

第7章 变频器

7.1 本章重点和难点

1. 本章重点

- (1) 进行变频的原因；
- (2) 变频器的基本原理及数学分析；
- (3) 晶体三极管变频电路的基本原理、工作状态选择及应用举例；
- (4) 变频干扰。

2. 本章难点

- (1) 三点统调；
- (2) 变频干扰。

7.2 内容要点

7.2.1 概述

在通信技术中,经常需要将信号自某一频率变换为另一频率,一般用得较多的是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。例如:在超外差接收机中,常将天线接收到的高频信号(载频位于 $535\sim 1605\text{kHz}$ 中波波段各电台的普通调幅信号)通过变频,变换成 465kHz 的中频信号,完成这种频率变换的电路称变频器。又如:在超外差式广播接收机中,把载频位于 $88\sim 108\text{MHz}$ 的各调频台信号变换为中频为 10.7MHz 的调频信号。再如:把载频位于四十几兆赫至近千兆赫频段内的各电视台信号变换成中频为 38MHz 的视频信号。

1. 进行变频的原因

采用变频器后,接收机的性能将得到提高。

- (1) 有利于放大；
- (2) 可以使电路结构简化；
- (3) 有利于选频。

变频电路框图如图 7-1 所示。它是将输入调幅信号 $u_s(t)$ 与本振信号(高频等幅信号) $u_1(t)$ 同时加到变频器,经频率变换后通过滤波器,输出中频调幅信号 $u_i(t)$ 。

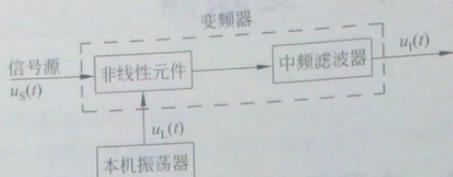


图 7-1 变频电路框图

2. 变频波形图

$u_1(t)$ 与 $u_s(t)$ 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 ,变频器输入输出波形图如图 7-2 所示。

3. 变频器的组成

(1) 非线性元件,如二极管、三极管、场效应管和模拟乘法器等;

(2) 产生 $u_1(t)$ 的振荡器,通常称为本地振荡,振荡频率为 ω_L ;

(3) 中频滤波器。

振荡信号可以由完成变频作用的非线性器件(如三极管)产生,也可以由单设的振荡器产生。前者叫变频器(或称自激式变频器),后者叫混频器(或称他激式变频器)。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。

7.2.2 变频器的基本原理

变频的作用是将信号频率自高频搬移到中频,也是信号频率搬移过程。经过变频后将原来输入的高频调幅信号在输出端变换为中频调幅信号,两者相比较只是把调幅信号的频率从高频位置移到了中频位置,而各频谱分量的相对大小和相互间距离保持一致。值得注意的是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。

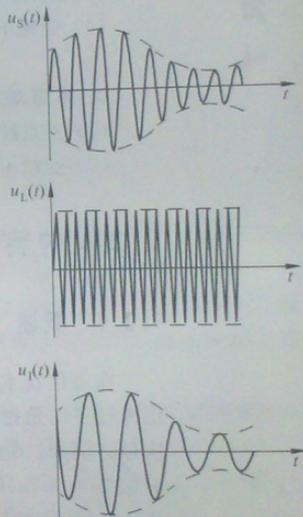


图 7-2 变频器输入输出波形图

1. 变频前后的频谱图

变频前后的频谱图如图 7-3 所示。

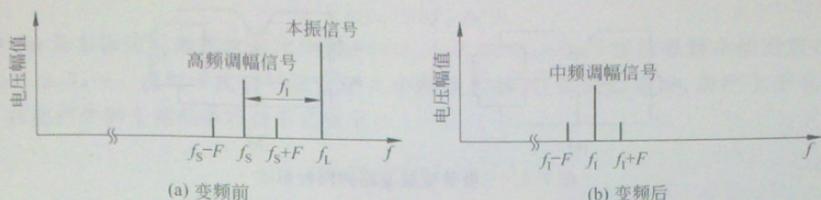


图 7-3 变频前后的频谱图

2. 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

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

其中

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

对式(7-1)近似取前三项, 则

$$\begin{aligned} i &= a_0 + a_1 [u_S(t) + u_L(t)] + a_2 [u_S(t) + u_L(t)]^2 \\ &= a_0 + a_1 (U_{Sm} \cos \omega_S t + U_{Lm} \cos \omega_L t) + \frac{a_2}{2} (U_{Sm}^2 + U_{Lm}^2) \\ &\quad + \frac{a_2}{2} (U_{Sm}^2 \cos 2\omega_S t + U_{Lm}^2 \cos 2\omega_L t) \\ &\quad + a_2 U_{Sm} U_{Lm} [\cos(\omega_S + \omega_L)t + \cos(\omega_S - \omega_L)t] \end{aligned}$$

