

接收无线电话时的 交叉干扰

苏联 A. Г. 阿尼西莫夫 著

錢在欽 譯

人民邮电出版社

2.U47
1457
9

接收无綫电话时的交叉干扰

苏联 A. Γ. 阿尼西莫夫著

錢 在 欽 譯

人民邮电出版社

ПЕРЕКРЕСТНЫЕ ПОМЕХИ ПРИ ПРИЕМЕ РАДИОТЕЛЕФОННЫХ СИГНАЛОВ

А. Г. АНИСИМОВ
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА—1958

内 容 提 要

随着工业及无线电通信的发展,对无线电通信的干扰也日益严重,所以怎样提高无线电通信电路的抗干扰能力是一个很重要的课题。

在一般干扰强度较弱的情况下,收信机的抗干扰能力大致可用一般选择性曲线来评定,但在干扰强度很强的情况下它就不能完全反映出实际抗干扰性能了。这是由于这时在收信机中会产生“交叉干扰”(即交叉调制)。这本书就是介绍交叉干扰的性质、原因、测算方法以及怎样减小交叉干扰的方法。

译者还将1963年第11期“电信”(электросвязь)杂志上的一篇文章“单边带信号与独立边带信号的交叉干扰问题”附在本书后面,作为附录。

接收无线电电话时的交叉干扰

著者: 苏联 А. Г. 阿 尼 西 莫 夫

译者: 钱 在 欽

出版者: 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四6条19号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者: 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者: 新 华 书 店 北 京 发 行 所

经售者: 各 地 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1966年1月北京第一版

印张 2 10/32 页数 37

1966年1月北京第一次印刷

印刷字数 52,000 字

印数 1—3,650 册

统一书号: 15045·总1531—无447

定价: (科4) 0.26 元

目 录

第一章 无线电收信机的选择性	1
§ 1. 干扰和选择性	1
§ 2. 选择性曲线	3
§ 3. 选择性的测量和计算	8
第二章 交叉干扰	12
§ 4. 什么情况下单知道收信机选择性曲线还不够	12
§ 5. 交叉干扰的特性	14
§ 6. 交叉干扰的定量测定	19
第三章 收信机的实际选择性	25
§ 7. 实际选择性曲线	25
§ 8. 实际选择性的测量和计算	29
§ 9. 选择性曲线和实际选择性曲线计算举例	36
第四章 提高实际选择性的方法	42
§ 10. 提高收信机高频电路的选择性	42
§ 11. 电子管工作状态的选择	50
第五章 接收单边带信号时的交叉干扰	63
参考文献	67
附录 单边带信号与独立边带信号的交叉干扰问题	68

第一章 无綫电收信机的选择性

§ 1. 干扰和选择性

俄国发明家 A. C. 波波夫教授所創造的世界上第一架无綫电收信机，当时叫做雷电指示器。这个名称的由来是因为收信机使电鈴动作，反映了暴风雨时大气层所发生的电磁骚扰现象，这样就用音响信号指示出有雷雨存在。后来，波波夫又創造了无綫电发射机——人为的电磁波源，利用它可以将有意义的无綫电信号发送給收信机。但是，收信机反应閃电的能力依然存在着。这种能力在接收有意义的信号时，变成了收信机的缺点，成为其薄弱的一面。这是因为：当接收某一固定的无綫电信号时（通常称为有用信号），一切其它信号，不管它們有无意义，都会扰乱正常信号的接收，这就是干扰。

