



雷 达 技 术 小 丛 書

变 頻 器

M. A. 索柯洛夫著



國防工業出版社

变 頻 器

M. A. 索柯洛夫著

李 黎 譯

內容簡介

本書系苏联軍事出版社出版的“雷達技術小叢書”之

一。

本書通俗易解地闡述了變頻的一般原理；列舉和論證了對工作在超高频帶的混頻器的要求；介紹了在超高频中應用的電子管變頻器和晶體變頻器的原理圖和結構及其工作情況。

、本書可做操作雷達機工作人員的參考書，也可供廣大的希望了解雷達站部件的讀者作參考。

苏联 М. А. Соколов 著 “Преобразователи частоты”
(Военное издательство министерства обороны союз-
за СССР-1957 年第一版)

*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 1/32 印張 3 1/16 64 千字

1959 年 4 月第一版

1959 年 4 月第一次印刷

印數：0,001—7,050 册 定價：(9) 0.33 元

NO. 2915 統一書號 15034·329

73.2

10

001

目 录

变频原理	3
1. 接收机中为什么需要变频	3
2. 变频过程	6
3. 变频参数	11
4. 变频器的固有噪声	20
五极管和三极管变频器	26
1. 五极管变频器	26
2. 三极管变频器	37
3. 米波和分米波段变频器的本机振荡器	43
二极管变频器 (电子管变频器和晶体变频器)	54
1. 二极管电子管变频器	54
2. 晶体变频器	58
3. 晶体变频器的结构	67
4. 厘米波段变频器的本机振荡器	86
一般结论	97

变 頻 器

M. A. 索柯洛夫著

李 黎 译

目 录

变频原理	3
1. 接收机中为什么需要变频	3
2. 变频过程	6
3. 变频参数	11
4. 变频器的固有噪声	20
五极管和三极管变频器	26
1. 五极管变频器	26
2. 三极管变频器	37
3. 米波和分米波段变频器的本机振荡器	43
二极管变频器 (电子管变频器和晶体变频器)	54
1. 二极管电子管变频器	54
2. 晶体变频器	58
3. 晶体变频器的结构	67
4. 厘米波段变频器的本机振荡器	86
一般结论	97

变频原理

1 接收机中为什么需要变频

谈到接收机中的变频，所指的是这样的一种过程：两个不同频率的电压共同作用于非线性元件，结果产生出一种具有新频率的电振荡，其频率通常等于这两个电压（或其谐波）的频率之差。作为这种非线性元件的，可以是电子管、晶体二极管或三极管以及电流和所加电压具有非线性关系的其它器件。用作变频的非线性元件，即在其上加以两个不同频率的电压，并从其中取得新频率电压的非线性元件，和接在它电路中的振荡槽路或波导系统所组成的装置称为变频器或混频器。

在接收机中，在变频器的输入端加上频率为 f_s 的信号电压和频率为 f_r 的本机振荡器电压。在变频器输出端得出与调制信号变化规律相同的电压，其频率通常等于 $f_r - f_s$ 或 $f_s - f_r$ ，这个频率称为中频 f_m 。

