对中频信号的抑制或设置中频陷波器。

问题

当 $f_s = 1000\text{kHz}$, $f_L = 1465\text{kHz}$, 调谐于中频 465kHz , 干扰信号频率 $f_n = 1930\text{kHz}$, 能不能抑制?

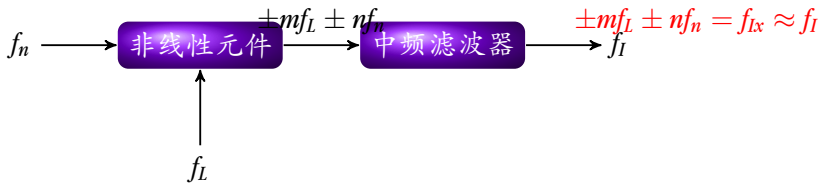
③ 副波道干扰—镜频干扰



$$f_n = \frac{1}{n}(mf_L \pm f_I) = f_L + f_I = f_s + 2f_I (m = 1, n = 1)$$

- **产生**： f_n 与 f_s 分别位于 f_L 两侧且距离相等（相差中频 f_I ），互为镜像。
- **抑制**：提高变频器前面各级电路的选择性和中频 f_I 。

③ 副波道干扰—组合副波道干扰

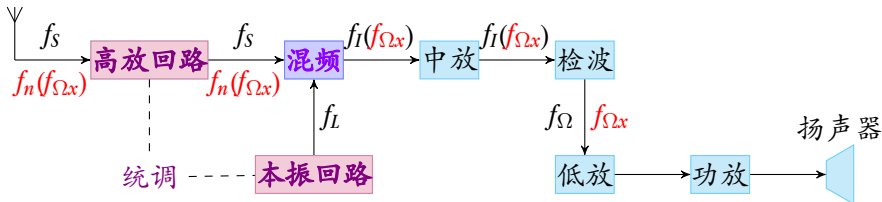


$$f_n = \frac{1}{n}(mf_L \pm f_I) \approx f_I (m \geq 1, n > 1)$$

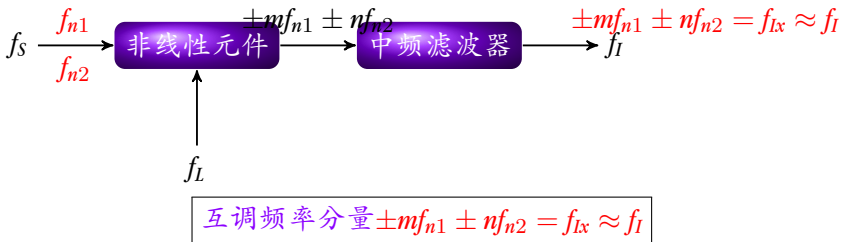
④ 交调干扰

抑制交调干扰的方法

- 提高高频放大级前输入回路或变频级前各级电路的选择性。
- 适当选择晶体管工作点电流 I_c （晶体管转移特性存在一个三次项最小的区域）。



⑤ 互调干扰

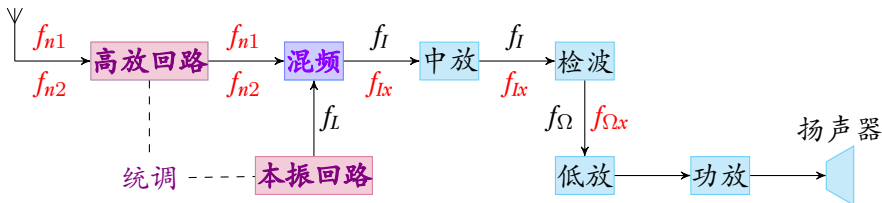


互调频率分量 $\pm mf_{n1} \pm nf_{n2} = f_{Ix} \approx f_I$

- **交调**干扰经检波后可以同时听到质量很差的有用信号和干扰电台的声音。
- **互调**干扰听到的是哨叫声和杂乱干扰声而没有信号声音（**阻塞**）。

⑤ 互调干扰

- **产生**：两个干扰电台频率距信号频率较远或其中之一距信号频率较近。
- **抑制**：提高输入电路的选择性就可以有效地减弱互调干扰。
- **高放级和变频级**：**变频级**产生互调地可能性更大。原因变频级输入电平较大且工作在晶体管特性曲线的非线性部分；而高频级工作点常选择在线性部分。



总结

产生

- 组合频率干扰： $\pm mf_L \mp nf_S \approx f_I$
- 副波道干扰： $\pm mf_L \pm nf_n \approx f_I \Rightarrow f_n = \frac{1}{n}(mf_L \pm f_I)$
 - ▶ 中频干扰： $f_n = f_I \quad m = 0, n = 1$
 - ▶ 镜频干扰： $f_n = f_L + f_I = f_S + 2f_I \quad m = n = 1$
 - ▶ 组合副波道干扰： $f_n = \frac{1}{n}(mf_L \pm f_I) \quad m \geq 1, n > 1$
- 交调干扰： $f_n(f_{\Omega x}) \Rightarrow f_S(f_{\Omega x}) \Rightarrow f_I(f_{\Omega x})$
- 互调干扰： $\pm mf_{n1} \pm nf_{n2}$

总结

结论

- ① 变频级产生的各种干扰都和**干扰的电压大小**有关，抑制它的主要方法是**提高变频级前电路的选择性**。
- ② 变频级由于非线性而产生的**组合频率干扰**与**输入信号大小**有关，因此为减小组合频率干扰，**变频级输入端的信号电平不宜过大**。但若从输入信噪比考虑，则希望信号电平尽可能高，两种要求矛盾，设计时必须全面考虑。
- ③ 变频器本身产生失真和干扰的原因是**晶体管特性曲线中存在着三次和更高次非线性项**；因此，适当地调整变频器的工作状态，使其**工作在接近平方律区域**就能使失真大为减弱。

