

ITU-R P.842-4*建议书

高频（HF）无线电通信系统可靠性和兼容性计算

（1992-1994-1999-2005-2007年）

范围

本建议书提供了HF无线电通信系统可靠性和兼容性的预测方法。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 无线电通信系统可靠性的定义为实现所要求性能的可能性；
- b) 可靠性是一种性能优劣指数；
- c) 兼容性是对由无线电通信系统性能造成的干扰导致的退化的衡量；
- d) 在选择首选的天线（如有必要还包括设计优化）、频率和必要发射机功率组合时，预测可靠性和兼容性对达到理想的性能是非常重要的，

建议

在无线电通信系统规划和设计中应使用下列方法计算各类可靠性和兼容性。

1 引言

如图1所示，本建议书中所探讨的可靠性形成了一个等级。第2至第5段和第9段讨论基本可靠性，第6段涉及整体可靠性，第7段关于HF网络可靠性，第8段关于兼容性。第9段中描述了数字调制系统基本电路可靠性（BCR）的计算。

各类可靠性的具体定义见附录1。

2 计算基本可靠性需考虑的因素

BCR的计算方法涉及下列参数：可用接收机信号功率月中间值（ITU-R P.533建议书）；大气、人为和银河噪声功率月中间值（ITU-R P.372建议书）；长期（每日）和短期（每时）信号和噪声功率月中间值的上下十分位差；要求的性信噪比（ITU-R F.339建议书）。

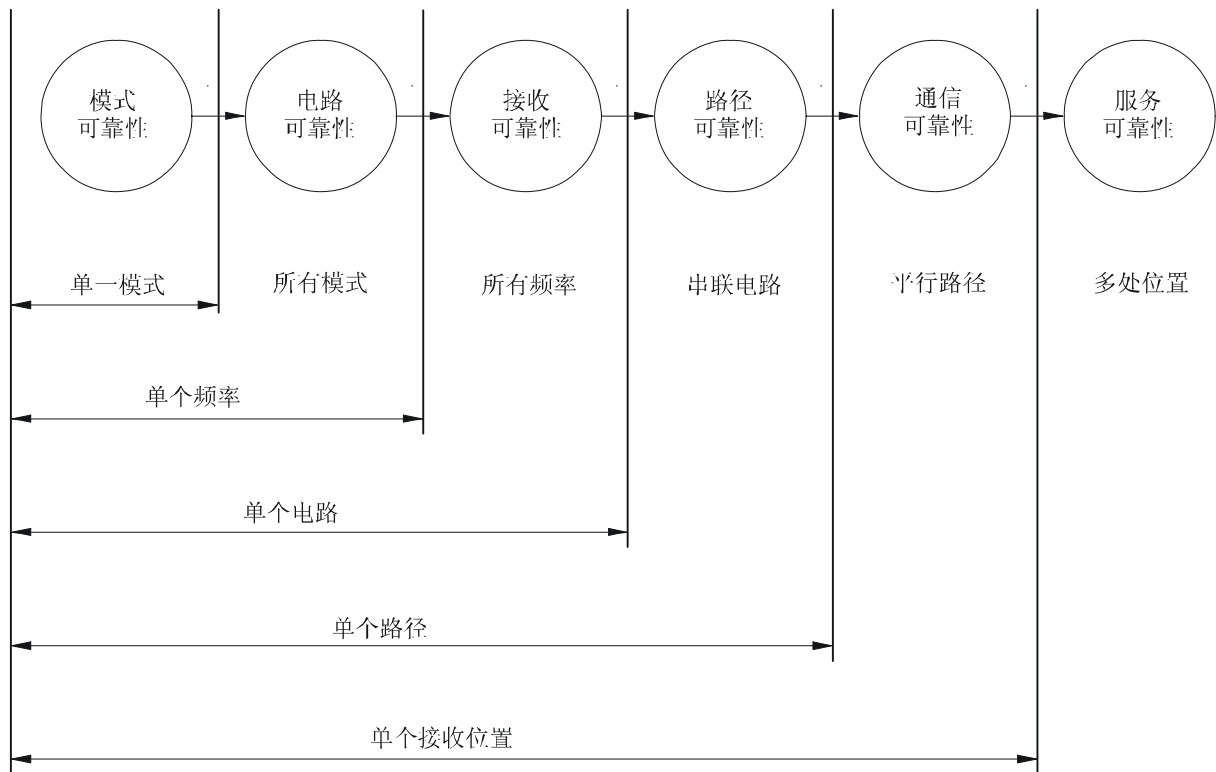
* 无线电通信第3研究组于2000年根据ITU-R 第44决议对此建议书进行了编辑性修正。