对于无綫电收信机說来，向干扰作斗争的問題，或收信设备的抗干扰問題，从創造世界上第一部无綫电收信机和开始无綫电通信以来，就成为无綫电工作者面前的一个尖銳的問題。

一般說来，当技术及无綫电技术获得蓬勃发展的同时，除了大气层发生的干扰外，又增加了工业干扰和其它无綫电台的干扰。

按广义而言，可以把破坏欲接收信号正常传送的一切原因都叫做干扰。

根据干扰的性质可以分为：

声响的干扰，

机械干扰，

与传播条件有关的干扰，

电气干扰。

声响的干扰是由于各种不同的外来声响，影响了工作人员的听觉而引起的(机器噪音及其它环境噪音等)。

在战斗的条件下运用的军用通信设备(无线电收信机和终端机件)，例如在行军中工作的电台在受到颠簸和震动时是可能产生机械干扰的。

在无线电接收时，出现无线电回波、衰落和其它与无线电波传播条件有关的现象时所产生的困难是大家所熟知的。

在电气干扰中，还可以分为：

不是接收对象的无线电发射机的干扰(他台干扰)，

发源于大气层的干扰，

本地的电气设备干扰，

内部干扰(电子管噪声，导体内部热骚动噪声，超外差接收机的啸声)。

叙述各种不同类别的干扰以及向其斗争的方法远远超出这本小册子的范围以外，在这本小册子里将仅仅研究他台干扰以及向其进行斗争的方法。

向他台干扰进行斗争，可以采取组织上和技术上的措施。

组织上的措施包括在组织无线电通信网时正确分配工作频率，划定无线电通信时间等。在这种情况下，要尽量使得在同一频率或邻近频率工作的各发射机在空间相互远离(这样才使它们在一架收信机输入端产生同样大小的输入电压的可能性很小)，或者使它们在不同的时间工作等。

组织上措施的可能性受到组织无线电通信的主管部门的权限范围的限制，并且由于很难考虑敌方无线电台的工作，在很大程度上带有片面的缺点。

与他台干扰进行斗争的技术措施包括：提高通信对方发射

机的发射功率，改变通信工作方式和利用不同类型的选择性。

通常，提高发射机功率和改变工作方式的可能性是非常有限的。

在提高发射机功率时，可相应地减小接收机的增益，由于收信机灵敏度降低，因而干扰达到很弱的可听度。但与此同时，通信对方的发射机对于其它无线电台工作的干扰作用也加大了。这种“利己”地解决问题，不能认为是合理的。因为，获得它要付出很高的代价，并且也不是一定可以做到的。

比较合理的方法是提高收信机的选择性，它可以在不提高对方发射机功率和不使收信机灵敏度变坏的条件下减弱干扰。

无线电受信设备从受信地点的各种成分的电磁场强度（无论是有用信号或自然干扰、人为干扰）的总和中分出有用信号的能力，称为无线电受信机的选择性。

各种不同的选择性是大家所熟知的：空间选择性是利用定向天线；时间选择性是仅在有用信号起作用时使收信机工作；振幅选择性是在收信机电路内利用限幅器；频率选择性是利用收信机的谐振系统。

其中频率选择性运用得最为广泛。

§ 2. 选择性曲线

A. C. 波波夫早就注意到把具有频率选择性特性的谐振电路用到收信机线路中，以改善受信质量。在最初的无线电受信机中虽还没有谐振电路，但，随后 A. C. 波波夫便制出了具有谐振电路的受信机，以保证信号的频率选择性。

到现在，频率选择性已广泛应用在一切受信机中，无论是广播收音机还是专业用受信机。甚至在那些应用其它类型的选择性和其它防止干扰方式的专用受信机内，频率选择性也还起

着重要作用。

在下面，为簡便起見，我們將采用“选择性”这个术语来代替“頻率选择性”。

下面，定性地給出选择性的定义。

在不同頻率的信号与干扰下，收信机从其輸入端各种不同电压（不論是有用信号还是干扰所引起的）的总和中鑑別出有用信号的能力称为收信机的选择性。

我們以干扰頻率与收信机的調諧頻率 相对地 差 某一定值 Δf 时干扰电压的衰減值作为定量地評定选择性的优劣。失調頻率

$$\Delta f = f - f_0, \quad (1)$$

式中 Δf ——所謂絕對失調值；

f ——干扰頻率；

f_0 ——收信机的調諧頻率。

其中所有的頻率都应当采用統一的单位，可用赫，千赫或兆赫表示。

頻率為 f 时在收信机电路中所得到的干扰和具有与調諧頻率相同的干扰相比的衰減，称为选择性系数，并用文字 d 来表示。

在某一頻率（或在某一絕對失調值）的选择性系数愈大，則收信机在該頻率（在該絕對失調值）的选择性便愈高。如果有两部收信机，在失調 Δf 时，一部收信机衰減 100 倍，另一部收信机衰減 1,000 倍，那么，在給定失調的情况下，第二部收信机具有較好的选择性。