由以上分析知, 由于电路元件的伏安特性包含有平方项, 在 $u_S(t)$, $u_L(t)$ 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_1 , 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。

7.2.3 晶体三极管变频电路

1. 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, 一般有两种典型的电路形式。图 7-4(a) 所示为本振由基极注入, 图 7-4(b) 所示为本振信号由发射极注入。

2. 三极管变频电路

实际中有两种常用的三极管变频电路, 一种是自激式变频电路, 另一种是他激式变频

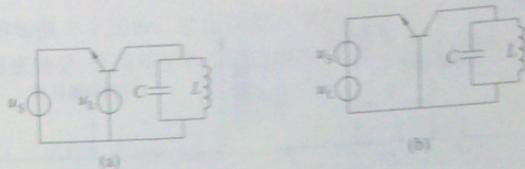


图 7-4 三极管变频电路的两种形式

电路,也叫混频器。

7.2.4 变频干扰

1. 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、本振频率成分,还含有信号、本振频率的各次谐波,以及它们的和频、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。

在实际中,能否形成干扰取决于两个条件:一是是否满足一定的频率关系;二是满足一定频率关系的分量的幅值是否较大。从减弱和抑制干扰来讲,也应从这两方面入手。

如果本振频率 f_L 大于中频频率 f_i ,而频率又不可能是负值,则只有下述两种情况构成对信号的干扰,即

$$\left. \begin{aligned} mf_L - nf_s &\approx f_i \\ -mf_L + nf_s &\approx f_i \end{aligned} \right\} \quad (7-2)$$

当组合频率符合式(7-2)的关系时,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 $f_L = 1396\text{kHz}$,有用信号频率 $f_s = 931\text{kHz}$,两者的差拍频率是中频 $f_i = f_L - f_s = 465\text{kHz}$ 。但信号频率的二倍频 $2f_s = 1862\text{kHz}$ 与本振频率的差拍频率为 $2f_s - f_L = 466\text{kHz}$,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 $466 - 465 = 1\text{kHz}$ 的低频通过低放产生哨叫,干扰正常通信。

通常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。

2. 副波道干扰

副波道干扰是一种频率为 f_i 的外来干扰,如果频率为 f_i 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:

$$\pm m f_L \pm n f_n \approx f_1$$

式中： m 为本振信号频率的谐波次数， $m=0,1,2,3,\dots$ ； n 为干扰信号频率的谐波次数， $n=0,1,2,3,\dots$ 。这时干扰信号就会进入中频放大器，经解调器输出，将产生干扰和啸叫。可能产生的干扰频率可由下式确定：

$$f_n = \frac{1}{n}(m f_L \pm f_1) \quad (7-3)$$

副波道干扰是一种频率为 f_n 的外来干扰，当外来干扰信号或其 n 次谐波与本振的 n 次谐波产生差拍符合式(7-3)时，就形成中频。这种干扰好像是绕过了主波道 f_s 而通过另一条通路进入中频电路，所以叫副波道干扰。

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 $f_n=f_1$ 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

当 $m=n=1$ 时，由式(7-3)可知， $f_n=f_L+f_1=f_s+2f_1$ ，相应的干扰电台频率等于本振频率 f_L 与中频 f_1 之和。由图7-3所示频率关系可见，有用信号频率 f_s 比本振信号频率 f_L 低一个中频频率 f_1 。如果将 f_L 所在的位置比作一面镜子，则 f_n 与 f_s 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。抑制镜频干扰的方法是提高变频器前面各级电路的选择性和提高中频 f_1 ，由于 f_1 提高， f_s 与 f_n 之间的频率间隔 $2f_1$ 加大，有利于对 f_n 的抑制。

