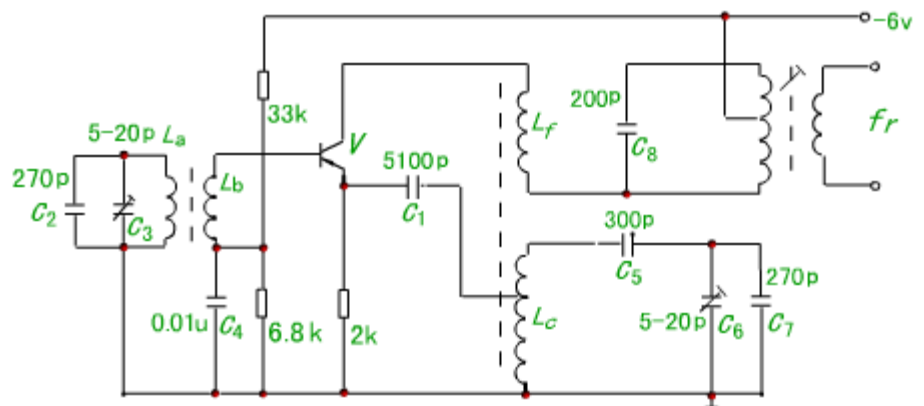


变频器

第七章



一

二

三

四

五

本章内容



[返回总目录](#)

7.1 概述

7.2 变频器的基本原理

7.3 变频器的主要技术指标

7.4 晶体三极管混频电路

7.5 超外差接收机的统调与跟踪

7.6 用模拟乘法器构成的混频电路

7.7 变频干扰

本章重点和难点

(一) 本章重点

1. 为什么要进行变频;
2. 变频器的基本原理及数学分析;
3. 晶体三极管混频电路基本原理、工作状态选择及应用举例;
4. 变频干扰。

(二) 本章难点



1. 三点统调;
2. 变频干扰。

一、什么是变频器——频率变换电路

把一个已调的高频信号变成另一个较低频率的同类已调信号。完成这种频率变换的电路称变频器。

由于设计和制作工作频率较原载频低的固定中频放大器比较容易，增益高，选择性好，所以采用变频器后，接收机的性能将得到提高。

例如:超外差广播接收机

- **AM制**: 将载频位于**535 kHz~1605kHz**中波波段的各电台的普通调幅信号  **465kHz**的中频信号;
- **FM制**: 把载频位于**88 MHz~108MHz**的各调频台信号  中频为**10.7MHz**的调频信号;