中频比信号频率低得多。尤其在以短于 3 厘米的波长工作的雷达站接收机中；所用中频等于信号频率和本机振荡器二次谐波或三次谐波频率之差。

信号在其中经过变频过程的接收机称为超外差式接收机。超外差式接收机的典型方框图示于图 1。

由于所收信号经过变频成为低得多的中频，因而就可能得到所需的放大系数和选择性。

例如，为了正常地接收电压在接收地点为数微伏的微弱

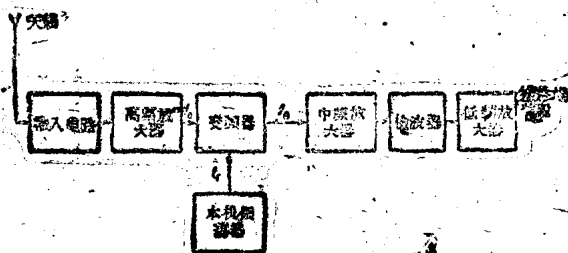


圖 1 超外差式接收機方框圖。

电磁振荡，接收机应具有約为百万倍的放大系数。在現代的技术条件下，不可能在超高频上实现这样高的放大，因为这样的放大器，其工作是不稳定的。

在所接收信号的頻率很高时，很难，有时甚至不可能保証很高的選擇性。例如，單振荡槽路在 0.7 电平上的通頻带为

$$2\Delta f = \frac{f_p}{Q_R}$$

式中 f_p ——諧振頻率；

Q_R ——槽路的品質（質量）因數。

在接收机中，放大器槽路被前一級和后一級所旁路。因此这种槽路的等效品質因數总是小于未被旁路的槽路。另外槽路品質因數还随着頻率的增高而变坏，因为随着頻率的增長，引入槽路的損耗就要增加。

这就是說，頻率越高，接收机电路中的放大器槽路的通頻带就越大。

因此，为了在信号頻率上得到高的選擇性，不得不采用很复杂的滤波器作为接收机的諧振系統，或是采用很多的單振荡槽路級，这就会使得工作不稳定。例如，在波長 $\lambda = 3$ 米时，振荡槽路的等效品質因數不超过 100。这个数值相应于

通頻帶 $2\Delta f = 1$ 兆赫。如果有一个远程警戒雷达站以这一波長工作，其通頻帶为 0.25 兆赫，那末，为了在信号頻率上得到所需的選擇性，就需要小几个板路中具有單諧振槽路的高頻放大級。

在分米波和厘米波波段，要在信号頻率系統內得到較高的選擇性，根本是不可能的。

在中波和短波收音机中，在所接收信号的波長上得到很大的放大是完全可能的，但不一定都能得到很高的選擇性。

如果不采用变频，那末，为了在檢波器輸入端能有 1 伏左右的电压（为无失真檢波所需的电压），每当所接收信号的頻率变动时，都需要将所有高頻放大級調到信号頻率上。这就会产生很大的結構方面的困难。在这样調諧接收机的情况下，每当在所收波段中由一个波長轉換为另一波長时，放大率和通頻帶，即接收机的主要参数，就不可避免地要發生变化。

在采用变频的情况下，選擇性和放大系数决定于中頻系統。在由一个波長調到另一波長时，中頻不变，因而接收机的放大系数和選擇性保持固定不变。中頻保持不变，是用改变本机振蕩器頻率 f_r ，以使差頻 $f_r = f_c$ 在整个調諧波段都保持不变的方法来达到。

現在，无綫电接收設備中所用的变频器，可以根据其中所用的非綫性元件而分为以下几类：

- a) 多柵电子管（七極管、五極管）变频器；
- б) 單柵电子管（三極管）变频器；
- в) 电子二極管或晶体二極管变频器。

• 最后一种变频器广泛用于分米和厘米波段的无綫电接收

設備中。

关于变频問題曾作过許多实验的和理論的研究。在院士Л. И. 曼杰尔什坦、Н. Д. 巴巴列克西、Н. Н. 克雷洛夫和А. А. 安德罗諾夫的著作中，曾研討了非綫性振荡理論中最重要問題；这些問題奠定了对变频时所發生的过程作数量和質量評定的基础。在Л. Б. 斯列宾和В. И. 西福罗夫的著作中，全面地研究了多栅管变频器中所發生的現象。1953年出版的苏联学者Л. С. 古特金的著作“超高频变频和檢波”，則是有关各种类型的超高频变频器的理論和計算問題的最基本的文献。