在不同失調的情况下，衰減是不一样的。表示衰減和頻率（或失調）关系的曲綫称为收信机的选择性曲綫（图 1）。在沒有失調时，即 $f=f_0$ 和 $\Delta f=0$ 时，沒有相对衰減，也就是

$d=1$ 。

因而严格地来说，选择性曲线应当在水平轴上升高一个单位（图 1 甲）。但是，更常用的是使水平轴通过 $d=1$ 的那一点，此时选择性曲线便获得一般最为普遍的形式（图 1 乙）。

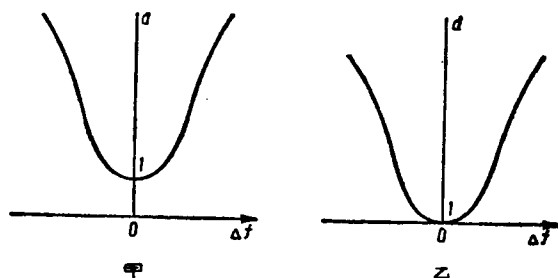


图 1 收信机的选择性曲线

选择性曲线可以更加全面地评定收信机的选择性质量。当接收某一有用信号时，必须保证适当的通频带。例如无线电电话信号的最高调制频率等于 F_{max} ，载波频率等于 f_c ，那么，所占的信号频段便是 $f_c - F_{\text{max}}$ 到 $f_c + F_{\text{max}}$ 这一段（图 2）。

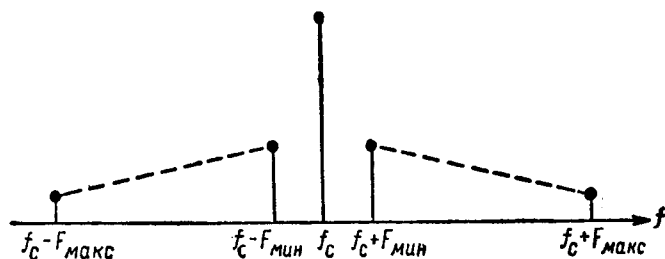


图 2 无线电电话信号频谱简图

这一频段的宽度等于 $2F_{\text{max}}$ ，因而收信机就应当有与此相适应的通频带。

在某一頻段內，衰減不超過一定數值，這一頻段就叫做收信機的通頻帶。這衰減值表征信號頻率失真的程度，因而不應當很大。通常，在通頻帶內，總共容許的最大衰減選擇在 $d = \sqrt{2} = 1.41$ 或 $d = 2$ 。

為了抑制干擾，在收信機的通頻帶以外，應當保證最大可能的衰減。在衰減較小的情況下（小失調時），干擾的危害性最大，其扰乱正常信號的作用最為嚴重。收信機對所謂鄰近波道（靠近收信機所調諧頻率兩側的頻率）的選擇性可用干擾頻帶的寬度來評定。所謂干擾頻帶，就是干擾衰減小於某一規定值（例如 10 或 100 倍）的頻率範圍。在這個範圍內，如果出現干擾就會顯得很強。干擾頻帶愈窄，收信機對鄰近波道的選擇性就愈高。在干擾頻帶以外，干擾的衰減比此頻帶範圍內的衰減更大。

圖 3 所示是衰減分別為 2 和 10 時所定出的通頻帶 $2\Delta f_n$ 和干擾頻帶 $2\Delta f_m$ 。

在通頻帶以外的衰減上升得愈為陡峭，收信機的選擇性就愈高。其銳度可用矩形系數 K_n 來表示，它是通頻帶和干擾頻帶的比值：

$$K_{n(2;10)} = \frac{2\Delta f_n}{2\Delta f_m} \quad (2)$$

在矩形系數的下角，最好標明計算通頻帶和干擾頻帶時的衰減。

頻帶應當以統一的單位表示（千赫或兆赫）。矩形系數愈大，收信機的選擇性就愈高。為了比較兩部收信機的選擇性，可以在給定通頻帶的情況下，比較兩者在同一衰減時所定出的干擾頻帶，或者比較它們選擇性曲線的矩形系數。