又如:超外差电视接收机

- 把载频位于**四十兆赫至近千兆赫**频段内各电视台信号  中频为**38MHz**的视频信号。

超外差收音机接收系统及各点波形

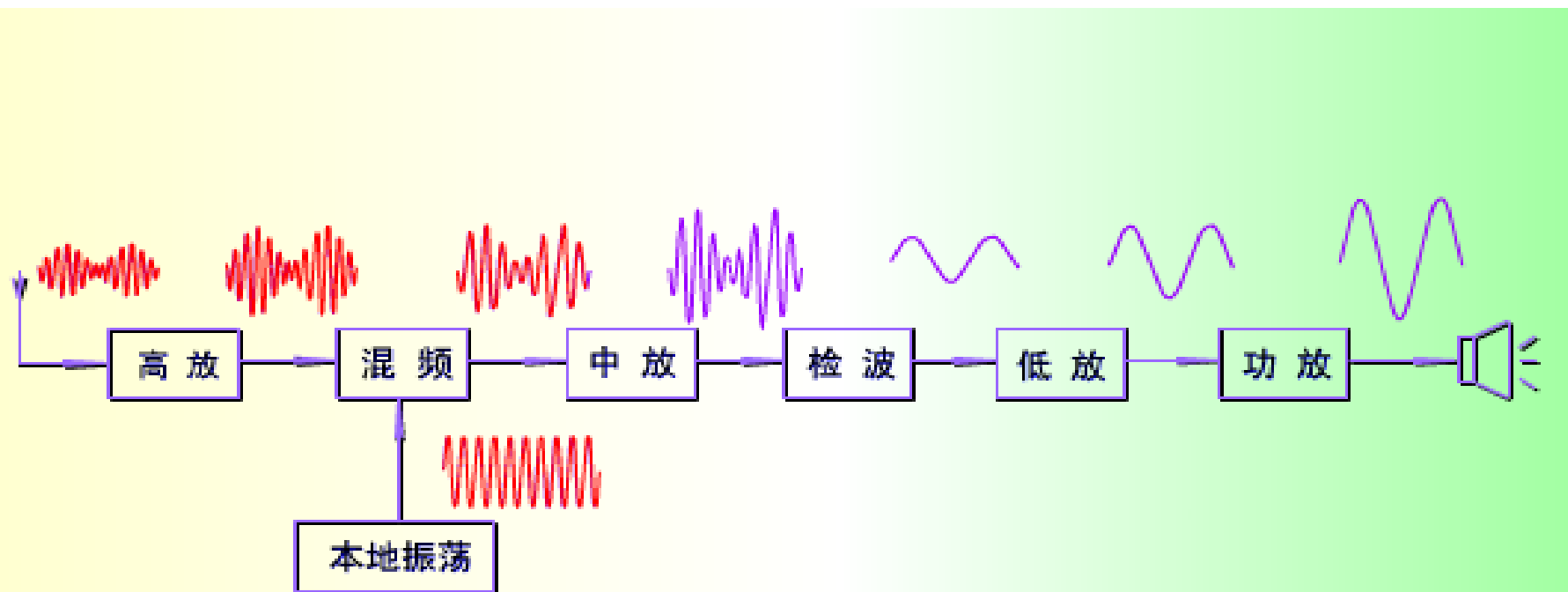


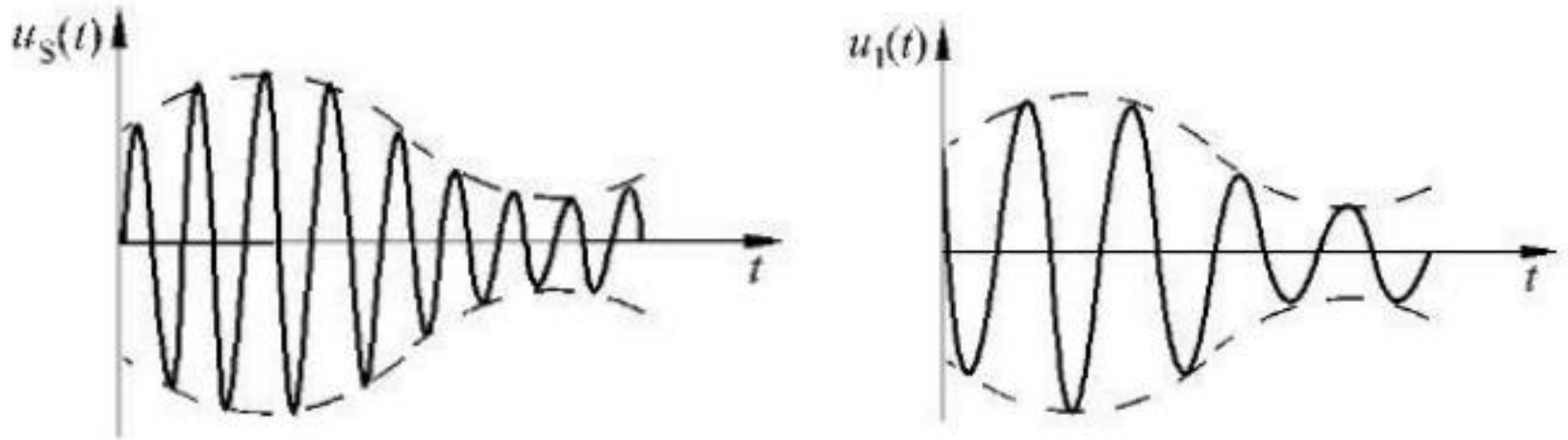
图1-5 超外差接收机组组成方框图

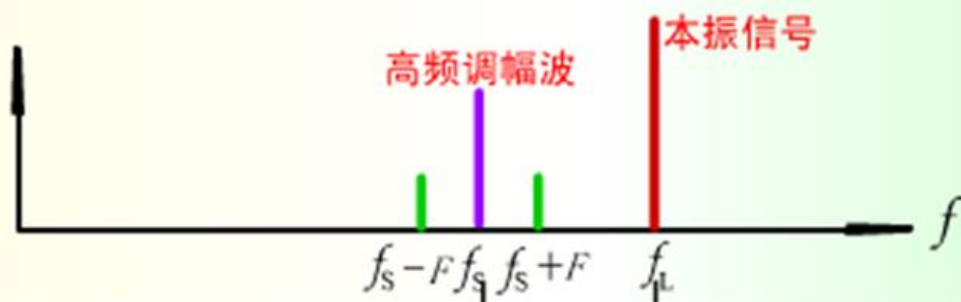
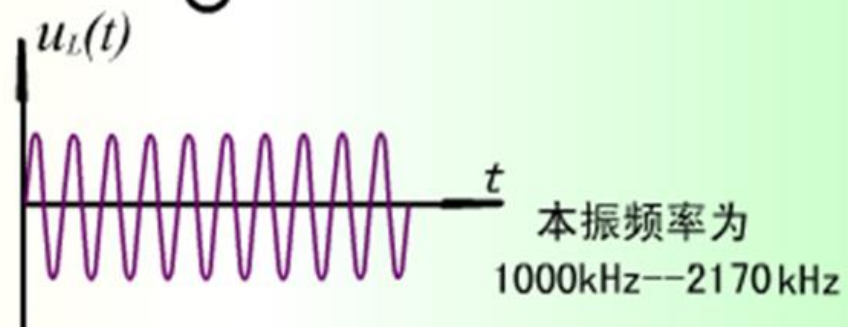
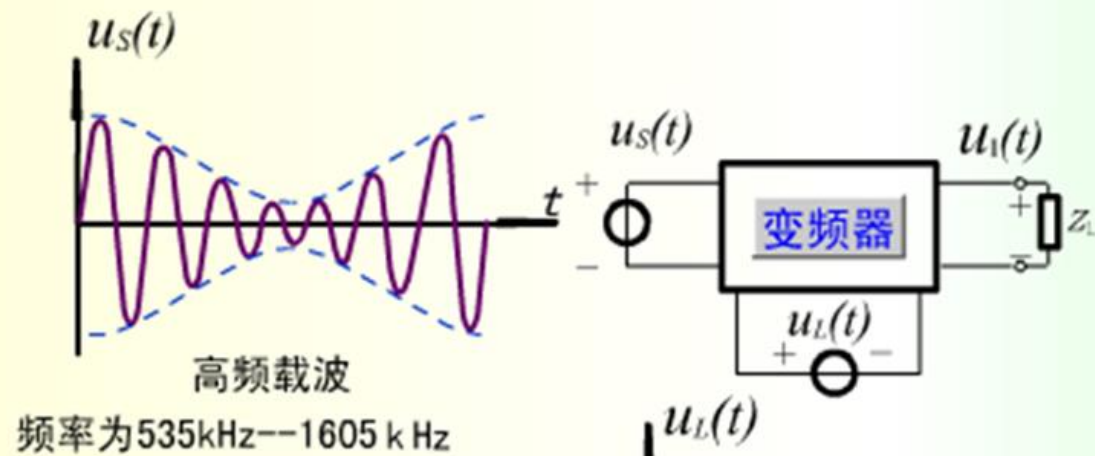
二、为什么要进行变频

1. 变频器将信号频率变换成中频，在中频上放大信号，放大器的增益可做得很高而不自激，电路工作稳定（有利于放大）；
2. 接收机在频率很宽的范围内选择性好有困难，而对于某一固定频率选择性可以做得很好（有利于选频）；
3. 由于变频后所得的中频频率是固定的，这样可以使电路结构简化。

三、信号载波频率变换成中频频率波形图

u_I 与 u_S 载波振幅的包络形状完全相同，惟一的差别是 信号载波频率 f_s 变换成中频频率 f_I ，混频器输入输出波形图如图示。



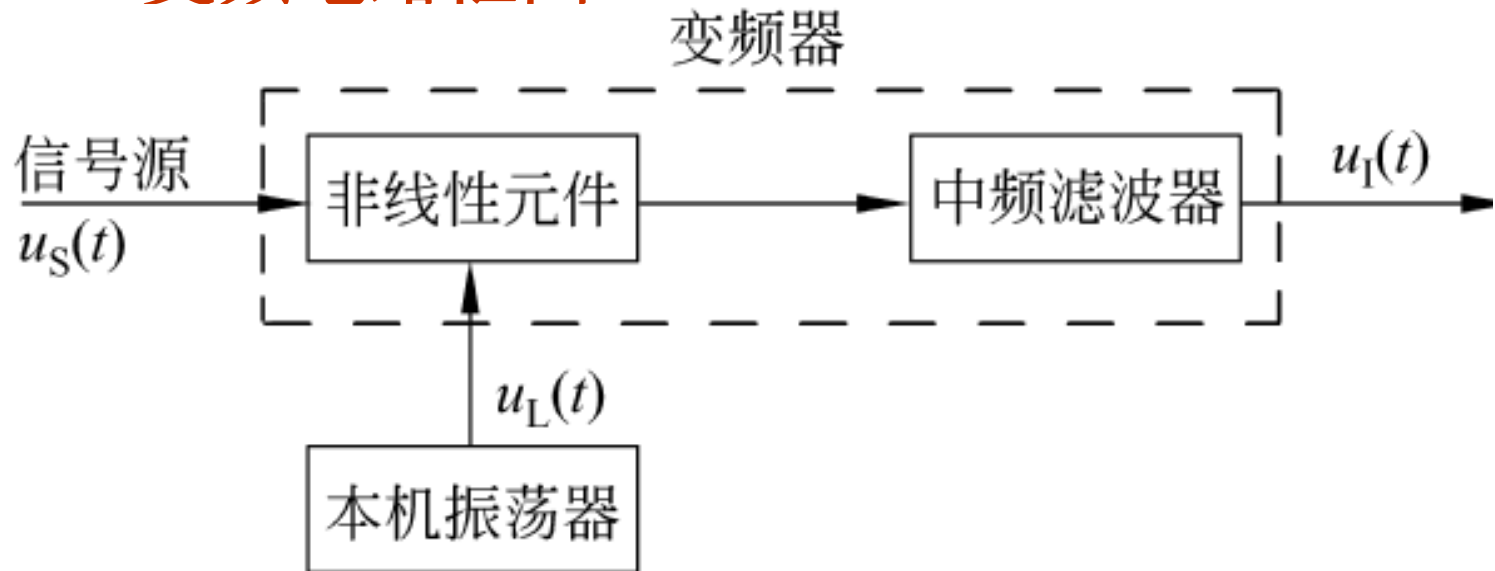


-
- u_I 与 u_S 载波振幅的包络形状完全相同，惟一的差别是信号载波频率 f_S 变换成中频频率 f_I 。

- 本地振荡器本振信号----- 下标为L
- 输入调幅信号-----下标为S
- 中频调幅信号-----下标为I

四、变频器的组成

1. 变频电路框图

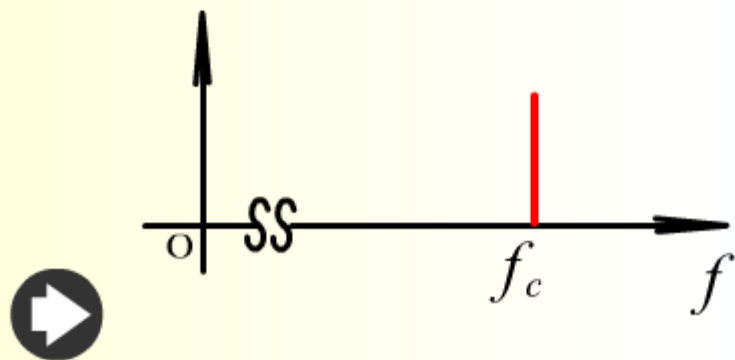
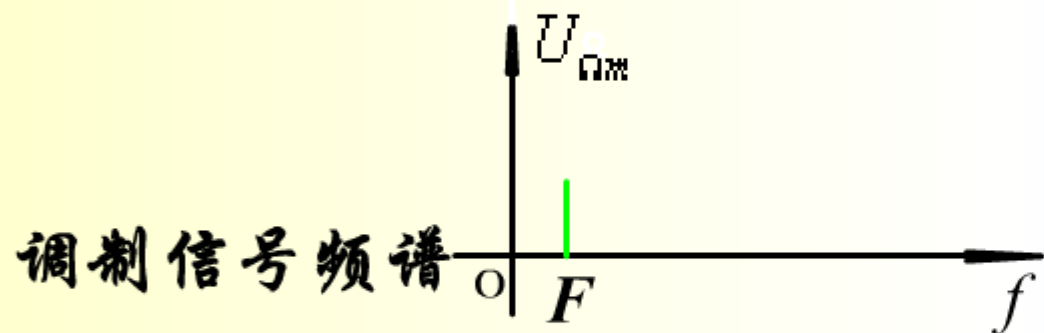
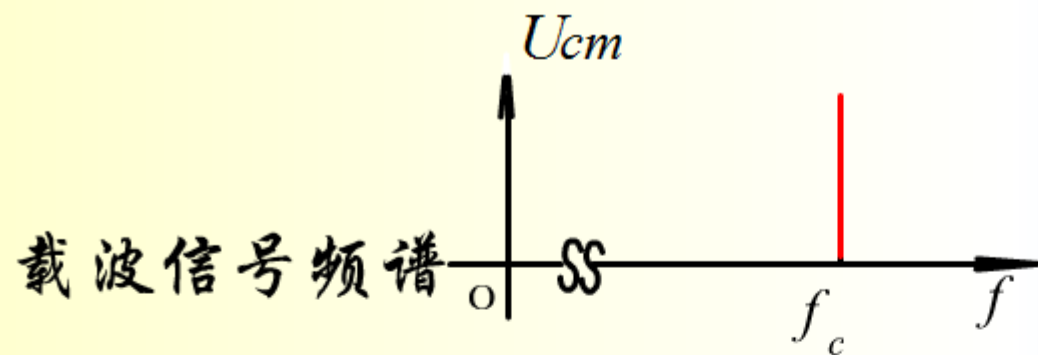


