

船上无线电干扰 及其抑制方法

国防工业出版社

船上无线电干扰及其 抑制方法

〔苏〕 A.Γ. 格里戈里耶夫 A.И. 马季谢恩

B.C. 帕特里恩 著

《船上无线电干扰及其抑制方法》翻译组 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书探讨了船上无线电干扰源的最主要特征,研究了船上无线电干扰的传输途径,列举了某些干扰电平的数值,提出了抑制无线电干扰的方法,提供了对某些干扰的检验方法。

本书可供船舶电气和无线电设备设计、制造和使用的工人及技术人员参阅,也可供有关院校师生教学参阅。

ЗАЩИТА РАДИОПРИЕМА НА СУДАХ ОТ ПОМЕХ

А. Г. ГРИГОРЬЕВ

А. И. МАТИСЕН

В. С. ПАТРИН

издательство «судоостроение»

Ленинград

1973

*

船上无线电干扰及其抑制方法

〔苏〕 А. Г. 格里戈里耶夫 А. И. 马季谢恩

В. С. 帕特里恩 著

《船上无线电干扰及其抑制方法》翻译组 译

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张6¹/₂ 166千字

1978年3月第一版 1978年3月第一次印刷 印数: 0,001—5,500册

统一书号: 15034·1625 定价: 0.84元

目 录

第一章 船上无线电干扰源	5
§ 1 关于无线电接收干扰的概念	5
§ 2 无线电干扰的分类和特征	15
§ 3 船舶电气与无线电设备中的主要干扰源	23
§ 4 无线电通信设备共同工作时的干扰源	28
§ 5 建立防干扰系统的基本概念	36
第二章 船上无线电干扰的传输途径	38
§ 6 船上无线电干扰的传输途径总述	38
§ 7 船舶电缆传输的无线电干扰	48
§ 8 船用电缆的相互干扰	56
第三章 无线电干扰源的定额和估算	64
§ 9 无线电干扰源定额	64
§ 10 无线电干扰的测量仪器和测量方法	66
§ 11 测量结果的估算	75
§ 12 对船用无线电通信设备的要求及其检验方法	79
第四章 消除船舶内部无线电干扰的主要方法	85
§ 13 抑制无线电干扰的一般方法	85
§ 14 滤波器的计算方法及其特性	87
§ 15 结构选择和屏蔽设计	102
§ 16 船用电缆的防干扰性能	116
§ 17 在电气设备和无线电电子设备中抑制干扰的方法	132
§ 18 抑制舾装设备和天线馈线设备中干扰的方法	136
第五章 无线电接收防干扰系统的设计	151
§ 19 保护系统的构造原则	151
§ 20 一些防干扰系统的特点	173
§ 21 防干扰要求在设计文件中的反映	180
第六章 无线电接收防干扰系统试验	187
§ 22 船上防干扰系统效率估算	187
§ 23 对苏联和一些国家船队的船上无线电接收 保护系统的比较估价	200
参考资料	207

船上无线电干扰及其 抑制方法

〔苏〕 A.Γ. 格里戈里耶夫 A.И. 马季谢恩

B.C. 帕特里恩 著

《船上无线电干扰及其抑制方法》翻译组 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书探讨了船上无线电干扰源的最主要特征,研究了船上无线电干扰的传输途径,列举了某些干扰电平的数值,提出了抑制无线电干扰的方法,提供了对某些干扰的检验方法。

本书可供船舶电气和无线电设备设计、制造和使用的工人及技术人员参阅,也可供有关院校师生教学参阅。

ЗАЩИТА РАДИОПРИЕМА НА СУДАХ ОТ ПОМЕХ

А. Г. ГРИГОРЬЕВ

А. И. МАТИСЕН

В. С. ПАТРИН

издательство «судоостроение»

Ленинград

1973

*

船上无线电干扰及其抑制方法

〔苏〕 А. Г. 格里戈里耶夫 А. И. 马季谢恩

В. С. 帕特里恩 著

《船上无线电干扰及其抑制方法》翻译组 译

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张6¹/₂ 166千字

1978年3月第一版 1978年3月第一次印刷 印数: 0,001—5,500册

统一书号: 15034·1625 定价: 0.84元

出版说明

可靠的船舶无线电通信和无线电导航，是保证航行安全的主要因素。

只有使有效信号提高到超出无线电干扰电平的必要程度，才能使船上稳定地接收到远处无线电台发出的无线电信号。

对于装备大量各种类型和功用的电气、电子设备的现代海船来说，这些设备产生的无线电干扰影响很大。由于无线电干扰源位于灵敏度很高的船用无线电接收机附近，所以必须认真考虑保护系统。在船舶和船用设备设计和建造的各个阶段中，均应对这些系统进行研究和考虑如何实现。