2 变频过程

我們以晶体二極管变频器为例（圖2）来研究一下变频过程。

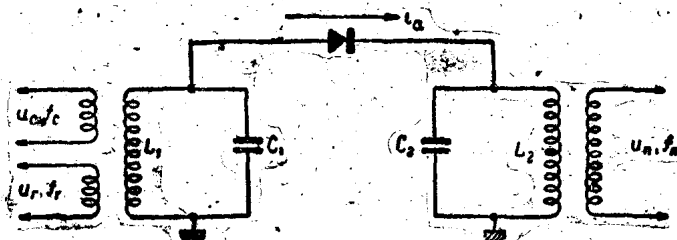


圖2 由晶体混頻器作成的变频器的原理圖。

电感 L_1 和电容 C_1 所組成的振荡槽路調諧于信号頻率。在这个槽路的輸入端加有頻率为 f_c 的信号电压 u_c 和頻率为 f_r 的接收机本机振荡器电压 u_r 。加到变频器上的信号电压幅度 U_c 通常比本机振荡器电压幅度 U_r 小得多。

槽路 $L_1 C_1$ 对本机振荡器頻率的失諧很小，因而是本机

振荡器电压电源的负载。这是因为中频

$$f_{\text{中}} = f_c - f_r$$

只是信号频率的几分之一。

由元件 L_2 和 C_2 组成的振荡槽路调于中频 $f_{\text{中}}$ 。在此槽路上得出的电压 $u_{\text{中}}$ 加到接收机中的后一级。

在槽路 $L_1 C_1$ 中，信号电压 u_c (图3, a) 和本机振荡器

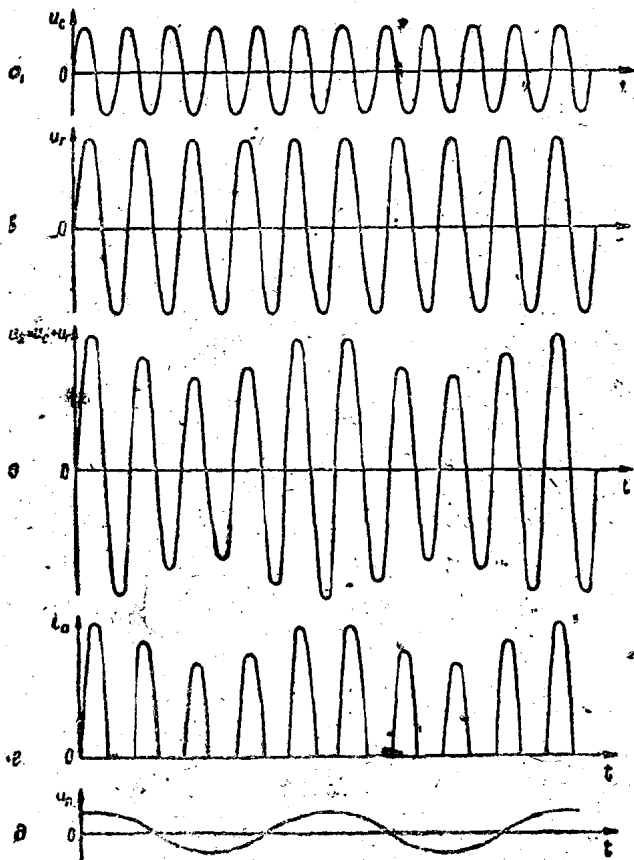
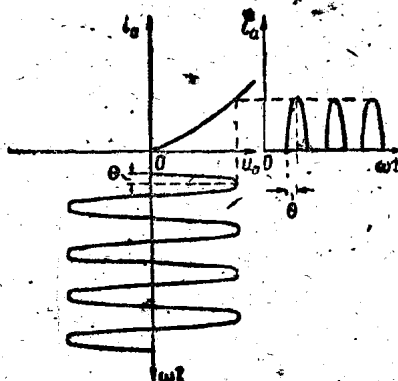


图3 变频过程中的电压和电流。

电压 u_r (圖3, 6) 相叠加。因为它们的频率不同, 所以在某些時間內, 两电压的数值相加; 在另外一些時間內, 两电压数值相减。結果合成电压 u_2 的幅度 (圖3, 6) 按照信号振荡和本机振荡器振荡的拍頻而变化, 这个拍頻等于二振荡頻率之差。