(3) 组合副波道干扰

除上述两种情况外，在式(7-3)中，当 $m \geq 1, n > 1$ (例如： $m=n=2$ ，则 $2f_n=2f_L \pm f_1$)时，均称为组合副波道干扰。

因为 $2f_n-2f_1=2f_n-2(f_s+f_1)=\pm f_1$ ，所以有两种频率的信号可能产生组合副波道干扰，这两种频率为

$$\left. \begin{aligned} f_{n1} &= f_s + \frac{1}{2}f_1 \\ f_{n2} &= f_s + \frac{3}{2}f_1 \end{aligned} \right\} \quad (7-4)$$

当干扰信号进入变频器时，这些干扰信号与本振对应的谐波频率构成和、差频，形成一系列干扰源。

3. 交调和互调干扰

有些干扰信号频率不满足式(7-4)的关系，不能和本振及其谐波产生等于中频的和、差频，但由于器件的非线性，仍有可能产生干扰作用。根据干扰形成原因的不同，它可分为交叉调制(简称交调)干扰和互相调制(简称互调)干扰。由于晶体管的动态线性区域小，比电子管、场效应管更易呈现非线性，所以这类干扰更严重。

(1) 交调干扰

交调干扰就是当接收机接收的电台信号和干扰台的信号同时作用于接收机的输入端时,由接收机中高频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是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 I_c 的方法得到,因为晶体管转移特性存在着一个三次项最小的区域。

(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频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_1),就会形成干扰,这就是互调干扰。

假设两干扰电压为

$$\left. \begin{aligned} u_{n1} &= U_{n1} \cos \omega_{n1} t \\ u_{n2} &= U_{n2} \cos \omega_{n2} t \end{aligned} \right\} \quad (7-5)$$

相互混频后产生的互调频率为

$$\pm m f_{n1} \pm n f_{n2} = f_s \quad (7-6)$$

式中, m, n 分别为干扰 U_{n1}, U_{n2} 的谐波次数。

抑制互调干扰的方法与抑制交调干扰的方法相同。

7.2.5 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为 2070kHz ($1605 + 465 = 2070 \text{kHz}$)。这说明除最低频率 $f_{L\min}$ 处满足中频为 465kHz 外,在波段其他频率处均不是 465kHz ,也就是只有一点跟踪。

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。

7.2.6 用模拟乘法器构成的混频器

用 MC1596G 构成的双平衡混频器,如图 7-5 所示。它具有宽带输入,其输出调谐在 9MHz ,回路带宽 450kHz ,本振输入电平 100mV ,对于 30MHz 信号和 39MHz 本振输入,混频器变频增益为 13dB 。当输出信噪比为 10dB 时,输入信号灵敏度为 $7.5 \mu\text{V}$ 。

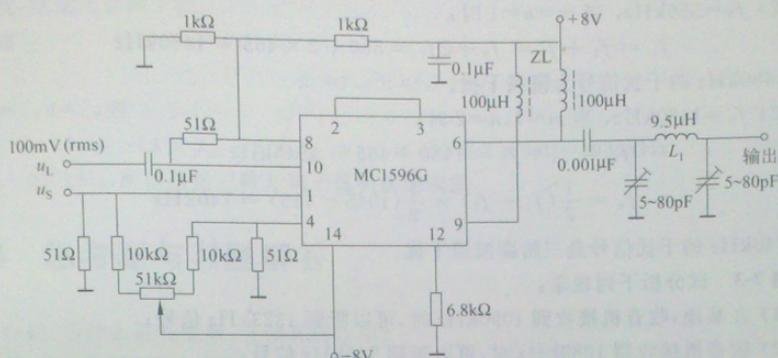


图 7-5 用 MC1596G 构成的混频器

7.3 典型例题分析

例 7-1 为什么超外差收音机的本振回路中又串电容又并电容?