本书概要地叙述了船舶无线电接收的一般问题，讲述了船上无线电干扰源最主要的特征，研究了船上无线电干扰的传输途径，着重探讨了组成无线电接收防干扰的统一系统的整套技术措施。书中对进行无线电接收的船上的电气设备和无线电电子设备本身，也作为无线电干扰源予以研究。书中还列举某些干扰电平的数值，提供了对某些干扰的检验方法。本书对船舶电气和无线电设备设计、制造和使用的工人及技术人员有一定的参考价值。

本书对于确定组合频率干扰源这样一个新课题，没有加以阐述；另外，苏联船用电气和无线电设备的性能及结构与我国自行设计和制造的产品不尽相同，而且书中提及的工艺规程及设计程序等都不完全适合我国的实际情况。请读者遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，批判其错误的东西，吸取其有用的东西，“应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化”。

本书第一章由黄建章同志译，第二、三章由吴忠林同志译，第四章由汪兴华同志译，第五章由毛忠义、王鸿儒两同志译，第六章由舒宝发、徐世忻两同志译，全书由吴忠林同志校对。虽然在翻译和校对审稿过程中，删改了原书中的某些错误，但由于水平所限，难免仍有不当之处，请读者批评指正。

目 录

第一章 船上无线电干扰源	5
§ 1 关于无线电接收干扰的概念	5
§ 2 无线电干扰的分类和特征	15
§ 3 船舶电气与无线电设备中的主要干扰源	23
§ 4 无线电通信设备共同工作时的干扰源	28
§ 5 建立防干扰系统的基本概念	36
第二章 船上无线电干扰的传输途径	38
§ 6 船上无线电干扰的传输途径总述	38
§ 7 船舶电缆传输的无线电干扰	48
§ 8 船用电缆的相互干扰	56
第三章 无线电干扰源的定额和估算	64
§ 9 无线电干扰源定额	64
§ 10 无线电干扰的测量仪器和测量方法	66
§ 11 测量结果的估算	75
§ 12 对船用无线电通信设备的要求及其检验方法	79
第四章 消除船舶内部无线电干扰的主要方法	85
§ 13 抑制无线电干扰的一般方法	85
§ 14 滤波器的计算方法及其特性	87
§ 15 结构选择和屏蔽设计	102
§ 16 船用电缆的防干扰性能	116
§ 17 在电气设备和无线电电子设备中抑制干扰的方法	132
§ 18 抑制舾装设备和天线馈线设备中干扰的方法	136
第五章 无线电接收防干扰系统的设计	151
§ 19 保护系统的构造原则	151
§ 20 一些防干扰系统的特点	173
§ 21 防干扰要求在设计文件中的反映	180
第六章 无线电接收防干扰系统试验	187
§ 22 船上防干扰系统效率估算	187
§ 23 对苏联和一些国家船队的船上无线电接收 保护系统的比较估价	200
参考资料	207

第一章 船上无线电干扰源

§ 1 关于无线电接收干扰的概念

对于一定的频道,作用在无线电接收设备回路元件和天线-馈线电路中的不带有益信息的电磁振荡,即被认为是无线电干扰。为了清楚地理解无线电接收的防干扰问题,简要地研究无线电接收的一般原理。

无线电发射机天线辐射的高频电磁振荡(电磁波)是无线电频道的信息的传播者。表示这种振荡特征的一组参数是:振幅、频率、相位。在发射机中这些参数中的一个随时间按被发送信号的比例发生变化(例如电报)。在发送电报信号时,这种变化称为键控(参数值的急剧突变与一个拍发到另一拍发的变换相应),在发送语言(连续的)信号时,进行调制。被调制的信号称为载波。如果作为载波的可变参数选定为振幅,这种调制称为调幅;如果是频率,则称为调频;如果是相位,则称为调相。被调制的振荡在数学上可以看做为分布于载波频率周围的各种不同频率的不衰减的正弦分量之和。全分量之总和给出被调制振荡的频谱的概念,并特别给出为其占有频带的概念。对于无线电频道特性,以同上的(载波的相对频率)载波参数的调制表示的。在这种情况下,被调制振荡占有的频带宽度与载波频率相比较是小的,因而这种振荡称为窄频带的。无线电通信常有利用窄频带高频振荡(信号)的特点。

