

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R M.1472-1 建议书**  
(01/2010)

**1-3 GHz频段时分多址/频分多址  
(TDMA/FDMA)卫星移动业务  
(MSS)空对地传输对频分多址-  
调频(FDM-FM)模拟视距(LoS)  
固定业务接收机基带性能  
影响的评估方法**

**M 系列**

**移动、无线电定位、业余  
和相关卫星业务**



## 前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

## 知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

## ITU-R系列建议书

(也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传送
<b>BR</b>	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	广播业务（电视）
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	<b>移动、无线电定位、业余和相关卫星业务</b>
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
<b>SM</b>	频谱管理
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射
<b>V</b>	词汇和相关问题

**说明：** 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版  
2010年，日内瓦

© ITU 2010

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## ITU-R M.1472-1建议书\*

1-3 GHz频段时分多址/频分多址 (TDMA/FDMA)  
卫星移动业务 (MSS) 空对地传输对频分多址 – 调频  
(FDM-FM) 模拟视距 (LoS) 固定业务接收机  
基带性能影响的评估方法

(ITU-R第201/4和ITU-R 118/5号课题)

(2000-2010年)

### 范围

本建议书提出了1-3 GHz频段时分多址/频分多址 (TDMA/FDMA) 卫星移动业务 (MSS) 空对地传输对频分多址 – 调频 (FDM-FM) 模拟视距 (LoS) 固定业务接收机基带性能影响的评估方法。此方法亦可用于详细的MSS/FS协调, 进一步优化ITU-R M.1319建议书所述方法得出的结果。

国际电联无线电通信全会,

考虑到

- a) 1 518-1 525 MHz频段在各区作为共同主要业务划分给卫星移动业务 (MSS) (空对地) 和固定业务 (FS);
- b) 1 525-1 559 MHz频段在各区作为主要业务划分给MSS (空对地);
- c) 此外, 1 525-1 530 MHz频段在1区和3区作为主要业务划分给固定业务, 1 550-1 559 MHz频段在某些国家作为主要业务划分给固定业务;
- d) 2 170-2 200 MHz频段在各区以及2 160-2 170 MHz在2区作为共同主要业务划分给MSS (空对地) 和固定业务;
- e) 移动卫星的发射会对这些频段内操作的视距 (LoS) 接收机造成干扰;
- f) 此类干扰涉及时变现象, 例如干扰几何学、传播条件和MSS业务;
- g) 通常计算机仿真是精确评估此类干扰的唯一方法;
- h) 此类仿真的输出通常采用的形式为特定固定业务系统的 $C/I$ 、 $C/N$ 和 $C/(N+I)$ ;

---

\* 此为无线电通信第4和第5研究组的联合建议书, 且任何修订均应共同实施。

j) 此类干扰的影响和可接受性在大多数情况下均可通过细致的双边协调进行评估，通过计算机仿真ITU-R M.1319建议书所述无线电频率的 $C/N$ 、 $C/I$ 和 $C/(N+I)$ 统计数据开展研究；

k) 在某些关键时刻，或许有必要在双边细节协调过程中进行评估，通过计算机仿真模拟FDM-FM固定业务基带性能目标的干扰影响，

#### 建议

1 附件1所述方法可用于相关方的双边细节协调，详细评估1-3 GHz MSS划分中TDMA/FDMA MSS卫星所产生的干扰对模拟FDM-FM LoS固定业务接收机基带性能产生的影响，在此情况下通过ITU-R M.1319建议书所述方法取得的结果需要进一步微调（参见注1、2和3）。

注1 – 应用本建议书中所述方法需要制定算法或计算程序，解决上述各项考虑的实施问题。在任何双边协调中使用或采纳这些算法或程序，均需要相关方的同意。

注2 – 在大量固定业务系统投入使用的国家，或许仅分析现有的代表性固定业务系统便足以达到效果，分析采用实际的固定业务参数，特别应将对干扰最为敏感的固定业务系统考虑进去。最为敏感的固定业务系统通常是那些靠近最差方位角方向的系统；此方向可在MSS系统轨道特性的基础上确定。但是，此问题需要相关方的同意。

注3 – 鉴于没有必要仿真MSS群的轨道机械特性，GSO MSS系统的计算被明显简化，但在评估干扰的影响时，仍需考虑多个GSO MSS卫星的潜在干扰。

## 附件 1

### 1-3 GHz TDMA/FDMA MSS系统对FDM-FM视距固定业务接收机基带性能影响的评估方法

#### 1 简介

MSS和固定业务的共用涉及时变现象，例如干扰几何学、传播条件等。通常仿真是精确评估MSS与固定业务系统间干扰的唯一方法。此类仿真的输出通常采用的形式为射频的 $C/I$ 、 $C/N$ 和 $C/(N+I)$ 统计数据，一般将其表示为累积分布函数。