答 为了满足三点统调,在本振回路上必须附加电容,如图例 7-1 所示。

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_i , C_i 称为垫补电容,其容量较小,与 C_{\min} 的容量相近。这样,在本波段中间一点要求的本振频率,可以由可变电容中间位置的值(考虑 C_p 和 C_i 的作用)和电感 L 确定。

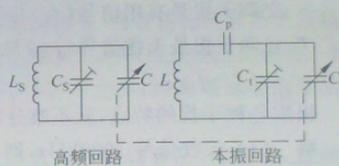
在本振频率高频端, $C=C_{\min}$, 由于 C_i 与 C_{\min} 相近,使总的电容增大,所以使高频本振频率 f_L 降低。在本振频率低频端 $C=C_{\max}$, C_i 的并联作用可忽略。串联 C_p 后,使总的电容 C 减少,所以使低端本振频率 f_L 提高。这样就达到了三点统调的目的。

例 7-2 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? 又是如何形成的? (1)当听到频率 $f_s=931\text{kHz}$ 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) $f_s=931\text{kHz}$, $f_i=465\text{kHz}$, $f_L=f_s+f_i=1396\text{kHz}$, 但信号频率的二倍频 $2f_s=1862\text{kHz}$ 与本振频率的差拍频率为

$$f_{nl}=2f_s-f_L=1862-1396=466\text{kHz}$$

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 $466-465=1\text{kHz}$ 的低频通过低放产生哨叫,干扰正常通信。



图例 7-1 三点统调

(2) $f_s=550\text{kHz}$, 当 $m=n=1$ 时:

$$f_n = f_L + f_1 = f_s + 2f_1 = 550 + 2 \times 465 = 1480\text{kHz}$$

所以 1480kHz 的干扰信号为镜频干扰。

(3) $f_s=1480\text{kHz}$, 当 $m=1, n=2$ 时:

$$f_L = f_s + f_1 = 1480 + 465 = 1945\text{kHz}$$

$$f_n = \frac{1}{2}(f_L - f_1) = \frac{1}{2}(1945 - 465) = 740\text{kHz}$$

所以 740kHz 的干扰信号是三阶副波道干扰。

例 7-3 试分析下列现象:

(1) 在某地, 收音机接收到 1090kHz 时, 可以听到 1323kHz 信号;

(2) 收音机接收到 1080kHz 时, 可以听到 540kHz 信号;

(3) 收音机接收到 930kHz 时, 可以同时收到 690kHz 和 810kHz 信号, 但不能单独收到其中的一个台(例如, 另一个台停播)。

分析: 在题中列出的三种现象可能的解释为干扰哨声、副波道干扰、交调干扰和互调干扰。这些干扰的产生都是由于混频器中的非线性作用, 产生出接近中频的组合频率对有用信号形成的干扰。从干扰的形成(参与组合的频率)可以将这四种干扰分开:

- 干扰哨声是有用信号(f_s)与本振信号(f_L)的组合形成的干扰;
- 副波道干扰是由干扰信号(f_n)与本振信号(f_L)的组合形成的干扰;
- 交调干扰是有用信号(f_s)与干扰信号(f_n)的作用形成的干扰, 它与信号并存;
- 互调干扰是干扰信号(f_{n1})与干扰信号(f_{n2})组合形成的干扰, 有频率关系 $f_s - f_{n1} = f_{n2}$ 。

根据各种干扰的特点, 就不难分析出题中三种现象, 并分析出形成干扰的原因。

解 (1) 接收信号 1090kHz , 则 $f_s=1090\text{kHz}$, 那么收听到的 1323kHz 的信号就一定干扰信号, 因此 $f_n=1323\text{kHz}$, 可以判断这是副波道干扰。由于 $f_s=1090\text{kHz}$, 收音机中频 $f_1=465\text{kHz}$, 则 $f_L + f_s + f_1 = 1555\text{kHz}$ 。又由于

$$2f_L - 2f_n = 2 \times 1555 - 2 \times 1323 = 3110 - 2646 = 464\text{kHz} \approx f_1$$

因此, 这种副波道干扰是一种四阶干扰, $m=2, n=2$ 。

(2) 接收 1080kHz 信号, 听到 540kHz 信号, 因此, $f_s=1080\text{kHz}$, $f_n=540\text{kHz}$, $f_L = f_s + f_1 = 1545\text{kHz}$, 这是副波道干扰。

由于

$$f_L - 2f_n = 2 \times 1545 - 2 \times 540 = 1545 - 1080 = 465\text{kHz} = f_1$$