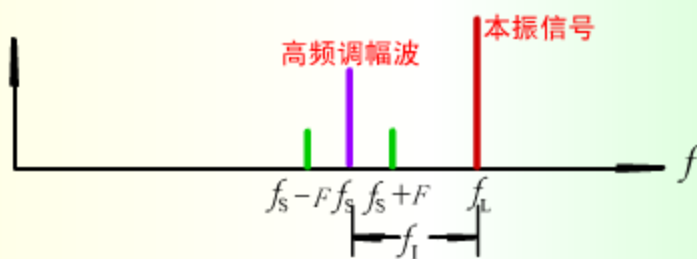
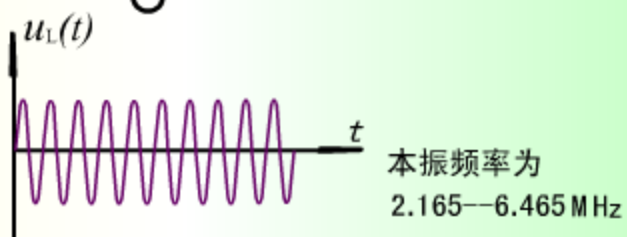
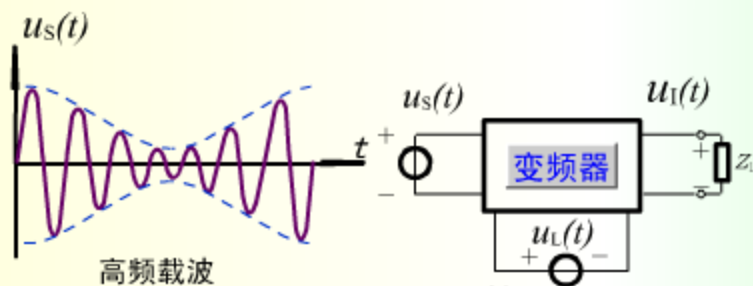
它是将输入调幅信号与本振信号（高频等幅信号），同时加到混频器，经频率变换后通过滤波器，输出中频调幅信号。

2. 变频电路的组成

- 1) 非线性元件，如二极管、三极管和场效应管和模拟乘法器等；
- 2) 中频滤波器；
- 3) 产生 u_L 的振荡器。通常称为本地振荡器，振荡角频率为 ω_L 。

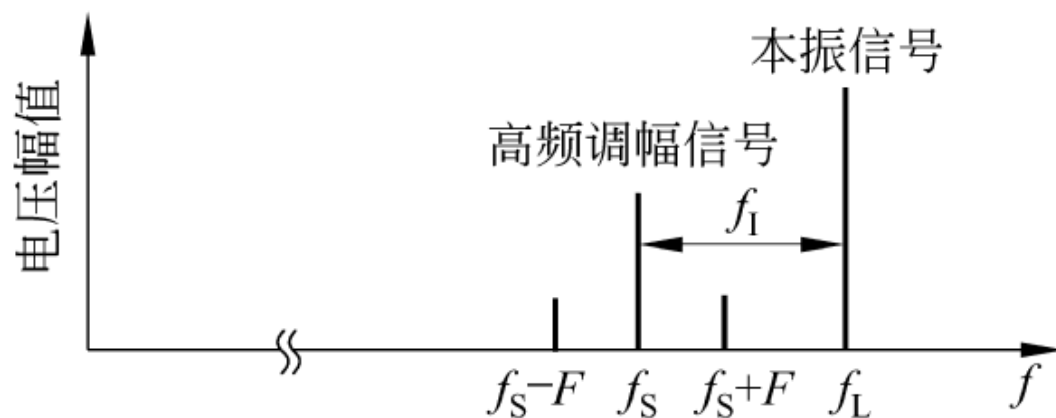
本机振荡器可以由变频晶体管兼（叫自激式变频器）。也可以由另一晶体管组成（称为他激式变频器，也叫混频器）。两种电路中，前一种简单，但统调困难。因此一般工作频率较高的接收机采用混频器。



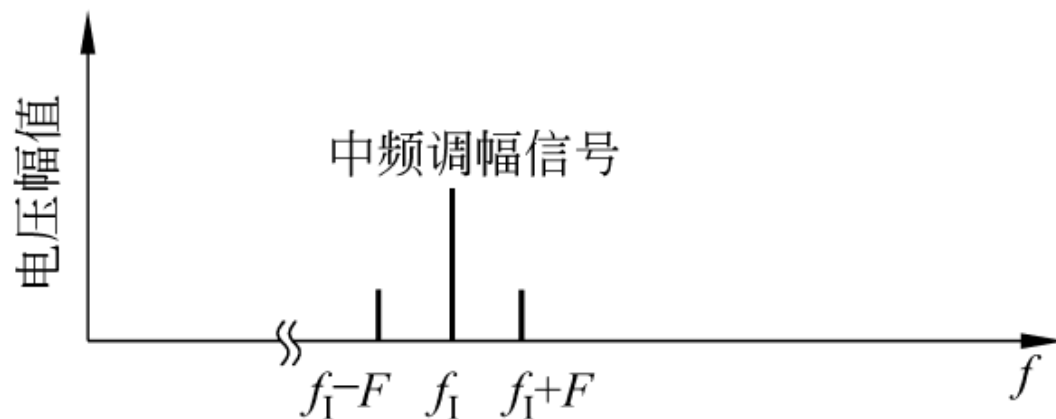


VHZ/WXQ

一、变频前后的频谱图



(a) 变频前



(b) 变频后

分析:

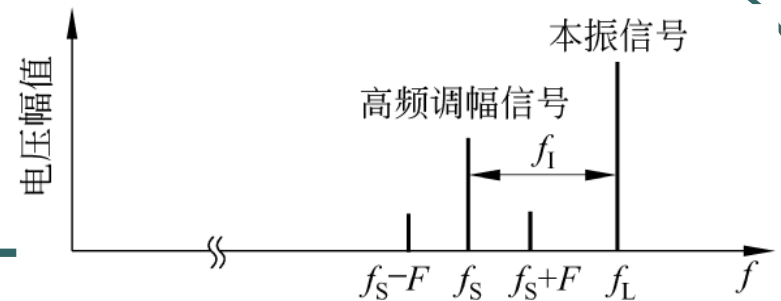
$$f_I = f_L - f_S$$

$$f_L - (f_S + F) = f_L - f_S - F = f_I - F$$

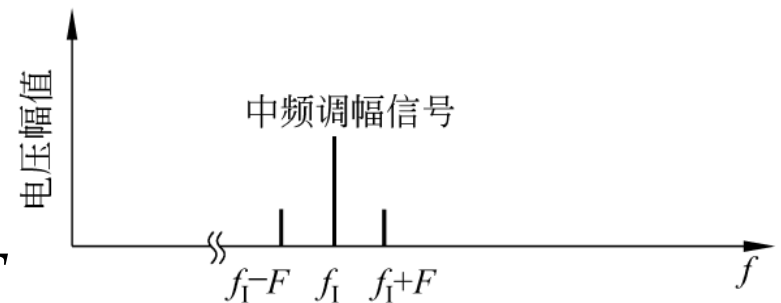
$$f_L - (f_S - F) = f_L - f_S + F = f_I + F$$