在具有相同通頻帶的兩部收信機中，具有較窄干擾頻帶或

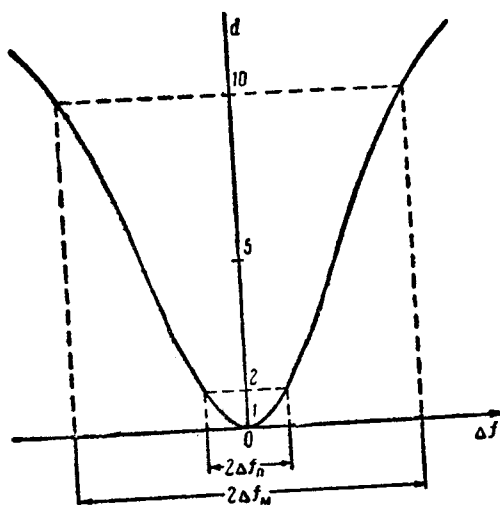


图 3 通频带 $2\Delta f_n$ 和干扰频带 $2\Delta f_m$

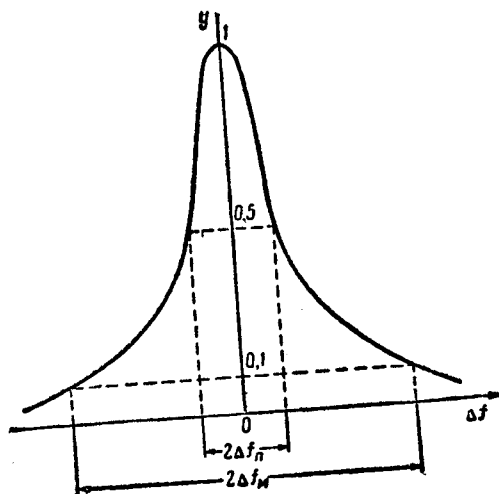


图 4 $y = \frac{1}{d}$ 和失耦的关系

矩形系数較大的那一部，具有較好的选择性。

根据我們所下的定义，矩形系数总是小于 1，它愈是接近 1，收信机对于邻近波道的选择性就愈高。

选择性曲綫的形状决定于頻率（或失調）軸和衰减軸二者之間所采用的比例。此外，选择性曲綫有时也有以衰减的倒数 y 作出（图 4）。在这种情况下，对所定出的通頻帶和干扰頻帶要加以說明，例如，通頻帶“标高 0.5”，干扰頻帶“标高 0.1”。

下面，我們將采用和图 3 相同的选择性曲綫的概念。

§ 3. 选择性的测量和計算

测量各种不同失調时的干扰衰减值，就可以用曲綫繪出选择性系数和失調的关系。获得繪制选择性曲綫所需資料的測試工作，叫做測繪选择性曲綫的工作。在做這項工作时可取标准信号发生器的标准信号作为干扰。

为了繪取收信机的选择性曲綫，需要有相应的收信假天綫、标准信号发生器和輸出电压表。

各仪器的联結图如图 5 所示。已調制电压从信号发生器通过假天綫加到調諧好的收信机的輸入端（这里是指具有寬通頻帶的收信机而言，它是专为接收无綫电话信号用的）。

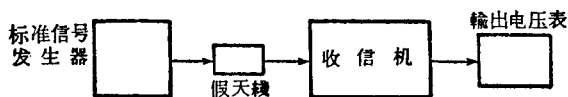


图 5 用以測繪选择性曲綫的裝置的方框图

为了消除收信机本身的固有噪声干扰，在进行测量时，收信机的增益要比测量灵敏度时調得低一些。因而，从信号发生器輸出的电压，要比测量灵敏度时大 0.5—1 倍。收信机的正

常輸出电压用手动增益控鈕来調整。

如果有几个手动增益控鈕，則可以用中頻手动增益控鈕調整。所有其它手动增益控鈕都放在最大位置。

然后，改变信号頻率，提高收信机輸入端信号电压，直到重新获得正常的輸出为止。显然，在某一失調下与准确調諧时相比，信号在收信机中衰减的倍数，就是收信机輸入电压需要提高的倍数。失調值可以从标准信号发生器的刻度算出。这样进行完各种失調的測量后，就可以繪制出收信机的选择性曲綫。