通常,在一定频道的发射机工作的同时(有用信号源),还有大量其它频道的发射机、雷达和其它专门的电磁振荡源进行工作。这些振荡的频谱分布在整个频率范围。发射天线用于这些振荡的辐射。在天线电路中产生的辐射,是由发射机的输出级的高频电

流引起的。

此外，在船上有大量的电气和无线电设备，在其工作的基本电路、电缆、金属结构中可能发生电流（或电压）的突变。在这种情况下，上述基本单元和结构成为特殊的发射天线并发生电磁能的寄生辐射——无线电干扰。电流或电压突变的频谱由无数的频率分量组成，占整个无线电频率的范围。上述情况使得在无线电接收天线布置的区域，电磁场是由有用信号和大量的混杂电磁振荡（窄带和宽带）组成，混杂的电磁振荡占无线电通信的整个频率范围。在接收天线中，上述振荡感应产生出相应的电动势。天线接收的有用信号和干扰的电磁能量沿馈线输入无线电接收设备。

这里做为实例，仅举传输干扰的一种途径，即仅仅是电磁振荡直接作用在接收天线上。下面将更为详细地研究传输干扰的可能途径。

因为，无线电接收设备的任务不仅仅是接收、放大和变换有用信号，而且要从混杂的电压中分出这种有用信号，抑制无关的电磁振荡。所以接收机的基本特性之一是其选择性，即选择有用信号高频分量的能力。典型的无线电接收设备的方块图，如图 1 所示。

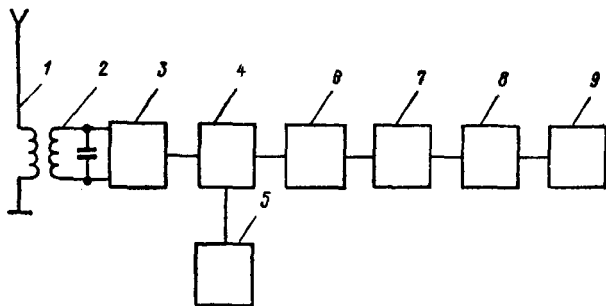


图 1 具有一次变频的超外差接收机方块图

1—天线；2—输入电路；3—高放；4—变频器；5—振荡器；6—中放；7—检波；8—低放；9—终端设备。

为了接收任一电台的信号，接收机的输入电路和高放电路调整于这一电台的频率。为更好地在混杂的其它信号的背景中分出要接收的有用信号，通常采用超外差接收机，在超外差接收机中，经高放后，被接收频率的信号在混频器中变成某一中间频率的信号，其中频率 $f_{\text{中},\text{外}} = f_r - f_0$ 。其中 f_r 为振荡器的频率（专用振荡器，在接收机中），而 f_0 为输入和高放电路调谐频率（要接收的电台的频率）。在接收机改变调谐时，输入电路、高放电路和振荡器的调谐频率也改变，而 $f_{\text{中},\text{外}}$ 通常是常数。中间频率的选择应使依靠中放振荡电路的谐振特性达到最大的选择性。混杂的频率在不同的调谐点相对于要接收的频率电平用选择性曲线表示（图2）。理想的选择性曲线是矩形的，被分出的和放大的只是需要接收信号占有的一定频带，而其余的所有频率都被减至零。实际上，

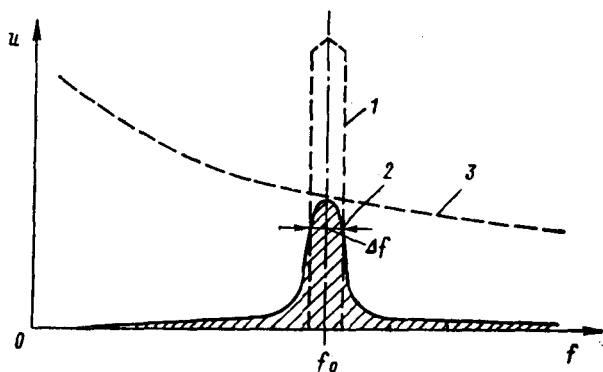


图2 无线电接收机选择性曲线

1—占用信号频带；2—选择性曲线；3—接收机输入端干扰和噪声频谱。

混杂的频率并不减到零。所以无关的信号，特别是大功率电台的信号，它虽不与接收机的调谐频率重合，但是很接近，这样就可能对有用信号的接收产生影响。为了在最大程度上削弱不仅是邻近频率，而且是离调谐点远的频率的信号，在无线电接收机中常常采用两次频率变换。在中频放大器后，放大的信号加到检波器，