因此这是三阶副波道干扰, $m=1, n=2$ 。

(3) 接收 930kHz 信号, 同时收到 690kHz 和 810kHz 信号, 但又不能单独收到其中的一个台。这里 930kHz 信号是有用信号的频率, 即 $f_s=930\text{kHz}$; 690kHz 和 810kHz 信号应为两个干扰信号, 即 $f_{n1}=690\text{kHz}$, $f_{n2}=810\text{kHz}$ 。有两个干扰信号同时存在, 可能性最大的是互调干扰。考察两个干扰频率与信号频率之间的关系, 很明显, 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_1), 就会形

成干扰,这就是互调干扰。

由

$$\pm m f_{n1} \pm n f_{n2} = f_s$$

取 $m=1, n=2$, 则

$$-1 \times f_{n1} + 2 \times f_{n2} = -1 \times 690 + 2 \times 810 = 930 \text{ kHz}$$

即 $f_s=930 \text{ kHz}$, 所以这是三阶互调干扰引起的现象。

7.4 思考题与习题解答

7-1 为什么进行变频,变频有何作用?

答 1. 采用变频的原因如下:

(1) 变频器将信号频率转换成中频,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是有困难的,而对于某一固定频率选择性可以做得很好(有利于选频);

(3) 在专用接收机中,频率是固定的,而作为超外差接收机频率是变的,但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。

2. 变频的作用是将信号频率自高频搬移到中频,也是信号频率搬移过程。经过变频后将原来输入的高频调幅信号,在输出端变换为中频调幅信号,两者相比较只是把调幅信号的频率从高频位置移到了中频位置,而各频谱分量的相对大小和相互间距离保持一致。值得注意的是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。

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,选择性好的,所以采用变频器后,接收机的性能将得到提高。

7-2 变频作用如何产生?为什么要用非线性元件才能产生变频作用?变频与检波有何相同点与不同点?

答 变频器通过非线性元件才能产生变频作用。由于变频器工作在非线性状态,在输出端可获得所需的中频信号。

变频与检波的相同点:都是由非线性元件和滤波器组成。

变频与检波的不同点:检波用低通滤波器,变频用带通滤波器。

7-3 混频和单边带调幅有何不同?

答 相同点:都是两个不同频率的信号相乘,选取其和频或差频。

不同点:(1)单边带调幅的和频与差频相对频差一般很小,而混频的和频与差频相对频差一般很大;(2)单边带调幅滤波容易,而混频滤波困难。

7-4 变频器与混频器有什么异同点,各有哪些优缺点?

答 振荡信号可以由完成变频作用的非线性器件(如三极管)产生,也可以由单设振荡器产生。前者叫变频器(或称自激式变频器),后者叫混频器(或称他激式变频器)。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。

7-5 对变频器有什么要求? 其中哪几项是主要质量指标?

答 对变频器的要求如下:

(1) 变频器增益要大。

变频增益有电压增益(用 K_{VC} 表示)和功率增益(用 K_{PC} 表示)两种。

变频器电压增益

$$K_{VC} = \frac{\text{中频输出电压}}{\text{高频输入电压}} = \frac{U_I}{U_S}$$

变频功率增益

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

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 20~30dB, 电视接收机中 K_{VC} 为 6~8dB。

(2) 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。

(4) 非线性失真要小。

所以在设计和调整电路时, 应尽量减小失真及干扰。

(5) 噪声系数要小。

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。

变频器的主要质量指标是变频器增益要大; 要求输出回路具有良好的选择性, 工作稳定性良好。

7-6 设非线性元件的伏安特性是

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$$

用此非线性元件作变频器件, 若外加电压为

$$u = U_0 + U_{sm}(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_s t + U_{Lm} \cos \omega_L t$$

求变频后中频($\omega_1 = \omega_L - \omega_s$) 电流分量的振幅。

答 $a_2 U_{sm} U_{Lm}$ 。

7-7 在超外差收音机中, 一般本振频率 f_L 比信号频率 f_s 高 465kHz。试问, 如果本振频率 f_L 比 f_s 低 465kHz, 收音机能否接收, 为什么?

答 收音机能接收, 调谐在中频 465kHz 即可。

7-8 根据什么原则选择混频电路?