有时所需提供的往往不仅是失調較小时的选择性曲綫的图形，即通頻带或干扰頻带內的图形，而且也需要干扰頻带以外即失調很大时的图形。在这样的情况下，选择性系数的值必然大，在一幅图表上以綫性刻度时，要放置許多大小悬殊的数值非常不便，用綫性量度时，为了要使图表能容納下选择性曲綫的“远坡度”，也就是說当曲綫在失調很大的那些点上所呈現

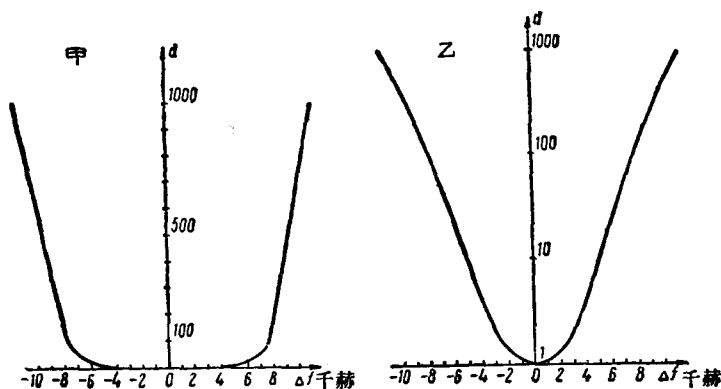


图 6 选择性曲綫：

甲—按綫性刻度的坐标繪制的选择性曲綫；

乙—按半对数刻度的坐标繪制的选择性曲綫

的很大的衰减值，此时，垂直轴的刻度必然很粗略，因而在通频带内的曲线图形看起来是不够清楚的(图 6 甲)。

当运用半对数刻度时就消除了这种不便。这时一轴(水平轴)仍保持直线刻度，另一轴(垂直轴)则采用对数刻度。这样，不仅选择性曲线的“远坡度”可以表现得很仔细，而且通频带范围内的曲线图形也同样可以看得很清楚(图 6 乙)。沿垂直轴虽以衰减的对数来量度，但为了方便往往直接标以相应的衰减值。这种绘制选择性曲线的方法下面还要更详尽地谈到。

在大多数情况下，选择性曲线可以比较容易地计算出来。

对于运用在收音机输入电路、放大器或变频器线路中的单级谐振回路，其衰减可按式计算：

$$d = \frac{f}{f_0} \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}, \quad (3)$$

式中 f_0 ——谐振回路的调谐频率；

f ——计算衰减的频率；

Q ——线路中谐振回路的品质因数。

当失调较小时($f \approx f_0$)，计算公式可采用下列简化形式：

$$d \approx \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{2 \Delta f}{f_0} \right)^2}, \quad (4)$$

其中 Δf ——计算衰减时的绝对失调值。

在公式(3)和(4)中，失调值和频率应采用统一的单位。

广义失调为：

$$\sigma = Q \frac{2 \Delta f}{f_0}, \quad (5)$$

利用它可以(4)式改写成以下形式：

$$d \approx \sqrt{1 + \sigma^2}. \quad (6)$$

当衰减 $d > 5$ 时，可采用近似公式：

$$d \approx \sigma = Q \frac{2 \Delta f}{f_0}. \quad (7)$$

如果諧振系統包含有 m 級單諧振迴路，任意兩個相鄰的諧振迴路通過電子管產生松耦合，那麼，在給定絕對失調值下的總衰減，決定於各個諧振迴路在此失調值下所產生的衰減乘積：

$$d_{\text{о6м}} = d_1 d_2 \cdots d_m \quad (8)$$

如果各諧振迴路完全相同，則顯然

$$d_{\text{о6м}} = d^m. \quad (9)$$

對於常用在超外差收音機中頻放大器內的雙迴路帶通濾波器，其衰減可按下列式計算：

$$d = \frac{f}{f_0} \frac{\sqrt{(1 + \sigma^2 - \eta^2)^2 + 4\eta^2}}{1 + \eta^2}, \quad (10)$$