习题

7-13

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S = 465\text{kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰？又是怎样形成的？

答：

习题

7-13

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S = 465\text{kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰？又是怎样形成的？

- ① 当收听频率 $f_S = 931\text{kHz}$ 的电台播音时，伴有音调约 1kHz 的哨叫声；

答：

习题

7-13

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S = 465\text{kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰？又是怎样形成的？

- ① 当收听频率 $f_S = 931\text{kHz}$ 的电台播音时，伴有音调约 1kHz 的哨叫声；

答：

$$\textcircled{1} f_{Ix} = 2f_S - f_L = 2 \times 931 - 1396 = 466\text{kHz} \quad f_{\Omega x} = f_{Ix} - f_I = 466 - 465 = 1\text{kHz}$$

习题

7-13

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S = 465\text{kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰？又是怎样形成的？

- ① 当收听频率 $f_S = 931\text{kHz}$ 的电台播音时，伴有音调约 1kHz 的哨叫声；

答：

- ① $f_{Ix} = 2f_S - f_L = 2 \times 931 - 1396 = 466\text{kHz}$ $f_{\Omega x} = f_{Ix} - f_I = 466 - 465 = 1\text{kHz}$ 组合频率干扰

习题

7-13

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S = 465\text{kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰？又是怎样形成的？

- ① 当收听频率 $f_S = 931\text{kHz}$ 的电台播音时，伴有音调约 1kHz 的哨叫声；
- ② 当收听频率 $f_S = 550\text{kHz}$ 的电台播音时，听到频率为 1480kHz 的强电台播音；

答：

- ① $f_{Ix} = 2f_S - f_L = 2 \times 931 - 1396 = 466\text{kHz}$ $f_{\Omega x} = f_{Ix} - f_I = 466 - 465 = 1\text{kHz}$ 组合频率干扰

习题

7-13

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S = 465\text{kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰？又是怎样形成的？

- ① 当收听频率 $f_S = 931\text{kHz}$ 的电台播音时，伴有音调约 1kHz 的哨叫声；
- ② 当收听频率 $f_S = 550\text{kHz}$ 的电台播音时，听到频率为 1480kHz 的强电台播音；

答：

- ① $f_{Ix} = 2f_S - f_L = 2 \times 931 - 1396 = 466\text{kHz}$ $f_{\Omega x} = f_{Ix} - f_I = 466 - 465 = 1\text{kHz}$ 组合频率干扰
- ② $f_n = f_L + f_I = f_S + 2f_I = 550 + 2 \times 465 = 1480\text{kHz}$

习题

7-13

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S = 465\text{kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰？又是怎样形成的？

- ① 当收听频率 $f_S = 931\text{kHz}$ 的电台播音时，伴有音调约 1kHz 的哨叫声；
- ② 当收听频率 $f_S = 550\text{kHz}$ 的电台播音时，听到频率为 1480kHz 的强电台播音；

答：

- ① $f_{Ix} = 2f_S - f_L = 2 \times 931 - 1396 = 466\text{kHz}$ $f_{\Omega x} = f_{Ix} - f_I = 466 - 465 = 1\text{kHz}$ 组合频率干扰
- ② $f_n = f_L + f_I = f_S + 2f_I = 550 + 2 \times 465 = 1480\text{kHz}$ 镜频干扰

习题

7-13

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S = 465\text{kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰？又是怎样形成的？

- ① 当收听频率 $f_S = 931\text{kHz}$ 的电台播音时，伴有音调约 1kHz 的哨叫声；
- ② 当收听频率 $f_S = 550\text{kHz}$ 的电台播音时，听到频率为 1480kHz 的强电台播音；
- ③ 当收听频率 $f_S = 1480\text{kHz}$ 的电台播音时，听到频率为 740kHz 的强电台播音。

答：

- ① $f_{Ix} = 2f_S - f_L = 2 \times 931 - 1396 = 466\text{kHz}$ $f_{\Omega x} = f_{Ix} - f_I = 466 - 465 = 1\text{kHz}$ 组合频率干扰
- ② $f_n = f_L + f_I = f_S + 2f_I = 550 + 2 \times 465 = 1480\text{kHz}$ 镜频干扰

习题

7-13

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S = 465\text{kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰？又是怎样形成的？

- ① 当收听频率 $f_S = 931\text{kHz}$ 的电台播音时，伴有音调约 1kHz 的哨叫声；
- ② 当收听频率 $f_S = 550\text{kHz}$ 的电台播音时，听到频率为 1480kHz 的强电台播音；
- ③ 当收听频率 $f_S = 1480\text{kHz}$ 的电台播音时，听到频率为 740kHz 的强电台播音。

答：

- ① $f_{Ix} = 2f_S - f_L = 2 \times 931 - 1396 = 466\text{kHz}$ $f_{\Omega x} = f_{Ix} - f_I = 466 - 465 = 1\text{kHz}$ 组合频率干扰
- ② $f_n = f_L + f_I = f_S + 2f_I = 550 + 2 \times 465 = 1480\text{kHz}$ 镜频干扰
- ③ $f_n = \frac{1}{2}(f_L - f_I) = \frac{1}{2}f_S = \frac{1}{2} \times 1480 = 740\text{kHz}$ 三阶副波道干扰