高频调幅信号的上边频 \longrightarrow 中频调幅信号的下边频,

高频调幅信号的下边频 \longrightarrow 中频调幅信号的上边频



(a) 变频前



(b) 变频后

二、变频原理的数学分析：幂级数

- 如果在非线性元件上同时加上输入信号电压和等幅的高频信号电压，则就会产生具有新频率的电流成分。由于变频管工作于输入特性曲线的弯曲段，其电流可采用幂级数来表示，即

$$i = a_0 + a_1(u_S + u_L) + a_2(u_S + u_L)^2 + \dots$$

$$u_s = U_{Sm} \cos \omega_S t \quad u_L = U_{Lm} \cos \omega_L t$$

对上式近似取前三项，

$$i = a_0 + a_1 \Delta u + a_2 (\Delta u)^2 + \dots \quad (7-1)$$

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

对 (7-1) 式近似取前三项

则 $i = a_0 + a_1[u_S(t) + u_L(t)] + a_2 \underline{[u_S(t) + u_L(t)]^2}$

$$= a_0 + a_1[u_S(t) + u_L(t)]$$

$$+ a_2 \underline{[U_{Sm} \cos \omega_S t + U_{Lm} \cos \omega_L t]^2}$$

$$i = a_0 + \frac{a_2}{2} (U_{Sm}^2 + U_{Lm}^2) \text{-----直流} \square$$

$$+ a_1 (U_{Sm} \cos \omega_S t + U_{Lm} \cos \omega_L t)$$

$$+ \frac{a_2}{2} (\underbrace{U_{Sm}^2 \cos 2\omega_S t + U_{Lm}^2 \cos 2\omega_L t}_{\text{谐波分量}})$$

$$+ a_2 U_{Sm} U_{Lm} [\underbrace{\cos(\omega_S + \omega_L)t}_{\text{和频分量}} + \underbrace{\cos(\omega_S - \omega_L)t}_{\text{差频分量}}]$$

$\omega_S - \omega_L$ 差频分量——中频成分

$\omega_S + \omega_L$ 和频分量

$2\omega_S \quad 2\omega_L$ 谐波分量

总结： 由于电路元件的伏安特性包含有平方项

1. 在 u_S , u_L 同时作用下, 电流便产生了新的频率成分, 它包含:

差频分量: $\omega_S - \omega_L$

和频分量: $\omega_S + \omega_L$

谐波分量: $2\omega_S$ $2\omega_L$

其中差频分量 $\omega_S - \omega_L$ 就是我们所要求的中频成分 ω_I 。

2. 通过中频滤波器就可将差频分量取出。

而将其他频率成分滤除。这种变频器称为下变频器。

若用选择性电路将和频分量选择出来，则这种变频器称为上变频器。



7.3 变频器的主要技术指标

1. 变频器增益要大

2. 选择性

要求输出回路具有良好的选择性。可采用品质因数 Q 高的选频网络或滤波器。

3. 工作稳定性要好

要求本振信号频率稳定度高，则应采用稳频等措施。

4. 非线性失真要小

5. 噪声系数要小

噪声系数要小的分析

噪声系数的定义为

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

由于变频器位于接收机的前端，它产生的噪声对整机影响最大，故要求变频器本身噪声系数越小越好。



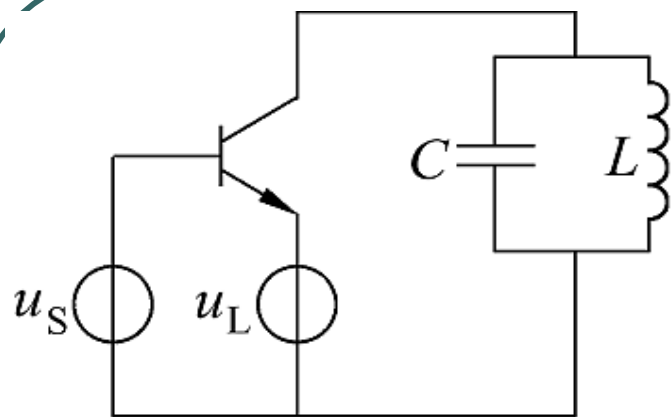
7.4 晶体三极管变频电路

一、三极管变频电路的几种形式

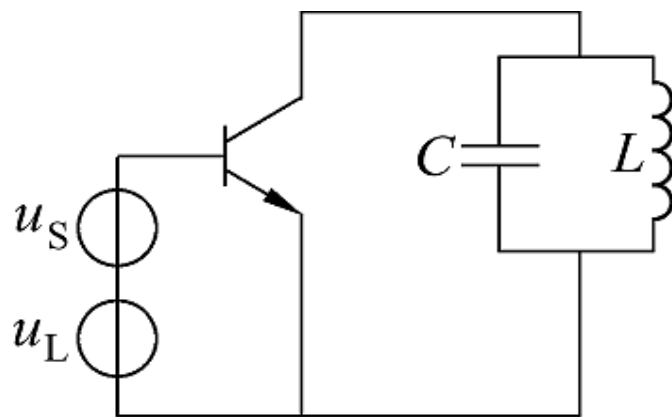
三极管变频器按本振信号接入的不同，一般有四种电路形式。

共发射极电路多用于频率较低的情况。图7-4（a）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。图7-4（b）信号与本振都由基极注入，相互影响大，但本振需要功率小。

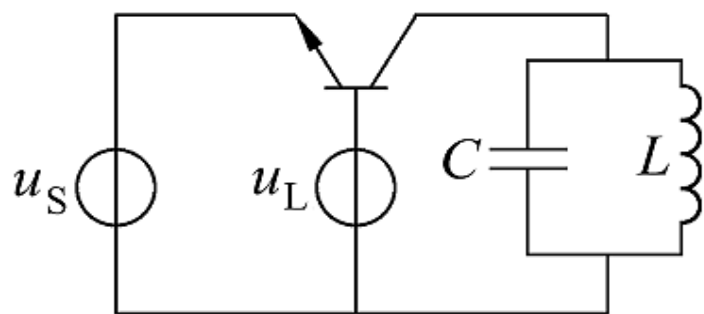
共基极电路多用于频率较高的情况。当工作频率不高时，变频增益比发射极电路低。图7-4（d）比图7-4（c）相互影响小。