3 基本电路可靠性 (BCR) 计算

可使用表2中的信息根据表1列出的程序对BCR进行估算。

该程序包括对有用信号的可用接收机功率复合中间值（第1步）、信噪比中间值（第2和第3步）、产生的信噪比上十分位（第4至6步）和产生的信噪比下十分位（第7至第9步）进行中间计算。

图1
可靠性示意图



0842-01

要求的信噪比（第10步）是用户自定义的（ITU-R F.339建议书列出了各种性能所需的信噪比值）。这样可利用第11步中给出的统计分布估算BCR。

4 基本接收可靠性 (BRR)

$$\text{对 } n \text{ 个频率 } \quad BRR = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{BCR(f_i)}{100} \right) \right] \quad \%$$

其中 $BCR(f_i)$ 为频率 f_i 的BCR百分比。

对单个操作频率，BRR等于BCR。

表 1
BCR的计算

步骤	参数	参数描述	参数值来源
1	S	有用信号可用接收机功率中间值 (dBW)	ITU-R P.533建议书第6段的预测方法 P_r
2	$F_a A$ $F_a M$ $F_a G$	大气噪声噪声系数中间值 人为噪声噪声系数中间值 银河噪声噪声系数中间值	ITU-R P.372建议书
3	S/N	对带宽 b (Hz)产生的信噪比中间值(dB)	$S - 10 \log_{10} \left[10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}} \right] - 10 \log_{10} b + 204$
4	$D_u S_d$ $D_u S_h$	信号上十分位差 (每日) (dB) 信号下十分位差 (每时) (dB)	表2使用路径基本最高可用频率 (MUF) 5
5	$D_l A$ $D_l M$ $D_l G$	下十分位差(dB): 大气噪声 人为噪声 银河噪声	ITU-R P.372建议书 ITU-R P.372建议书 2
6	$D_u SN$	产生的信噪比(dB)的上十分位差	$D_u S_d$ 、 $D_u S_h$ 和 $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}}}{10^{\frac{F_a A - D_l A}{10}} + 10^{\frac{F_a M - D_l M}{10}} + 10^{\frac{F_a G - D_l G}{10}}} \right]$ 的 和的平方根

表 1(完)

步骤	参数	参数描述	参数值来源
7	$D_l S_d$ $D_l S_h$	信号下十分位差 (每日) (dB) 信号下十分位差 (每小时) (dB)	表2 使用路径的基本MUF 8
8	$D_u A$ $D_u M$ $D_u G$	上十分位差 (dB): 大气噪声 人为噪声 银河噪声	ITU-R P.372建议书 ITU-R P.372建议书 2
9	$D_l SN$	产生的信噪比(dB)的下十分位差	$D_l S_d$ 、 $D_l S_h$ 和 $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{F_a A + D_u A}{10}} + 10^{\frac{F_a M + D_u M}{10}} + 10^{\frac{F_a G + D_u G}{10}}}{10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}}} \right]$ 的平方根
10	S/N_r	要求的信噪比 (dB)	用户自定义
11	BCR	$S/N \geq S/N_r$ 时的基本电路可靠性(%)	$130 - 80 / (1 + (S/N - S/N_r) / D_l SN)$ 或100, 取二者中的最小值
		$S/N < S/N_r$ 时的基本电路可靠性(%)	$80 / (1 + (S/N_r - S/N) / D_u SN) - 30$ 或 0, 取二者中的最大值