答 自激式变频电路本振和混频由一只三极管承担, 可节省管子。但由于中频电流通过反馈线圈 L_f 会引起中频负反馈, 如设计不当, 就会使变频增益降低。因此一般工作频率较高的接收机采用混频器。

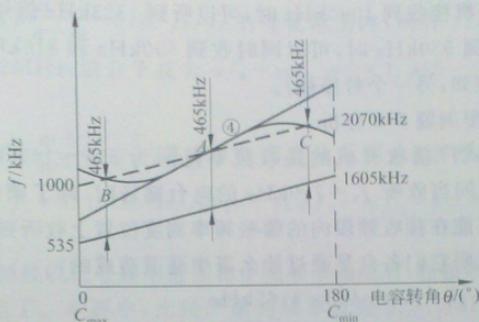
在工作频率不太高时, 可选用相乘混频器, 而在工作频率很高时, 可选用二极管环形混频电路。

在特性指标要求不高,又要求造价低时,可采用分立元件单管混频电路。因为它将会产生许多无用频率成分,容易形成干扰。

7-9 为什么超外差收音机的本振回路中又串电容又并电容?

答 详见本章典型例题 7-1 分析。

7-10 试画出超外差接收机的三点跟踪曲线和三点跟踪示意图。



图题 7-10 三点跟踪曲线示意图

7-11 若想把一个调幅收音机改成能够接收调频广播,同时又不打算作大的变动,而只是改变本振频率,你认为可以吗?并说明原因。

答 可以。这是由于变频器只是将信号频谱自高频搬移到中频,而各频谱分量的相对位置则保持不变,所以调频接收机与调幅接收机的变频器电路结构是完全相同的。

7-12 变频器有哪些干扰?如何抑制?

答 变频干扰有组合频率干扰、副波道干扰(这类干扰主要有中频干扰、镜频干扰和组合副波道干扰)、交调和互调干扰。

通常抑制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 $u_1(t)$ 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。

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。

对镜频干扰的抑制方法是提高变频器前面各级电路的选择性和提高中频 f_1 ,由于 f_1 提高, f_s 与 f_a 之间的频率间隔 $2f_1$ 加大,有利于对 f_a 的抑制。

抑制交调和互调干扰的方法是:

(1) 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;

(2) 可以通过适当选择晶体管工作点电流 I_c 的方法得到,因为晶体管转移特性存在着一个三次项最小的区域。

7-13 在一超外差式广播收音机中,中频频率 $f_1 = f_1 - f_s = 465 \text{ kHz}$ 。试分析下列现象属于何种干扰?又是如何形成的?(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 详见本章典型例题 7-2 分析。

7-14 试分析下列现象：

(1) 在某地，收音机接收到 1090kHz 时，可以听到 1323kHz 信号；

(2) 收音机接收到 930kHz 时，可以同时收到 690kHz 和 810kHz 信号，但不能单独收到其中的一个台(例如，另一个台停播)。

答 详见本章典型例题 7-3 分析。

7-15 一超外差式广播收音机的接收频率范围为 535~1605kHz，中频频率 $f_1 = f_L - f_s = 465\text{kHz}$ 。试问当收听 $f_s = 700\text{kHz}$ 的电台播音时，除了调谐在 700kHz 频率刻度上能接收到外，还可能在接收频段内的哪些频率刻度位置上收听到这个电台的播音(写出最强的两个)? 并说明它们各自是通过什么寄生通道造成的?

答 (1) $f_L = f_s + f_1 = 700 + 465 = 1165\text{kHz}$

在 $m=n=1$ 时， $f_{n1} = f_L + f_1 = 1165 + 465 = 1630\text{kHz}$ ，这是镜频干扰。

(2) 在 $m=1, n=2$ 时， $f_{n2} = \frac{1}{n}(mf_L + f_1) = \frac{1}{2}(1165 + 465) = 815\text{kHz}$

在 $m=1, n=2$ 时， $f_{n2} = \frac{1}{n}(mf_L - f_1) = \frac{1}{2}(1165 - 465) = 350\text{kHz}$

这是三阶副波道干扰， $m=1, n=2$ 。

7-16 某超外差接收机工作频段为 0.55~25MHz，中频 $f_1 = 455\text{kHz}$ ，本振 $f_L > f_s$ 。试问波段内哪些频率上可能出现较大的组合干扰(六阶以下)。