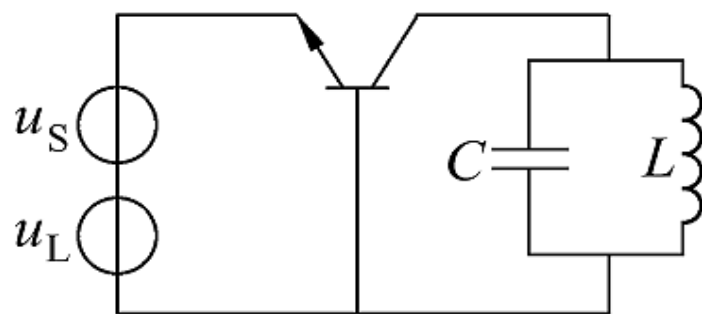
(a) 本振由发射极注入，
信号由基极注入



(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

图7-4 三极管变频电路的几种形式

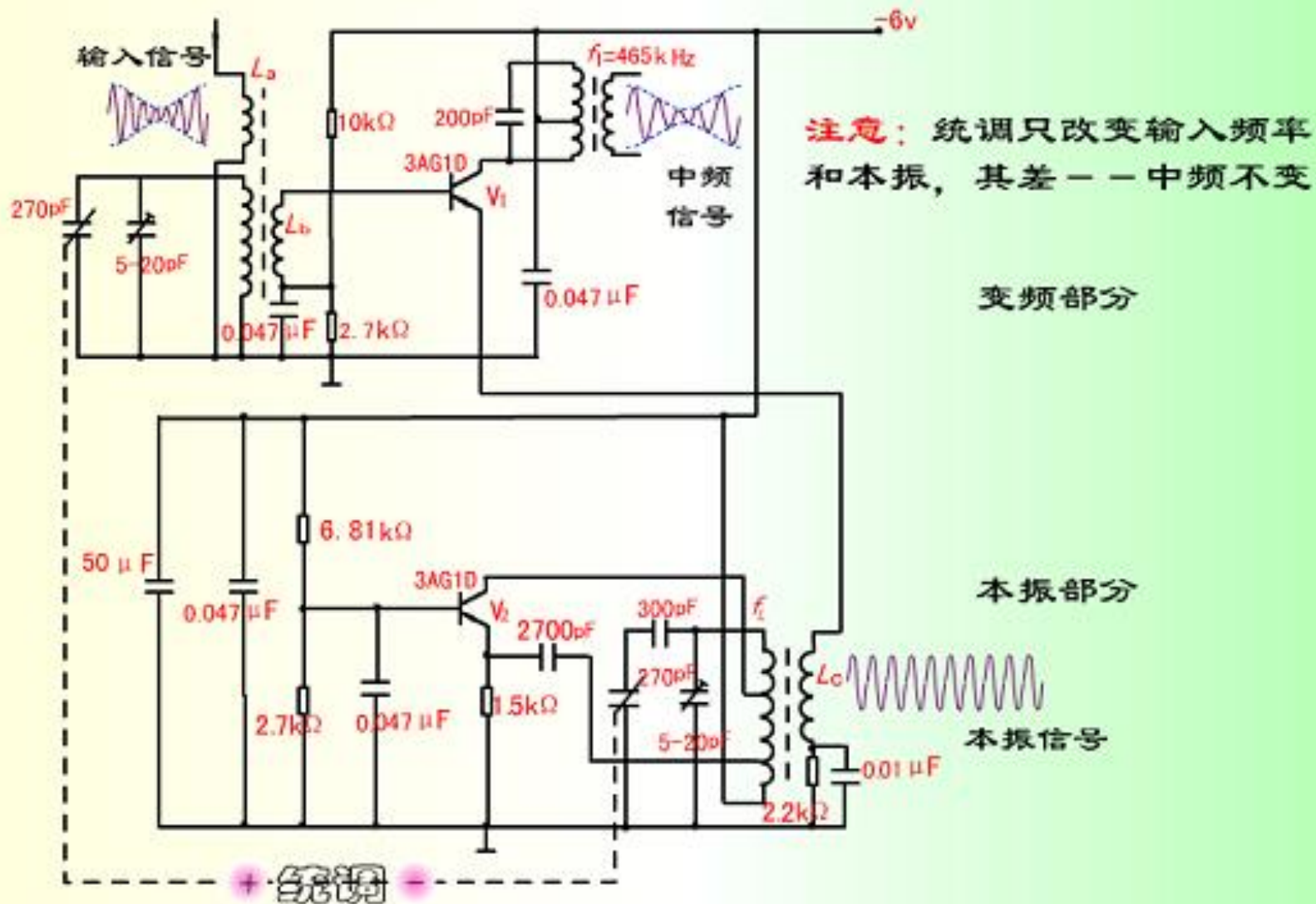


图7-6 晶体管他激式混频电路

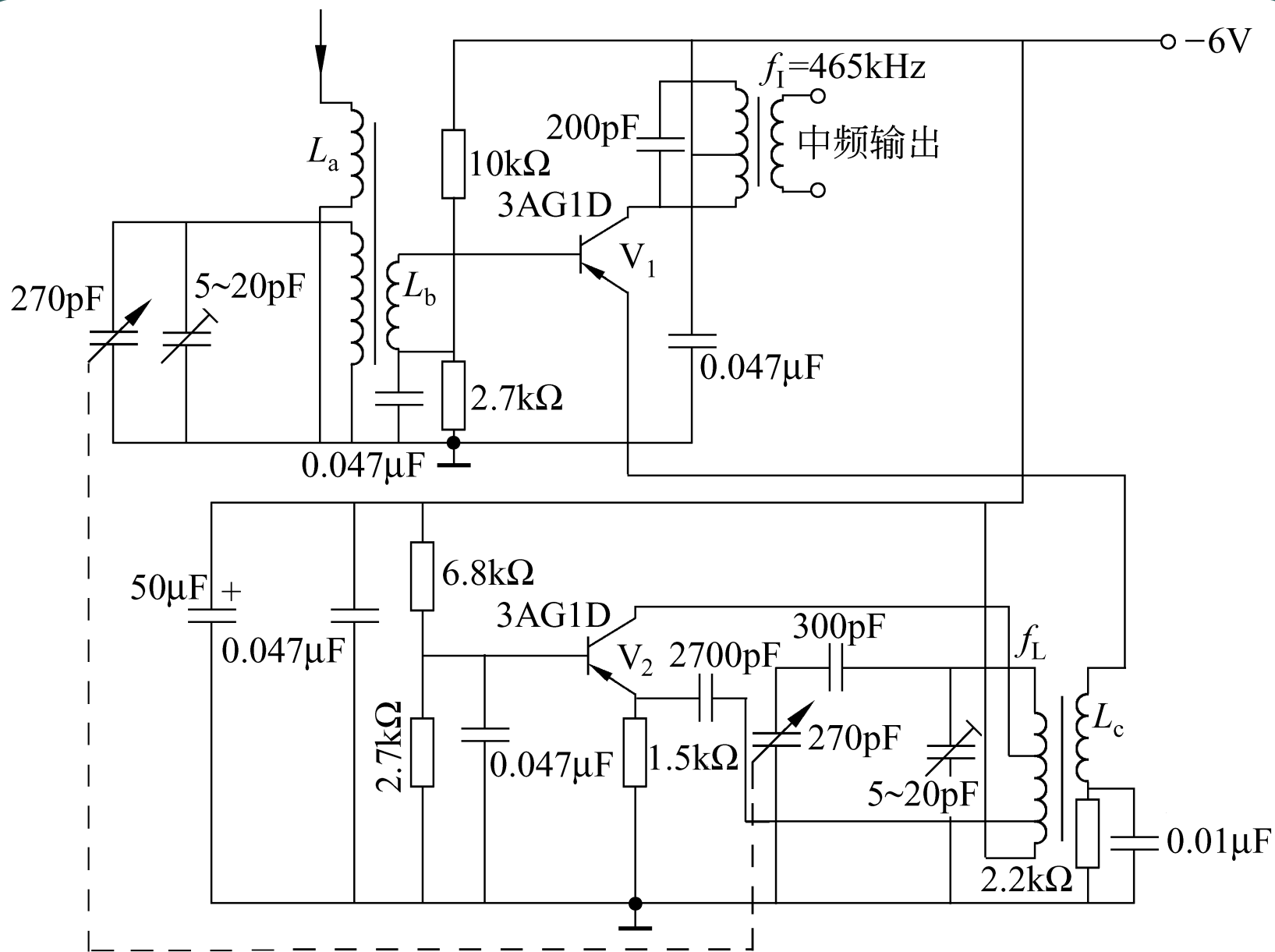


图7-6 (a) 晶体管他激式变频器

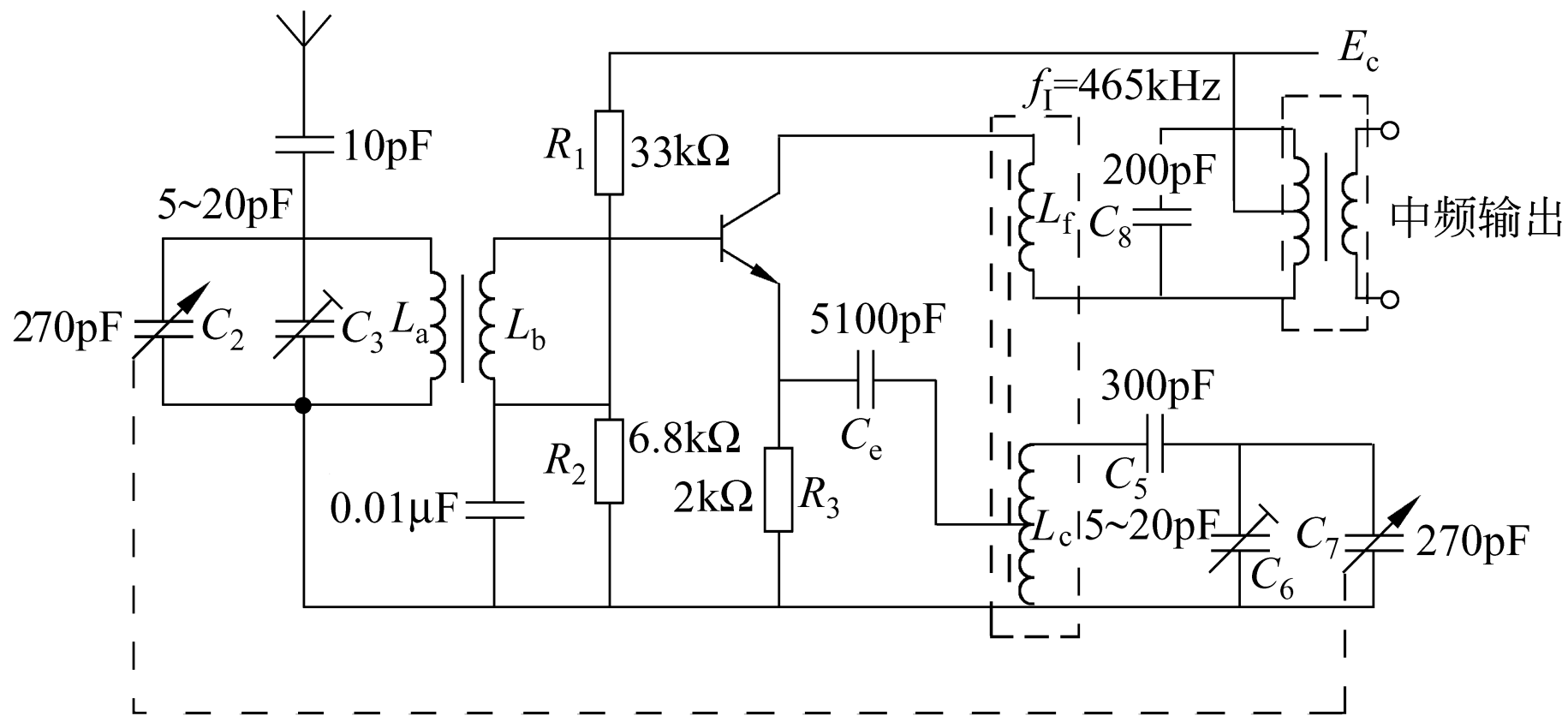
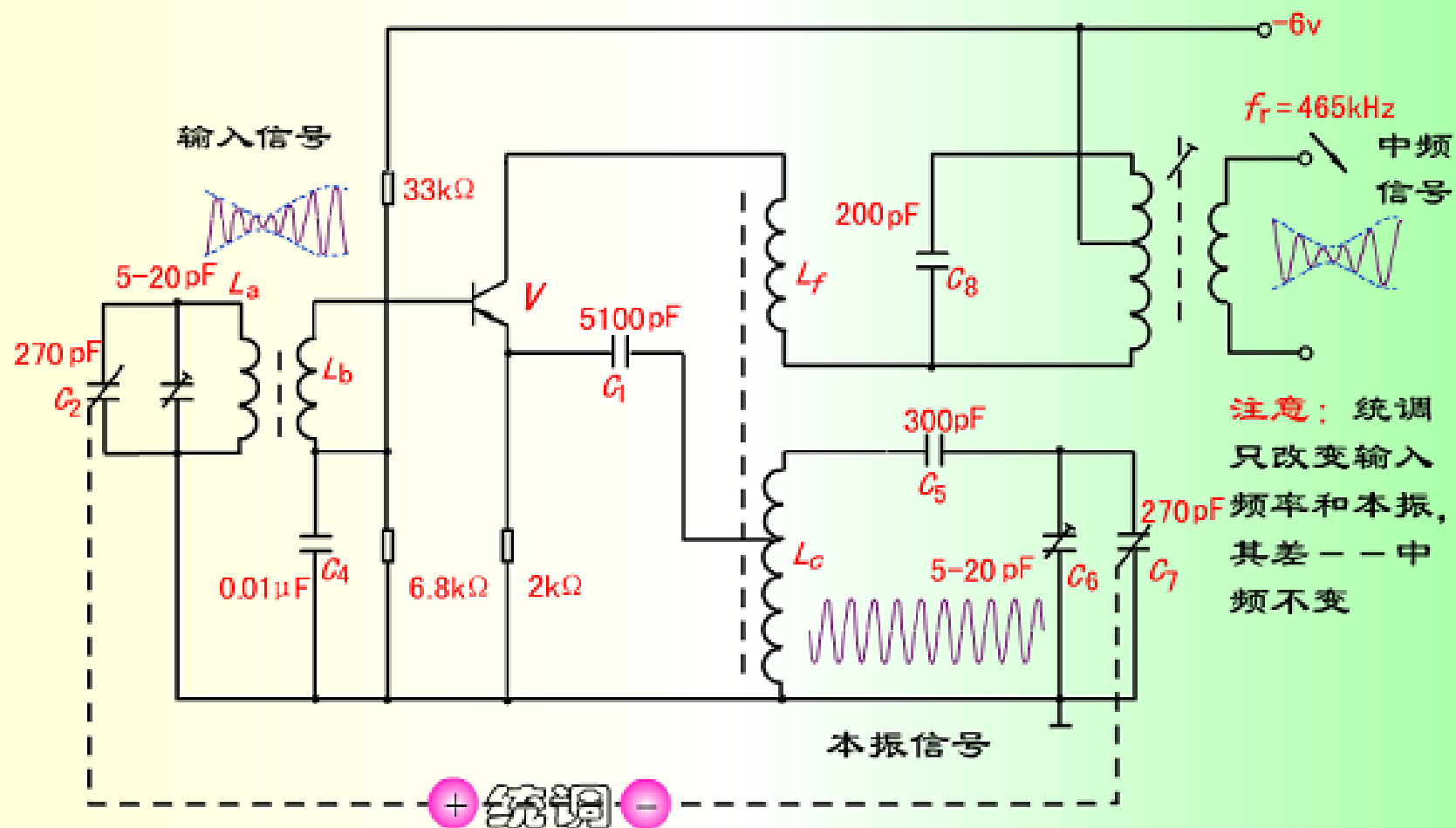


图7-6 (b) 晶体管自激式变频器



自激式的特点：本振和混频由一只晶体管承担



晶体管自激式变频器



7.5 超外差接收机的统调与跟踪

在超外差接收中，为了调谐方便，希望高频调谐回路（输入回路、高放回路）与本振回路，实行统一调谐。即通常采用的每波段中最低到最高频率的调谐，由同轴可变电容器进行，而改变波段则采用改变固定电感的方法。