表 2

每日变化中预测的有用信号和干扰信号可用接收机功率月
中间值的下十分位 (LD) 和上十分位 (UD) 差

地磁纬度 ⁽¹⁾	<60°		≥60°	
发射功率/预测的基本 MUF	LD	UD	LD	UD
≤0.8	8	6	11	9
1.0	12	8	16	11
1.2	13	12	17	12
1.4	10	13	13	13
1.6	8	12	11	12
1.8	8	9	11	9
2.0	8	9	11	9
3.0	7	8	9	8
4.0	6	7	8	7
≥5.0	5	7	7	7

(1) 如穿过发射机和接收机并处于距路径各端 1 000 公里的控制点之间的大圆部分上的任何点达到60°或更高的地磁纬度，则需使用 ≥60° 时的值（见 ITU-R P.1239建议书图2）。

5 基本业务可靠性 (BSR)

确定BSR需使用所要求服务区内的测试点。BSR是规定的一定比例的测试点超过的BRR的值。

6 总体电路、接收和服务可靠性计算

总体电路可靠性 (OCR) 的计算与计算BCR类似，但需计算从潜在的干扰发射机接收的功率总和并与可用信号进行比较，以确定每小时信干比 (S/I) 中间值每时和每日的分布情况。按照具体性能要求的每小时 S/I 中间值记录分布情况，以确定当月中电路可在仅存在干扰的情况下成功运行的时间段。这一比例与BCR进行比较，OCR是这些比例中的较小值。

与由 S/N 比值计算基本接收和服务可靠性使用的方法类似，总体接收和服务可靠性亦可由假定的每小时 S/I 比中间值的分布情况计算得出（见表3）。第3步要求的RF保护比可查阅有关固定业务的 ITU-R F.240建议书或有关广播业务的ITU-R BS.560建议书。

7 HF 网络中的可靠性估算

在终端间有多条电路的网络中，可使用路径和通信可靠性（见图1）。

表 3
OCR的计算

步骤	参数	参数描述	参数值来源
1	S	有用信号可用接收机功率中间值 (dBW)	ITU-R P.533建议书第6段的预测方法 P_r
2	I_1, I_2, \dots, I_i	干扰信号可用接收机功率中间值(dBW)	ITU-R P.533建议书第6段的预测方法 P_r
3	R_1, R_2, \dots, R_i	干扰信号相应保护比(dB)	用户自定义
4	S/I	所产生的信干比 (dB)中间值	$S - 10 \log_{10} \left[10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}} \right]$
5	$D_u S_d$ $D_l I_{1d}$ $D_l I_{2d}$... $D_l I_{id}$	有用信号上十分位差 干扰信号下十分位差 (每日) (dB)	表 2 使用路径基本 MUF
6	$D_u S_h$ $D_l I_{1h}$ $D_l I_{2h}$... $D_l I_{ih}$	有用信号上十分位差 干扰信号下十分位差 (每时) (dB)	5 8
7	$D_u SI$	所产生的信干比(dB)上十分位差	$D_u S_d, D_u S_h,$ $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1 - D_l I_{1d}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 - D_l I_{2d}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i - D_l I_{id}}{10}}} \right]$ 和 $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1 - D_l I_{1h}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 - D_l I_{2h}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i - D_l I_{ih}}{10}}} \right]$ 的平方根

表 3 (完)