分析思路：由题中可以看出，除有用信号以外，无其他的干扰信号存在，故这里的组合干扰应是由信号(f_s)和本振(f_L)组合产生的干扰哨声。

如果本振频率 f_L 大于中频频率 f_1 ，而频率又不可能是负值，则只有下述两种情况构成对信号的干扰。即

$$\left. \begin{aligned} mf_L - nf_s &\approx f_1 \\ -mf_L + nf_s &\approx f_1 \end{aligned} \right\}$$

可以推出

$$\frac{f_s}{f_1} \approx \frac{m \pm 1}{n - m}$$

当组合频率符合上式关系时，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。接收信号的频率范围为 0.55~25MHz，中频 $f_1 = 455\text{kHz}$ ，故在接收信号频率范围内的频率变化比 f_s/f_1 是确定的， $f_s/f_1 = 1.2 \sim 55$ 。可知，只要能找到一对 m 和 n ，满足 $\frac{f_s}{f_1} \approx \frac{m \pm 1}{n - m}$ 就可能产生干扰哨声，对有用信号形成干扰。

解 由题目可知，变频比为 $\frac{f_s}{f_1} = 1.2 \sim 55$ ，则只要找到一对 m 和 n ，满足 $f_s/f_1 \approx (m \pm 1)/(n - m)$ ，就会形成一个干扰点。题中要求找出阶数 $m + n \leq 6$ 的组合干扰，则应

是 $m=0,1,\dots,6$ 和 $n=0,1,\dots,6$, 且 $m+n \leq 6$ 的组合。

当 $m=1, n=2$ 时: $\frac{m+1}{n-m}=2$, 在 f_s/f_1 的变化范围内, 则有 $f_s/f_1=2$, 即 $f_s=2f_1=0.910\text{MHz}$, $f_L=1.365\text{MHz}$, 组合干扰 $nf_s - mf_L = 2 \times 0.91 - 1 \times 1.365 = 0.455\text{MHz} = f_1$ 。

当 $m=2, n=3$ 时: $\frac{m+1}{n-m}=3$, 在 f_s/f_1 的变化范围内, 则有 $f_s/f_1=3$, 即 $f_s=3f_1=1.365\text{MHz}$, $f_L=1.82\text{MHz}$, 组合干扰为 $nf_s - mf_L = 3 \times 1.365 - 2 \times 1.82 = 0.455\text{MHz} = f_1$ 。

当 $m=2, n=4$ 时: $\frac{m+1}{n-m}=\frac{3}{2}$, 在 f_s/f_1 的变化范围内, 则有 $f_s/f_1=3/2$, 即 $f_s=3f_1/2=0.6825\text{MHz}$, $f_L=1.1375\text{MHz}$, 组合干扰 $nf_s - mf_L = 4 \times 0.6825 - 2 \times 1.1375 = 0.455\text{MHz} = f_1$ 。

以上分析表明, 当接收信号频率范围和中频频率确定后, 在接收频率范围内形成干扰哨声的频率点就确定了。本题中, 比较严重的频率点是 0.910MHz (三阶), 1.365MHz (五阶) 和 0.6825 (六阶)。

7-17 混频器中晶体三极管在静态工作点上展开的转移特性由下列幂级数表示:

$i_c = I_0 + au_{be} + bu_{be}^2 + cu_{be}^3 + du_{be}^4$ 。已知混频器的本振频率为 $f_L=23\text{MHz}$, 中频频率为 $f_i = f_L - f_s = 3\text{MHz}$ 。若在混频器输入端同时作用着 $f_{M1}=19.6\text{MHz}$ 和 $f_{M2}=19.2\text{MHz}$ 的干扰信号。试问在混频器输出端是否会有中频信号输出? 它是通过转移特性的几次方项产生的?

答 当 $m=2, n=1$ 时, $2f_{M1} - f_{M2} = 2 \times 19.6 - 19.2 = 20\text{MHz} = f_s$, $f_1 = f_L - f_s = 23 - 20 = 3\text{MHz}$, 在混频器输出端有中频信号输出, 这是三阶互调干扰, 它是通过转移特性的三次方项和四次方项产生的。

7-18 某两个电台频率分别为 $f_1=774\text{kHz}$, $f_2=1035\text{kHz}$, 问它们对短波 ($f_s=2 \sim 12\text{MHz}$) 收音机的哪些接收频率将产生三阶互调干扰?