由于高频调谐回路和本振回路的波段系数 K_d 不同，例如，某分段波的最低频率 $f_{\min} = 535\text{kHz}$ ，而最高频率 $f_{\max} = 1605\text{ kHz}$ ，则高频回路的波段覆盖系数为

$$K_d = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}} = 3$$

当中频选用465kHz时，如用容量相同的可变电容，则本振波段将从最低频率

$$f_{L\min} = 535 + 465 = 1000\text{kHz}$$

变化到最高频率

$$f_{L\max} = 3 \times f_{L\min} = 3000\text{kHz}$$

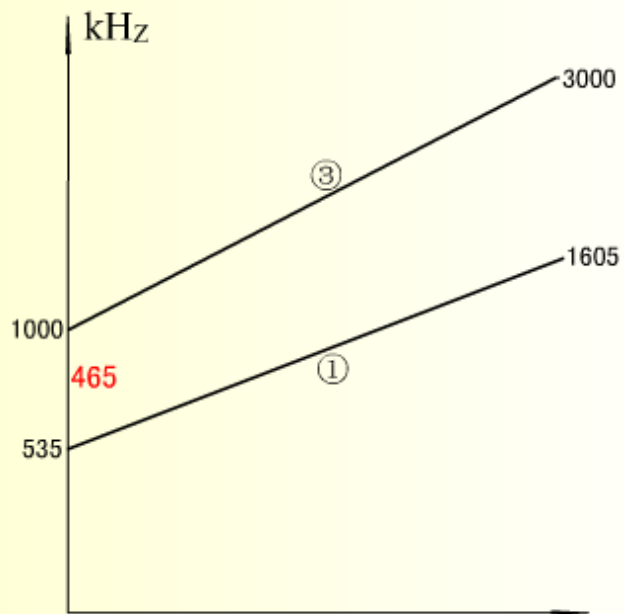
而要求的最高频率应

$$= 1605 + 465 = 2070\text{kHz}$$

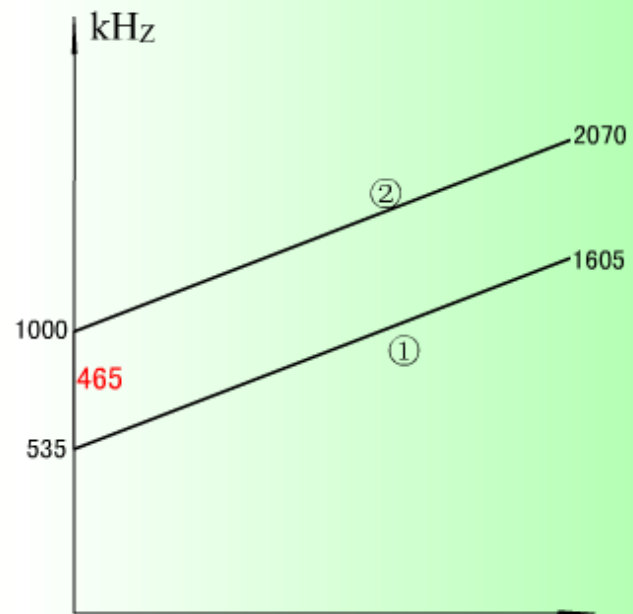
这说明除最低频率处满足中频 465kHz 外，在波段其他频率处均不是 465kHz，