这个合成电压加到晶体二極管上 (見圖2), 在其中引起电流 i_a , 电流 i_a 按照这个二極管的特性曲綫 (圖4) 而随时間变化, 如圖3, 7所示。



显然, 电流 i_a 中含有中頻分量, 这个分量是晶体二極管的特性曲綫]。

在振荡槽路 L_2C_2 上产生一个频率为中頻 f_n 的电压降 u_n (圖3, 6)。

由此可見, 变频可以看作是对具有信号频率和本机振荡器频率的两个振荡的差拍进行檢波的过程。以晶体二極管或电子二極管变频器为例所談的变频原理, 也适用于利用任何其他非綫性元件的情况。在变频过程中, 本机振荡器电压幅度所起的作用, 和檢波时載頻幅度的作用一样。因此在文献中常称变频器为超外差式接收机中的第一檢波器。变频器和檢波器的主要区别在于輸出負載不同。在变频器中, 輸出負載是諧振系統, 在檢波器中則是欧姆电阻。

在一定的信号电压和本机振荡器电压的数值下, 中頻电流的数值, 因而电压 u_n 的数值, 决定于信号和本机振荡器合

成电压 u_2 的截止角 θ 。因为信号电压通常甚小于本机振荡器电压，所以截止角 θ 是针对本机振荡器电压来说的。

能得到最大变频效应时的 θ 值称为最佳截止角 θ_{opt} 。

表.1 中对各种型式的变频器列出了最佳截止角的数值。

表 1

变频器型式	五极管	三极管	二极管	晶体管
θ_{opt}	90~180°	60~120°	29~50°	90°

所需的截止角的数值，可以用在变频器非线性元件特性曲线上选择工作点的方法加以选择。工作点决定于偏压 E_g 的数值（图 5）。图 6 和图 7 示出两个供给偏压的可能方法：一个是由专门电源供给（图 6），一个是以二极管电流直流分量 I 在电阻 R_g 上的电压降作为偏压的

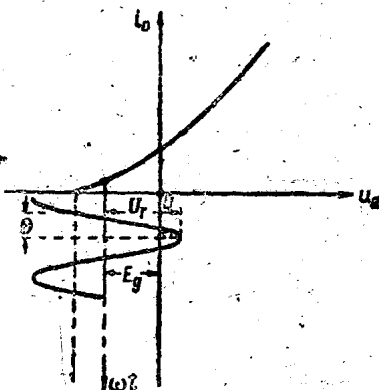


图 5 在二极管变频器上加偏压以选择工作点和截止角。

自动供给（图 7）。电容 C_g 对 R_g 作高频旁路，通常 $E_g < 0$ 。

到目前为止，我们所说的变频都是在混频器输出端得出频率为 $f_c - f_r$ 或 $f_r - f_c$ 的中频电压。这种变频在实际中常常碰到，它被称为简单变频。但是在变频时，通过非线性元件的电流的频谱中（见图 3， i ）除了有主要拍频 $(f_r - f_c)$ 的电流外，还含有频率为 $mf_c - nf_r$ 或 $nf_r \pm mf_c$ 的电流，这里 n 和