ITU-R M.1319建议书提供了一种方法，其中ITU-R F.393<sup>1</sup>建议书和ITU-R F.393<sup>2</sup>建议书提出的模拟FDM-FM和TV-FM固定业务系统基带性能目标可以在相应比例的时间内转化为对应的射频 $C/(N+I)$ 要求，如有必要可通过调节来处理短于参考电路的实际固定业务路径。这些对等的射频性能目标被绘制在 $C/(N+I)$ 的累积分布图中，用于判定来自MSS卫星的干扰是否可以接受。

尽管ITU-R M.1319建议书所述方法需要大量的计算机仿真，但由于其所有计算和对比均在射频域内，因此其软件实施方式相对直接。正式要求协调并触发了《无线电规则》的应用条件后，ITU-R M.1319建议书的方法将应用于各主管部门的细节协调阶段，在考虑到实际的固定业务系统信息及相关的ITU-R性能和可用性目标的情况下，用于确定干扰是否可被接受。

在双边协调阶段的某些情况下，相关方可能有必要进一步检查MSS干扰对模拟固定业务系统性能目标的影响。当上述ITU-R M.1319建议书所述仿真方法取得的结果不足以完成频率协调时，可能会出现这种情况。

本附件旨在介绍能够更精确地评估FDM-FM模拟固定业务载波基带性能损害的方法，并考虑到多条窄带干扰载波中存在的变化频率间隔，认识到干扰降低因子或 $B$ 因子以及ITU-R SF.766建议书的保护比要求表明，有用和干扰载波与频率间隔间存在很强的依赖性。

本附件中介绍的方法定会涉及比ITU-R M.1319建议书更为复杂的仿真工具，预计需要更多的计算机资源来实施。

## 2 FDM-FM固定业务系统使用的方法

### 2.1 用于仿真的参考FDM-FM固定业务系统

在详细协调阶段，预计实际模拟固定业务路径参数将可供使用，从而能够对MSS干扰的影响做出评估。人们注意到在1-3 GHz范围内，固定业务调制解调器内的中间固定业务电台通常配有中频（IF）中继器。解调在终端电台实施。由于基带的解调工作不在中间中继器内操作，因此只需在调制解调器内的末端/终端中继器或实际的固定业务路径上计算基带干扰。

---

<sup>1</sup> ITU-R F.393建议书于2007年废止。但些建议书适用的某些固定系统仍将存在。

<sup>2</sup> ITU-R F.393建议书于2007年废止。但些建议书适用的某些固定系统仍将存在。

根据ITU-R F.393建议书，FDM无线电中继系统2500公里假设参考电路内电话信道中的零相对电平点的最大允许噪声功率值，不得超出下文所述的数值，这些数值的选择考虑到了负面传播条件：

- 7500 pW0p，噪声加权一分钟平均功率每月超过20%；
- 47500 pW0p，噪声加权一分钟平均功率每月超过0.1%；
- 1000000 pW0，每个未加权情况（集成时间为5 ms）超过0.01%。

## 2.2 基带干扰和热噪声统计数据的估算

### 2.2.1 一般说明

可用如下方式评估窄带调制/接入机制MSS卫星系统对FDM-FM基带电话信道干扰的影响。

使用ITU-R M.1319建议书所述仿真方法，在仿真期的每一时长固定业务路径上的各固定业务接收机均可对C/I和C/N值进行评估，且目前在FDM-FM固定业务接收机的接收带宽内对各个TDMA/FDMA MSS载波的C/I电平予以计算。

第k接收机的r.f.干扰功率可作为ITU-R M.1143建议书附件1中公式（1）的第k项。第k接收机接收的载波功能包括无线电中继路径上第k跳多径衰落产生的损耗。

如果在各时间段各窄带MSS载波的C/I值已知，则下一步是将C/I值转换为基带噪声功率。基带噪声功率的计算方法是基于ITU-R SF.766建议书。干扰削减因子B（dB）的表达如下：

$$B = 10 \log \frac{2(\delta f)^2 p(f/f_m)}{b f^2 D(f, f_0)} \quad (1)$$

$$D(f, f_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(F) P_1(f + f_0 - F) dF + \int_{-\infty}^{+\infty} S(F) P_1(f - f_0 - F) dF + S(f + f_0) P_{10} + S(f - f_0) P_{10} + S_0 P_1(f + f_0) + S_0 P_1(f - f_0) + \frac{S_0 P_{10}}{b} \delta(f - f_0) \quad (2)$$

$$P_1(f) = P(f) A^2(f) \quad (3)$$

$$P_{10} = P_0 A^2(0) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \delta(f - f_0) &= 1 && \text{此时 } f = f_0 \\ \delta(f - f_0) &= 0 && \text{此时 } f \neq f_0 \end{aligned} \quad (4a)$$