也就是只有一点跟踪，我们可以用图7-9电容与频率关系来说明这种情况。

为使统调要求能基本满足，而又不使电路太复杂，目前都在本振回路上采取措施，这种方法称为三点统调或称三点跟踪。



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

图7-9 电容与频率的关系

yhz/wxq

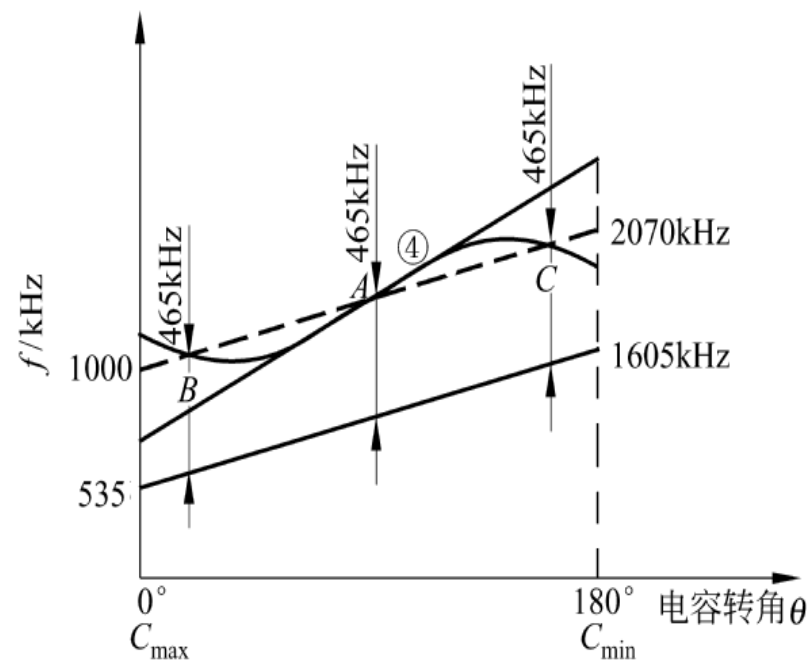
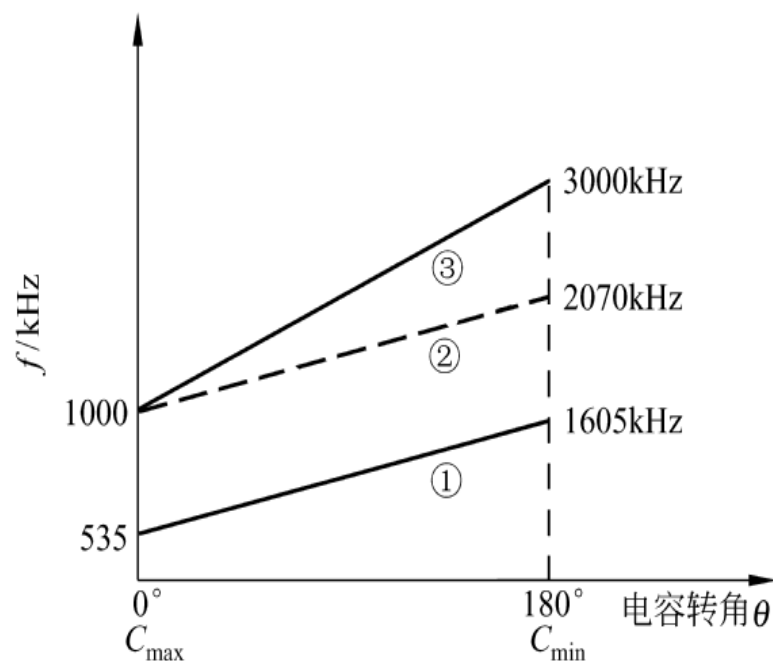
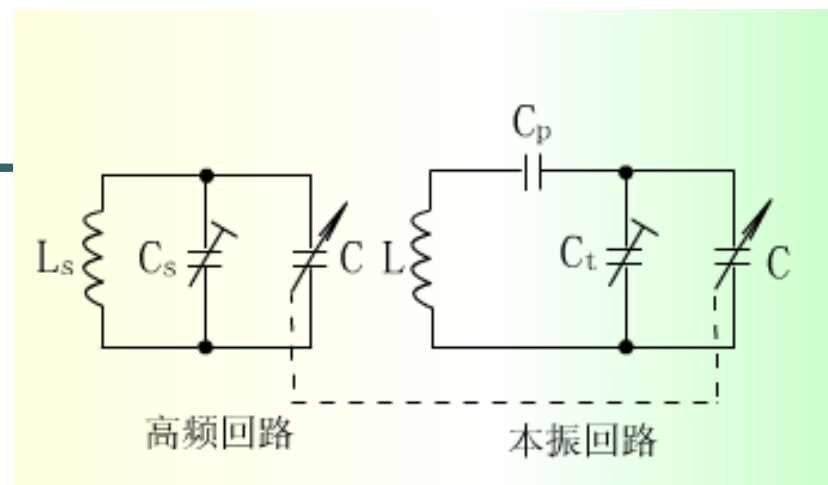
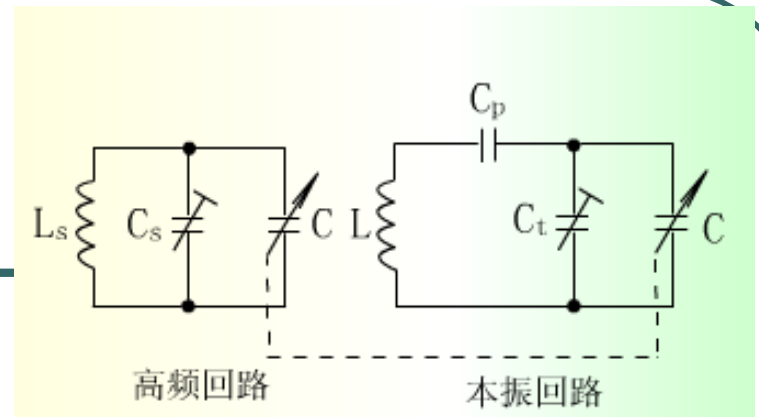


图7-9 电容与频率关系

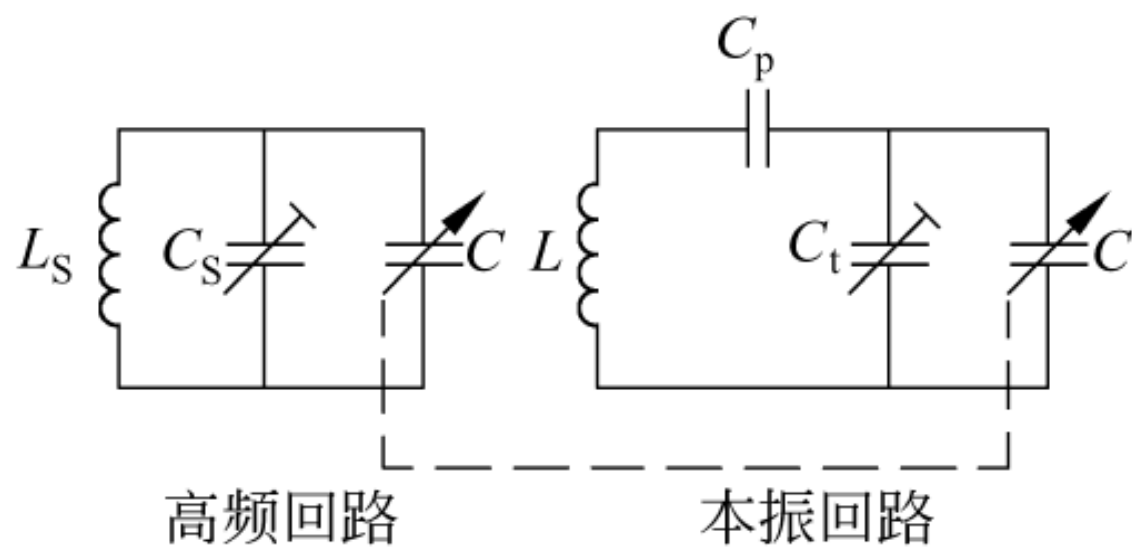
为了满足三点统
调，在本振回路上必须
附加电容，如图示。



通常，本振回路附加串联电容 C_p ， C_p 称为垫整电容，其容量较大，与 C_{\max} 的容量相近，还附加并联电容 C_t ， C_t 称为垫补电容，其容量较小，与 C_{\min} 的容量相近。