解 当 $m=2, n=1$ 时:

$$2f_1 + f_2 = 2 \times 774 + 1035 = 2.583\text{MHz} = f_s$$

$$2f_1 - f_2 = 2 \times 774 - 1035 = 0.513\text{MHz}$$

当 $m=1, n=2$ 时:

$$f_1 + 2f_2 = 774 + 2 \times 1035 = 2.844\text{MHz} = f_s$$

7-19 某发射机发出某一频率信号, 但打开接收机在全波段寻找 (设无任何其他信号), 发现在接收机上有三个频率 (6.5MHz , 7.25MHz , 7.5MHz) 均能听到对方的信号。其中, 以 7.5MHz 的信号最强。问接收机是如何收到的? 设接收机 $f_1=0.5\text{MHz}$, $f_L > f_s$ 。

解 (1) 因为只有一个发射机发射某一频率的信号, 且在 7.5MHz 频率上信号最强, 所以可判定发射机发送的信号频率为 7.5MHz , 它是将接收机调谐到 7.5MHz 时, 正常接收到的信号。由于发射机发射的信号频率是 7.5MHz , 但在 6.5MHz 和 7.25MHz 收到 7.5MHz 的信号, 这是由于 7.5MHz 信号对 6.5MHz 和 7.25MHz 形成了干扰。

(2) 当接收机调谐到 6.5MHz 时, $f_s=6.5\text{MHz}$, 则 $f_L = f_s + f_1 = 6.5 + 0.5 = 7\text{MHz}$ 。

由于 $f_n = f_L + f_1 = f_s + 2f_1 = 6.5 + 1 = 7.5\text{MHz}$, 这是由于干扰与本振组合形成的干扰, 7.5MHz 为镜频干扰。

(3) 当接收机调谐到 7.25MHz 时, $f_s = 7.25\text{MHz}$, 则 $f_L = f_s + f_1 = 7.25 + 0.5 = 7.75\text{MHz}$ 。当 $m=n=2$ 时, $f_{n1} = f_s + \frac{1}{2}f_1 = 7.25 + \frac{1}{2} \times 0.5 = 7.5\text{MHz}$, 这是由于干扰与本振组合形成的干扰, 为副波道干扰。这里, $m=n=2$, 因而是四阶副波道干扰。

7.5 自测题

1. 填空题

- (1) 变频器的主要技术要求的_____。
- (2) 中频干扰是指_____对接收机形成的干扰, 抑制这种干扰的主要方法有_____。
- (3) 超外差接收机采用变频技术的好处是_____。
- (4) 超外差接收机变频器负载采用_____, 它的作用是_____。
- (5) 一中波收音机, 当听到 1100kHz 的电台信号时, 其本振频率为_____, 能产生镜像干扰的频率是_____。
- (6) 调幅器、同步检波器和变频器都是由非线性器件和滤波器组成, 但所用的滤波器有所不同, 调幅器所用的为_____, 同步检波所用的为_____, 变频器所用的为_____。
- (7) 混频器和变频器的区别_____。
- (8) 调幅收音机中频信号频率为_____, 调频收音机中频信号频率为_____, 电视机中频信号频率为_____。

2. 判断题

- (1) 器件的非线性在放大器应用中是有害的, 在频率变换应用中是有利的。
- (2) 若非线性元件的伏安特性为 $i = a_0 + a_1 u + a_3 u^3$, 不能用来混频。
- (3) 超外差接收机混频器的任务是提高增益, 抑制干扰, 把接收到的各种不同频率的有用信号的载频变换为某一固定中频。

3. 问答题

- (1) 设变频器的输入端除了有用信号 20MHz 外, 还作用了两个频率分别为 19.6MHz 和 19.2MHz 的电压。已知中频为 3MHz , $f_L > f_s$, 问是否会产生干扰? 是哪一种性质的干扰?
- (2) 某接收机工作频段 $f_s = 2 \sim 30\text{MHz}$, 中频 $f_1 = 1.3\text{MHz}$, 本振 $f_L > f_s$ 。现有一频率 $f_n = 7\text{MHz}$ 的干扰信号串入接收机, 试问当接收机在信号频段内调整时, 哪些频率点上收到该干扰信号(四阶及四阶以下)?