由此分离出相应于有益信号的低频分量，而将所有高频分量抑制了（为此目的有时设置附加滤波器）。信号电压加到低频放大器，而后输给耳机或其它专门的信号处理设备（例如印字或传真设备）。

被接收的信号的质量（例如人工通报的清晰度）取决于含有有用信号的检波级输入端干扰的剩余电平及其性质。

无关的电台的干扰是连续的高频调制波，在接收机给定选择性时，其电平由干扰台的功率和接收机调谐频率离开干扰台频率的距离来决定。

另一种干扰类型——连续频谱的脉冲工业性干扰，它的形成上面已说过。它们在接收天线上引起连续的脉冲电动势。在不同形式的脉冲作用下频率范围的损害程度可以用表 1 的比较方法来决定。表 1 中单位振幅的脉冲频谱密度表示不同频率下的能量的分布。在表 1 中， τ ——脉冲宽度， t ——进行时间， $\omega = 2\pi f$ （ f ——频率）， S_0 ——频谱密度， α ——衰减系数。

从不同脉冲的频谱密度的比较中可以看到，钟形脉冲损害最小的频率范围。

但是，由于任何形式的脉冲的频谱分量的一部分落在接收机的通频带中，因此每个干扰脉冲都在接收机中引起某些振荡过程。

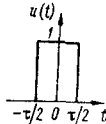
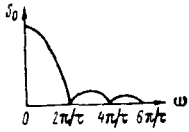
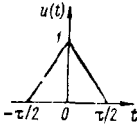
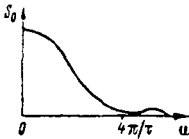
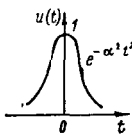
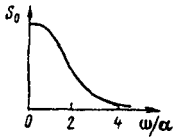
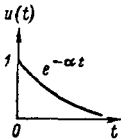
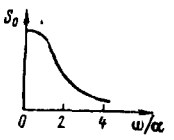
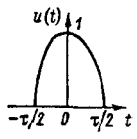
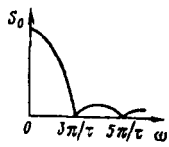
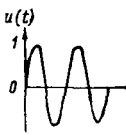
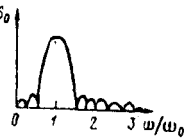
在通过了接收机的整个高频级后，这个过程结束。因此通常在中频的输出或检波的输入端研究其特性。

干扰振荡脉冲的形状由接收机的选择性决定。图 3 表示了各种振荡脉冲的形状。

在感应脉冲的输入电路中激励出来的振荡脉冲的主波瓣的宽度由接收机的通频带 Δf 所决定，并等于 $\tau_{\text{к.н}} \approx \frac{2}{\Delta f}$ 。振荡脉冲的电压振幅与通频带成正比。

现代接收机的特点是在中放输出端带有钟形谐振特性，其振荡脉冲电压的表达式⁽³⁴⁾为：

表 1 脉冲频谱密度

脉冲类型	脉冲图形	脉冲频谱密度	频谱密度图形
矩形		$S_0 = \tau \frac{\sin \frac{\omega \tau}{2}}{\frac{\omega \tau}{2}}$	
三角形		$S_0 = \tau \frac{1 - \cos \frac{\omega \tau}{2}}{\left(\frac{\omega \tau}{2}\right)^2}$	
钟形		$S_0 = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} e^{-\frac{\omega^2}{4\alpha^2}}$	
指数形		$ S_0 = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}$	
余弦半波		$S_0 = \frac{\pi}{2} \tau \frac{\cos \frac{\omega \tau}{2}}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \left(\frac{\omega \tau}{2}\right)^2}$	
正弦波 (n 为周期、整数)		$S_0 = \frac{2j\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} (-1)^n \sin n\pi \frac{\omega}{\omega_0}$	