式中 η ——稱為耦合參數，用以表征帶通濾波器兩迴路間的耦合程度。

其餘的符號我們以前已經介紹過。

在大多數情況下，帶通濾波器兩迴路間的耦合實際上多選擇在臨界值 $\eta = 1$ ，或者選擇在近於臨界值 ($\eta \approx 1$)。

這時，當失調較小時可運用近似公式：

$$d \approx \frac{\sqrt{4 + \sigma^4}}{2}, \quad (11)$$

而在衰減相當大的區域內 ($d > 5$)，上式便成為：

$$d \approx \frac{\sigma^2}{2}. \quad (12)$$

在包含 n 級相同調諧的雙迴路帶通濾波器的系統內，如果任兩級相鄰的濾波器都經過電子管作松耦合，那麼，在給定的絕對失調值下，其總衰減也同樣決定於各級帶通濾波器在此失

調值下所产生的衰减的乘积，

$$d_{\text{о6м}} = d_1 d_2 \cdots d_n. \quad (13)$$

如果带通滤波器完全相同，則

$$d_{\text{о6м}} = d^n. \quad (14)$$

除了接收窄通带的无线电收报机以及高级收信机（其中使用了比双回路谐振系统更为复杂的中频带通滤波器）以外，上述公式用以计算接收较宽通带（6—7 千赫）的无线电电话收信机的选择性曲线，通常是足够用了。

目前流行最广的是具有一次变频线路的超外差收信机。一般情况下，在这种收信机内，高频电路内具有 m 级单级谐振回路，中频电路具有 n 级双回路带通滤波器。

假设所有各高频谐振回路都相同，各中频带通滤波器也相同，则收信机在检波器以前的总衰减应按下式计算：

$$d_{\text{о6м}} = d_{\text{в.ч}}^m d_{\text{п.ч}}^n, \quad (15)$$

式中 $d_{\text{в.ч}}^m$ ——在某一绝对失调值时高频电路中的总衰减；

$d_{\text{п.ч}}^n$ ——在同一绝对失调值下中频电路中的总衰减。

根据各种不同绝对失调值的计算结果，就可以绘制出收信机的选择性曲线。

以后，我们还将举出选择性曲线的计算实例。

第二章 交叉干扰

§ 4. 什么情况下单知道收信机选择性曲线还不够

在工业电气设备和无线电台数量不断增多的情况下，可能造成干扰的来源也随之增加，无线电接收的条件变得越发困难了。因而尽管在抗干扰的研究方面取得了巨大的成就，而无线

电接收抗干扰性的問題仍然和以前一样，是无綫电技术中的重要問題之一。

直到目前为止，无綫电收音机的选择性通常还是以选择性曲綫的諧振特性来評定的。除此之外，在超外差收音机綫路中，选择性的評定还应考虑附加波道（或副波道）干扰的衰减量。現代的无綫电收音机最流行的型式是具有一次变频的超外差收音机，对于高級收音机，則采用两次变频的超外差綫路。

这些收音机的选择性曲綫能够表征对邻近波道（即邻近頻率）的抗干扰能力；而对于接收附加波道干扰（例如鏡象波道干扰）的抑制程度也是十分重要的指标。

对于具有两次变频的收音机，除掉第一变频的附加波道以外，还应当包括第二变频的附加波道。在所有上述情况下，还只是考虑所謂直綫选择性即收音机諧振系統的选择性，而沒有考虑到电子管特性曲綫的非直綫性。

这种評定选择性的方法，只能适合于接收具有較弱干扰的情况，即在收音机輸入端的干扰电压不超过几十到几百微伏的情况，在接收微弱信号时，这就相当于干扰与信号电压的比值

$$\frac{U}{C} \approx 1-10.$$

近来，对于向强烈干扰进行斗争的問題非常重視。在干扰强烈的条件下无綫电收音机的选择性应当以更为复杂的方法来評定。

在强烈干扰的情况下，收音机輸入端（也可能是某些級的輸入端）的干扰电压会很强。

当干扰电压很大时，高频放大器和其它級电子管的非直綫性开始表現出来，可以发觉当干扰在失調值相当大的情况下，干扰对信号产生的影响比根据收音机的选择性曲綫所預料的来