② 当正弦电压加到非线性元件上时，通过非线性元件的电流脉冲持续时间的一半（以角度单位表示）称为截止角（图 4）。

m 是任意整数。在变频器输出端可以得到具有这些频率中任一频率的电压，方法是将槽路 L_2C_2 调到这一频率。这种形式的变频称为复杂变频。

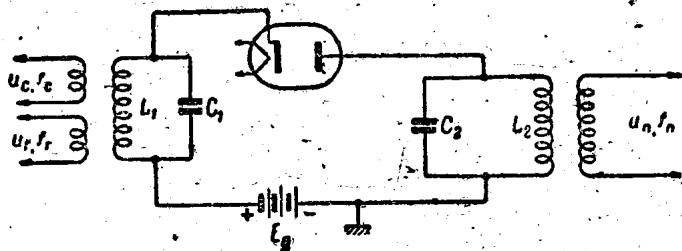
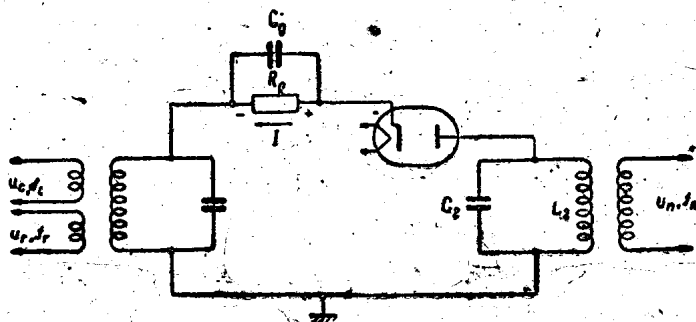


圖 6 由直流电源 E_g 供給偏压的电路。



• 圖 7 用元件 R_g 和 C_g 自动供給偏压的例子。

有时在无线电接收设备中采用中频为 $f_c - 2f_r$ 或 $f_c - 3f_r$ 的复杂变频。利用更高的(大于 3 的)本机振荡器电压谐波来得到中频是不合适的。因为随着本机振荡器电压谐波次数的增加,在变频时,二极管电流中相应于这一谐波和信号频率拍频的分量就要急剧减小。例如,在通过变频器非线性元件的电流中,频率为 $f_n = f_c - f_r$ 的电流幅度最大,频率为 $f_n = f_c - 2f_r$ 的幅度较小,频率为 $f_n = f_c - 3f_r$ 的幅度更小,如此等等。

采用复杂变频，是为了减小由于本机振荡器频率不稳定而引起的中频偏移。因为本机振荡器频率越低，越容易保证频率的稳定性，因而就越容易保证中频的稳定性。

以后谈到“变频”这一术语时，所指的是简单变频。

在研究复杂变频时，将加以相应的说明。

3 变频参数

为了对变频过程作数量上的评定，采用了一些专门的参数，下面将对它们加以说明。

在变频器非线性元件输入端(图8)接上信号电压源 u_c 、本机振荡器电压源 u_r 和偏压电源 E_g ，而在输出端接上测量中频电流 i_n 的毫安表和滤除其他频率电流的滤波器 Φ 。变动本机振荡器电压 u_r 和偏压 E_g ，而使得在本机振荡器电压幅度 U_r 变动时截止角 θ 保持不变，同时并保持信号电压幅度不变，这样，在每次变动时都测出中频电流幅度 I_n 。

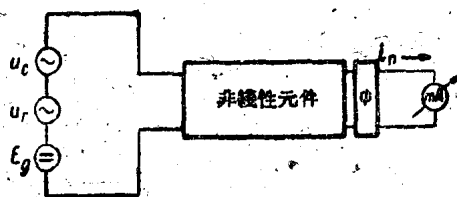


图8 在非线性元件的电路中接入电压电源、滤波器和毫安表。

当电压 U_r 从零开始增长时， I_n 的数值就随着增加。这是因为在 U_r 的数值较小时，是运用非线性元件特性曲线 $i_a = F(u_a)$ 下部较平的一段，因而变频器输出端电流的相对变化较小，即电流幅度 I_n' 较小(图9, a)。而随着 U_r 的增长，越