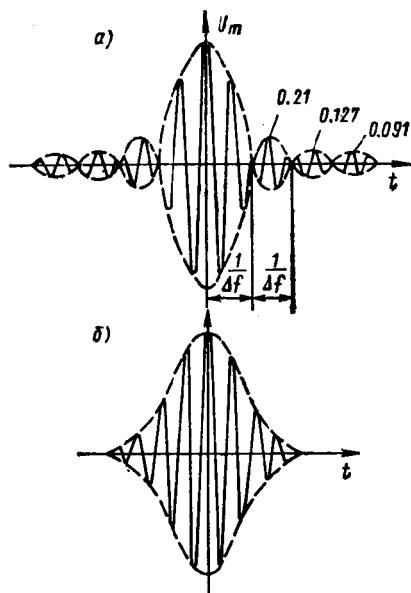


图 3 高频和低频放大器输出端振荡脉冲的形状

а) 理想的矩形脉冲通过特性; б) 钟形脉冲通过特性。

$$u(t) = 2S_0 K_0 \Delta f_{\Phi} e^{-2\pi(\Delta f_{\Phi} t)^2} \cos \omega_{\text{н.ч}} t,$$

式中 S_0 ——接收机输入端干扰电压的频谱密度, 在接收机通频带 Δf_{Φ} 范围内完全可以认为是常数;

K_0 ——接收机中放级前的放大系数;

$\omega_{\text{н.ч}}$ ——中放电路的调谐频率;

Δf_{Φ} ——有效通频带。

对于现代接收机, 有效通频带一般为选择性的 0.5 (— 6 分贝) 左右。

如果干扰脉冲在时间间隔 $\Delta t \gg \frac{2}{\Delta f}$ 内进行积分, 则在中放的输出端的干扰带有纯脉冲的特征。但是经常不具备这种条件。船上的各种电气设备在接收机输入端造成的干扰脉冲常常导致在中放输出端随时会被相应的振荡脉冲电压覆盖。在一般情况下得到的或是接近于噪音的振荡(常是近于波动), 或是间歇型振荡, 称

为准脉冲。

应该特别注意，中放输出端的电压可以用随机振幅、相位、频率表示（在通频带范围内）。

因此，船舶无线电接收的各种可能干扰，按其性质可分成无关电台的干扰（正弦的）、近于噪音的干扰，以及脉冲与准脉冲干扰。在听觉上感到的是噪音、喀喀声、呜呜声等，因而降低接收信号的质量。

在已知干扰性质的时候，这种质量由干扰电平与信号电平的比值以及无线电通信接收机的抗干扰性能所决定。

接收机的各种不同类型的调制、键控、电码、特殊电路具有不同的抗干扰性能（即无线电信号抵制干扰影响的能力），收到无失真或失真最小的信息。

作为抗干扰性能的实例，我们引用信号干扰比或信号噪音比不同时接收正确或错误的概率。在图4、图5和图6中，是在波动和脉冲干扰的作用下，对于各信号干扰比的不同键控形式的错误概率⁽³⁴⁾。图中 U_{mc} ——接收机输入端的信号电压的幅值； σ ——噪音干扰电压的有效值； U_n ——干扰脉冲的幅值； $U_{mc\Phi} = \sqrt{U_{mc1}^2 + U_{mc2}^2}$ ，式中 U_{mc1} 和 U_{mc2} 为在双相调制和双频通报时的各频道的电压幅

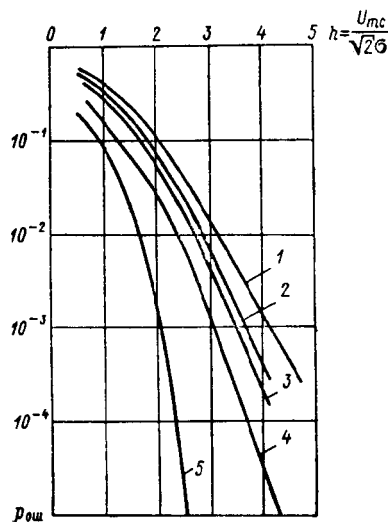


图4 存在波动脉冲干扰时信号接收的错误概率

曲线	键控形式	接收类型
1	振幅	非相干的
2	振幅	相干的
3	频率	非相干的
4	频率	相干的
5	相位	—

值。

图 5 是错误概率 $p'_{\text{ош}} = \frac{p_{\text{ош}}}{\alpha_n p}$ ，其中 α_n 为 h 分布的概率的密度 (h 为信号干扰比); p 为干扰脉冲出现概率。