- 在本振频率高频端， $C = C_{\min}$ ，由于 C_t 与 C_{\min} 相近，使总的电容增大，所以使高频本振频率降低。
- 在本振频率低频端， $C = C_{\max}$ ， C_t 的并联作用可忽略。串联 C_p 后，使总的电容减少，所以使低端本振频率提高。这样就达到了三点统调的目的。



7.7 变频干扰及其抑制方法

一、组合频率干扰

由于变频器使用的是非线性器件，而且工作在线性状态。流经变频管的电流不仅含有直流分量、信号频率 f_S 、本振频率 f_L 成分，还含有信号、本振频率的各次谐波，以及它们的和、差频等组合频率分量，如

$3f_L, 3f_S, 2f_S - f_L, 2f_L - f_S$ 等，即含有 $\pm mf_L \pm nf_S$ 分量。当这些组合频率分量中的某些分量等于或接近中频时，就能进入中频放大器，经检波器输出产生对有用信号的干扰。

$$\left. \begin{aligned} mf_L - nf_s &\approx f_I \\ -mf_L + nf_s &\approx f_I \end{aligned} \right\} \quad (7-9)$$

- 当组合频率符合式（7-9）关系时，就可以在输出端形成干扰甚至产生哨叫，这种干扰就叫组合频率干扰。例如本振频率=1396kHz，有用信号频率=931kHz，两者的差拍频率是中频=465kHz。

-
- 但信号频率的二倍频 $= 1862\text{kHz}$ 与本振频率的差拍频率为 $1862 - 1396 = 466\text{kHz}$ ，显然这个差频能被中频放大器放大，并与标准中频同时加入到检波器，由于检波器也是非线性元件，故有 $466 - 465 = 1\text{kHz}$ 低频通过低放产生哨叫，干扰正常通信。

减弱组合频率干扰的方法有三种

- ① 适当选择变频电路的工作点，尤其是 u_L 不要过大；
- ② 输入信号电压幅值不能过大，否则谐波幅值也大，使干扰增强；
- ③ 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。

二、副波道干扰

- 副波道干扰是一种其频率为 f_n 的外来干扰，如果频率为 f_n 的干扰信号作用到混频器的输入端，它与本振信号频率如满足下面关系：

$$\pm mf_L \pm nf_n \approx f_I$$

式中， m 为本振信号频率的谐波次数， n 为干扰信号频率的谐波次数。

这时，干扰信号就会进入中频放大器，经解调器输出将产生干扰和哨叫。

可能产生的干扰频率可由下式确定

$$f_n = \frac{1}{n} (mf_L \pm f_I) \quad (7-10)$$

这类干扰主要有中频干扰、镜频干扰和组合副波道干扰。

1. 中频干扰

当干扰信号频率 $f_n = f_I$ 时（即 $m=0$, $n=1$ ），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，从而产生干扰。

对中频干扰的抑制方法-----主要是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。

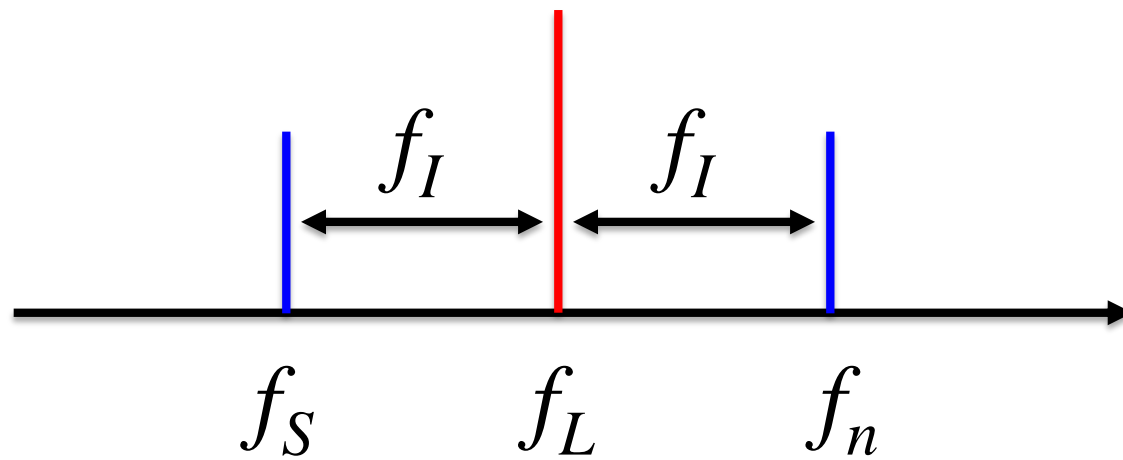
2. 镜频干扰

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？

$$1930 - 1465 = 465\text{kHz}$$

当 $f_n = f_L + f_I$, 相应的干扰电台频率等于本振频率 f_L 与中频 f_I 之和。



$$f_n = f_L + f_I = f_S + 2f_I \quad (\text{即 } m=n=1)$$

- 如果将 f_L 所在的位置比作一面镜子，则 f_s 与 f_n 分别位于 f_L 的两侧，且距离相等，互为镜像，故称为镜频干扰，又称为镜像干扰。
- 抑制它的主要方法是提高变频级前电路的选择性。

3. 组合副波道干扰

除上述两种情况外，在式（7-10）中，
当 $m \geq 1, n > 1$ （例如， $m = n = 2$ ，则对应
 $2f_n = 2f_L \pm f_I$ ）均称为组合副波道干扰。

$$2f_n - 2f_L = 2f_n - 2(f_s + f_I) = \pm f_I$$

$$2f_n = 2(f_s + f_I) \pm f_I$$

$$\left. \begin{aligned} f_{n1} &= f_s + \frac{1}{2} f_I \\ f_{n2} &= f_s + \frac{3}{2} f_I \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} f_{n1} &= f_s + \frac{1}{2} f_I \\ f_{n2} &= f_s + \frac{3}{2} f_I \end{aligned} \right\} \quad m = n = 2$$

- 例如， $f_s=660\text{kHz}$ ， $f_L=1125\text{kHz}$ 时，
 $(f_I=465\text{kHz})$ 对应的二次组合干扰频率
 代入式（7-11）中，
- 可算出 $f_{n1}=892.5 \text{ kHz}$ ， $f_{n2}=1357.5 \text{ kHz}$ 。

三、交调和互调干扰

1. 交调干扰

交调干扰就是当接收机接收的信号和干扰信号同时作用于接收机的输入端时，由接收机中高放管或混频管转移特性的非线性而形成的干扰。

抑制交调干扰的方法-----必须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；其次可以通过适当选择晶体管工作点电流的方法得到。

2. 互调干扰

互调干扰是两个或多个干扰电压加到接收机高放级或变频级的输入端，由于晶体管的非线性作用，相互混频。如果混频后产生的频率接近所接收的信号频率 ω_s

（对变频级来说，即为 ω_I ），就会形成干扰，这就是互调干扰。

互调频率为： $\pm mf_{n1} \pm nf_{n2}$

互调阶数（指两个频率谐波次数之和）为： $m + n$

问题：试分析下列现象：

在一超外差式广播收音机中，中频频率 $f_I = f_L - f_S$ 。
试分析下列现象属于何种干扰？又是如何形成的？

(1) 当听到频率931kHz的电台播音时，伴有音调约1kHz的哨叫声；

(2) 当收听频率550kHz的电台播音时，听到频率为1480kHz的强电台播音；

(3) 当听到频率1480kHz的电台播音时，听到频率为740kHz的强电台播音。