步骤	参数	参数描述	参数值来源
8	$D_l S_d$ $D_u I_{1d}$ $D_u I_{2d}$... $D_u I_{id}$	有用信号下十分位差 干扰信号上十分位差 (每日) (dB)	表2 使用路径基本 MUF
9	$D_l S_h$ $D_u I_{1h}$ $D_u I_{2h}$... $D_u I_{ih}$	有用信号下十分位差 干扰信号上十分位差 (每时) (dB)	8 5
10	$D_l SI$	产生的信干比(dB)下十分位差	$D_l S_d, D_l S_h,$ $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1 + D_u I_{1d}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 + D_u I_{2d}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i + D_u I_{id}}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}} \right]$ 和 $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1 + D_u I_{1h}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 + D_u I_{2h}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i + D_u I_{ih}}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}} \right]$ 的平方根
11	S/I_r	要求的信干比 (dB)	用户自定义
12	ICR	$S/I \geq S/I_r$ 时, 仅受到干扰 (无噪声) 的电路可靠性(%)	$130 - 80 / (1 + (S/I - S/I_r) / D_l SI)$ 或 100, 取二者中的最小值
		$S/I < S/I_r$ 时, 仅受到干扰 (无噪声) 的电路可靠性(%)	$80 / (1 + (S/I_r - S/I) / D_u SI) - 30$ 或 0, 取二者中的最大值
13	BCR	基本电路可靠性 (%)	表 1
14	OCR	总体电路可靠性 (%)	最小值 (ICR, BCR)

7.1 基本路径可靠性 (BPR)

对于一条以上电路的情况，BPR的下界估计值为路径上所有电路BRR的乘积即：

$$BPR = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{BRR_i}{100} \right) \right] \quad \%$$

其中 BRR_i 为路径 i 的BRR，上界估计值为最小的BRR。

对单条电路，BPR 等于 BRR。

7.2 基本通信可靠性 (R)

对于一条以上路径的情况， R 的下界估计值可用路径可靠性的最大值表示，上界估计值可表示为：

$$R = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{BPR_i}{100} \right) \right] \quad \%$$

其中 BPR_i 为路径 i 的基本路径可靠性。

对于单个路径的情况， R 等于 BPR。

8 兼容性计算

兼容性是对一条所需电路或业务在受到干扰时发生退化的衡量。对于单条点到点电路，电路兼容性 (CC) 可用受到干扰时在接收机位置实现的特定标准的服务质量的时间与仅存在噪声时的值 (BCR) 的百分比表示：

$$CC = 100 \frac{OCR}{BCR} \quad \%$$

同OCR与BCR的比；

如所需业务适用于一个地区而非单个接收点，兼容性可用两种方式表示：

- 时间服务兼容性 (TSC) 是在存在干扰的情况下目标地区 p_A 一定比例的部分可享受服务的时间 (总体服务可靠性 (OSR)) 与仅存在环境噪声时的值 (BSR) 的百分比：

$$TSC = 100 \frac{OSR(p_A)}{BSR(p_A)} \quad \%$$

同OSR与BSR的比；

- 地区服务兼容性 (ASC) 是在存在干扰 A_I 的情况下在一定比例的时间 p_T 可享受业务的目标区与仅存在环境噪声 A_N 时的值的百分比:

$$ASC = 100 \frac{A_I(p_T)}{A_N(p_T)} \quad \%$$

其中地区 A 可用满足所需条件的测试点的数量表示。

9 数字调制系统的BCR

对于数字调制系统, 可以采用简化的近似方法计算:

$$BCR(\%) = R_{SN} \cdot R_T \cdot R_F$$

其中:

R_{SN} : 达到要求的信噪比 SN_0 的概率

R_T : 相对于峰值信号幅度 -10 dB 电平上所要求的时间段 T_0 不被超过的概率

R_F : 相对于峰值信号幅度 -10 dB 电平上所要求的频率离散 f_0 不被超过的概率。

这些相对电平的适当值可按照所用调制方式的具体情况选取。

三项单独概率评估如下:

$$\begin{aligned} R_{SN}(\%) &= 130 - 80/[1 + (SN_m - SN_0)/D_l] \text{ 或 } 100, \text{ 取较小者} && \text{对于 } SN_m \geq SN_0 \\ &= 80/[1 + (SN_0 - SN_m)/D_u] - 30 \text{ 或 } 0, \text{ 取较大者} && \text{对于 } SN_m < SN_0 \\ R_T(\%) &= 130 - 80/[1 + (T_0 - T_m)/D_{Tu}] \text{ 或 } 100, \text{ 取较小者} && \text{对于 } T_m \leq T_0 \\ &= 80/[1 + (T_m - T_0)/D_{Tl}] - 30 \text{ 或 } 0, \text{ 取较大者} && \text{对于 } T_m > T_0 \\ R_F(\%) &= 130 - 80/[1 + (F_0 - F_m)/D_{Fu}] \text{ 或 } 100, \text{ 取较小者} && \text{对于 } F_m \leq F_0 \\ &= 80/[1 + (F_m - F_0)/D_{Fl}] - 30 \text{ 或 } 0, \text{ 取较大者} && \text{对于 } F_m > F_0 \end{aligned}$$

SN_m 、 D_l 和 D_u 分别代表 S/N 比的月中值、月中值偏差的上、下十分值。评估办法按照第3段表1和表2给出的步骤进行。 T_m 、 D_{Tu} 和 D_{Tl} 分别表示相应的时间段参数, F_m 、 D_{Fu} 和 D_{Fl} 分别表示相对应的频率离散参数。

$D_{Tu} = D_{Tl} = 0.15 T_m$, $D_{Fu} = D_{Fl} = 0.10 F_m$, 传输距离为 $D(\text{km})$, 在基本 MUF 路径上, 传输使用频率 $f(\text{MHz})$ 等于 f_b 时, $T_m(\text{ms})$ 和 $F_m(\text{Hz})$ 可计算如下:

$$\begin{aligned} T_m &= 2.5 \times 10^7 D^{-2} (1 - f/f_b)^2 \text{ 或者 } 7 - 0.00175D, \text{ 取较小者} && \text{对于 } D \leq 2000 \text{ km} \\ &= 4.27 \times 10^{-2} D^{0.65} (1 - f/f_b)^2 \text{ 或 } 3.5, \text{ 取较小者} && \text{对于 } D > 2000 \text{ km} \\ F_m &= 0.02 f T_m \end{aligned}$$

附录1

本建议书提供了下列定义：

1 与HF无线电通信系统操作和设计相关的术语**可靠性**

实现特定性能的可能性。

电路可靠性

对一个电路，在单一频率实现特定性能的可能性

接收可靠性

对一个电路，在考虑到所有与所需信号相关的发射功率的情况下实现某个特定性能的可能性

路径可靠性

一对终端，在考虑到所有发射功率的情况下，在终端间由一条或多条毗连电路组成的单个路径上实现特定性能的可能性。

通信可靠性

一对终端，在考虑到其间所有路径和与所需信号相关的所有频率的情况下，实现特定性能的可能性。

服务可能性

对一个服务区，在考虑到所有发射功率的情况下实现特定性能的可能性。

地区可靠性

在一个服务区，基本接收可靠性大于一个要求的特定值的测试点的百分比。

注 1 – 在上述术语中，电路指由一个发射机到一个接收位置（无论有无变化）的传输链路。

注 2 – 如仅存在噪声，则在上述术语前使用“基本”，如存在噪声和干扰则使用“总体”。

注 3 – 如存在噪声和干扰，则上述术语可能与单个干扰源的影响或来自同信道和临信道传输的多方干扰相关。

注 4 – 对多种应用，宜使用特定的信背比值作为特定性能。

注 5 – 上述术语（如可靠性）与一个或多个应加以说明的时间段相关。

注 6 – 对于广播应用，术语“业务可靠性”应替换为“广播可靠性”，用于描述服务区内特定数量的测试点的情况。

2 与预测方法相关的术语

模式可靠性

对于一个电路，在单一频率通过单一模式实现特定性能的可能性。

模式可用性

对单个电路，单一模式在单一频率仅通过电离折射进行传播的可能性。

模式性能实现

对单个电路，如单个模式可仅通过电离折射进行传播，则该模式在单一频率实现特定性能的可能性。

注 1 – 第1款的注4和5适用。