从曲线上看到, 任何情况下为保证有足够小的错误概率, 需要提高信号电平于干扰电平之上。抗干扰性能最好的通信系统是相位键控, 特别是在相干接收中, 接收机仅仅反应与信号同相的干扰分量。

在同样的允许错误概率下, 这些系统要求最小的信号干扰比, 但是要采用较复杂和完备的设备。

按照国际无线电通信咨询委员会 (МККР, CCIR) 第 339

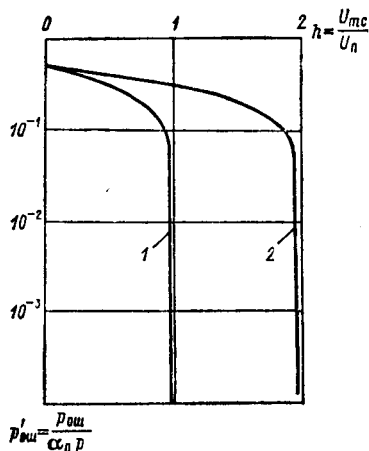


图 5 脉冲干扰时信号接收的错误概率

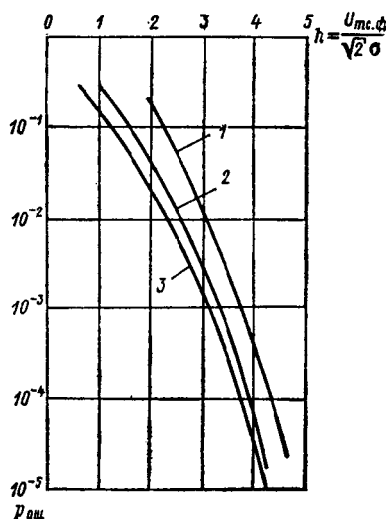


图 6 信号接收错误概率与信号干扰比关系曲线

曲 线	键控形式	接收类型
1	相位	—
2	频率 振幅	相干的, 非相干的, 相干的

曲 线	键控形式	接收类型
1	双频	非相干的
2	双频	相干的
3	相位	—

项建议，在稳定条件（平滑干扰）下，为达到无失真的接收所需的信号干扰比为：

1) 对于拍发速度为 24 波特[●]的 A1 和 A2 类电报，在 3 千赫的通频带内为 11 分贝（≈3.5 倍）；

2) 在拍发速度 50 波特的 A1 类印字报，通频带为 0.25 千赫时为 16 分贝（6.3 倍）；

3) 对于频率键控的 F1 类电报（印字报设备），在速度为 50 波特和 1.5 千赫通频带时为 10 分贝（3.1 倍）；

4) 对于 F4 类传真电报在 3 千赫通频带时为 15 分贝（5.6 倍）；

5) 对于 A3 类双频带通话在 6 千赫通频带时，一般的和较好的收信质量相应的信号干扰比分别为 15 分贝（5~6 倍）和 33 分贝（45 倍）⁽²³⁾。

考虑到信号可能间歇停止和干扰电平的振荡，因此按国际无线电通信谘询委员会第 340 项的建议，为得到无失真的接收，要求更大的信号干扰比⁽²³⁾。

信号对平滑（连续）干扰的比用下式决定：

$$h_1 = \sqrt{\frac{U_{\text{с.вх}}^2 + U_{\text{ш.вх}}^2}{U_{\text{ш.вх}}^2}},$$

式中 $U_{\text{с.вх}}$ ——接收机输入端的信号电压；

$U_{\text{ш.вх}}$ ——干扰电压。

要得到必要的 h_1 ，可以提高接收机输入端信号电平或降低干扰电平。

接收点的无线电信号的电场强度取决于发射机的功率、离开发射机的距离、频率和信号传播条件。但是，发射机的功率不可能任意的大，而通信的波段是被规定的，所以只靠改变这些特性而得到所需的 h_1 值，常常是不成的。

在已划分的范围内选择频率时必须记住，在最坏的条件下确

● 波特——电报的速度单位，等于每秒一个双重拍发。