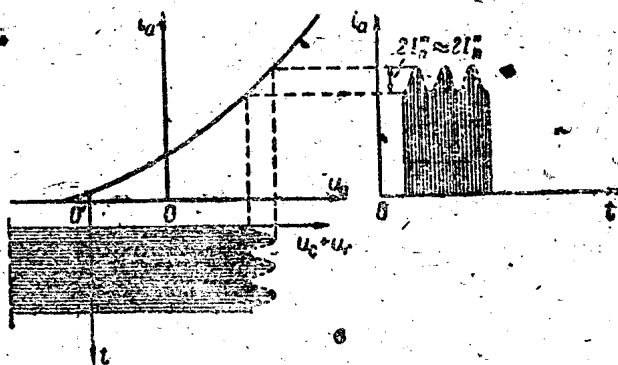
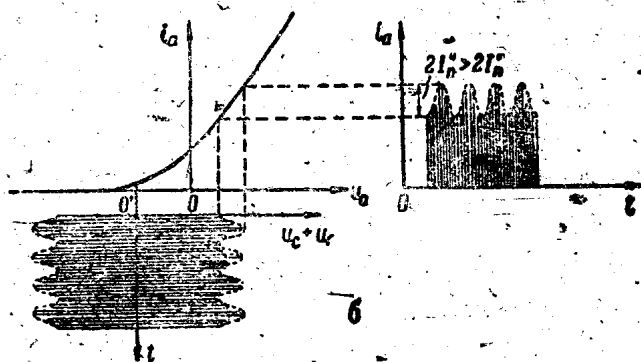
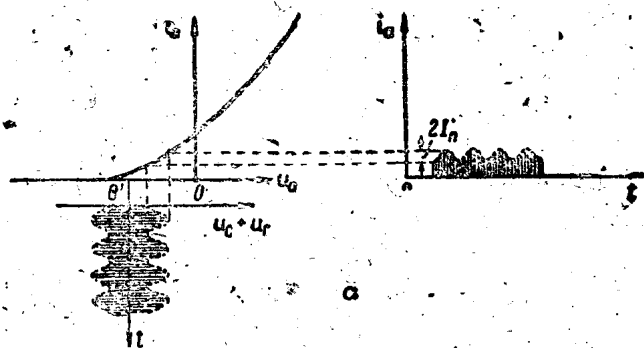


圖 9 電流幅度 I_0 的增長隨本机振蕩器電壓幅度值 U_r 而變化的情形。

来越多地运用特性曲线上部斜率较大的线段，因而电流幅度增加， $I_n' > I_n'$ （圖 9, 6）。如果用的是二极管（晶体管或电子管）变频器，则随着 U_r 的增长， I_n 一开始增长得很快，以后逐渐变慢，最后在 U_r 很大时（ $U_r \geq U_r'$ ）差不多完全不再增长（圖 9, 6）。这是因为当在二极管板极加上大的正电压时，特性曲线差不多是直线的，因而可以认为对不同板极电压来说，中频电流幅度几乎都是相等的，即

$$I_n' \approx I_n' \approx I_n \approx \text{常数}$$

（圖 9, 6 和 6）。

当使用的是三极管或五极管变频器时，随着电压 U_r 的增长，电流 I_n 一开始是增加的，以后，由某一数值 $U_r = U_r'$ 起，开始逐渐减小下来。这是因为：在幅度 U_r 很大时，栅压成为正值，出现栅流，因而板流特性曲线的斜率（互导）降低。

在不同信号电压幅度值 $U_{c1} > U_{c2} > U_{c3} > U_{c4}$ 时的中频电

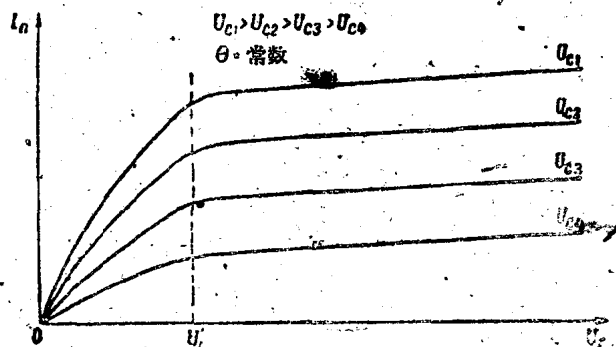


圖10 在不同信号电压幅度 U_c 和固定截止角 θ 时的中频电流幅度 I_n 对本机振荡器电压幅度 U_r 的关系曲线（二极管变频器的情况）。