式中：

$\delta f$ : r.m.s. 有用信号测试音频的偏差（无预加重）（kHz）

$f$ : 有用信号基带内相关频道的中心频率（kHz）

- $f_m$ : 有用信号基带的上半部分频率 (kHz)
- $p(f/f_m)$ : 有用载波基带内, 相关频道中心频率的预加重因子
- $b$ : 电话信道的带宽 (3.1 kHz)
- $f_0$ : 有用信号与干扰信号载波之间的间隔 (kHz)
- $S(f)$ : 预加重有用信号归一功率频谱密度的连续部分 ( $\text{Hz}^{-1}$ )
- $S_0$ : 有用信号的归一残余载波功率
- $P(f)$ : 干扰信号归一功率频谱密度的连续部分 ( $\text{Hz}^{-1}$ )
- $P_0$ : 干扰信号的归一残余载波功率
- $A(f)$ : 有用信号接收滤波器的振幅频率响应, 频率源为干扰信号载波的中心频率。

功率频谱密度通过归一化实现统一且假设采用单边带 (只有正频率)。

用  $C/I$  比表示的  $N_p$  推导自表达式 (5) 和 (6)。为确定  $N_p$ , 有必要判定:

- 有用信号的频谱 (模拟电话);
- 干扰信号频谱。

加权干扰功率 ( $N_p$ ) 的获取形式为 1.75 kHz 的未加权功率, 其公式为:

$$N_p = 10^{0.1(87.5 - B - C/I)} \quad (5)$$

式中  $C/I$  为载干比 (dB)。

干扰削减因子的计算涉及有用与干扰功率频谱的卷积。ITU-R SF.766 建议书给出了各类信道容量固定业务中继系统的功率频谱。一旦干扰削减因子得出了表达式或数值, 基带的噪声计算就会变得十分直接。

各固定业务接收机的基带热噪声电平可在各时长内, 可使用  $C/N$  和适用于 FDM-FM 固定业务系统的基带  $S/N$  间的标准关系进行计算。

各时长内相关无线电中继路径终段的总基带噪声可用下述公式判定:

$$(I + N)_{BB} = \sum_k (N_{pk} + N_{Tk} + N_{Ik} L_{MPk}) + N_{other} \quad (6)$$

式中:

- $(I + N)_{BB}$ : 相关 FS 路径上的总基带噪声 (pW)
- $N_{pk}$ : 公式 (5) 中第  $k$  接收机的加权干扰功率
- $N_{Tk}$ : 第  $k$  接收机输出端的热噪声
- $N_{Ik}$ : 第  $k$  接收机处预计的基带内部服务干扰噪声
- $L_{MPk}$ : 第  $k$  跳的多径衰落损耗

$N_{other}$ : 其它来源的基带系统噪声。(对电话使用的模拟FM无线电中继系统而言, 各项因子应考虑到互调失真噪声以及复用器/去复用器等系统组成部分和进入链路的影响。)

注意, 尽管 $N_{pk}$ 和 $N_{Tk}$ 已经考虑到了自动增益控制的调整, 但公式(6)中三项之和仍将随第 $k$ 跳的多径衰落损耗而调整。

可通过对各时长的总基带噪声进行评估得出总基带噪声的统计数值。

### 2.2.2 具体方法

FDM-FM 系统中给定电话信道集总干扰噪声和热噪声(通常为最大噪声)的计算涉及下述步骤:

步骤 1: 考虑到某特定段跳频多径衰落的情况, 在各固定业务接收站 $C$ 的各时长计算噪声值。计算中, 通过随机衰落深度预测器将多径衰落因素考虑在内, 其输出值与ITU-R P.530建议书的多径衰落模型推导出的统计分布值相符。

步骤 2: 考虑到MSS卫星点波束和接收固定业务天线的鉴别, MSS卫星点波束功率/业务负载和频率规划, 在各固定业务接收站 $I$ 的各时长, 计算各可视MSS卫星的点波束干扰TDMA/FDMA MSS载波产生的噪声值。

步骤 3: 针对 $C/I$ 的各时长, 计算各可视MSS卫星的点波束干扰TDMA/FDMA MSS载波产生的噪声值, 并计算固定业务接收站的 $C/N$ 。

步骤 4: 在集总 $C/I$ 和 $C/N$ 的各时长计算固定业务系统的噪声。

步骤 5: 在终端固定业务接收站, 使用公式(1)计算各时长各频率偏移间隔的干扰削减因子或 $B$ 因子, 用公式(5)计算各时长的基带干扰噪声功率。此类计算基于各载波的 $C/I$ 估算值, 并考虑到了干扰TDMA窄带MSS载波的划分带宽。对于各类频率偏移,  $B$ 因子值可使用查询表。

步骤 6: 在终端固定业务接收站, 使用给定FDM-FM固定业务系统适用的 $C/N$ 至 $S/N$ 转换值, 在 $C/N$ 估算值的基础上计算各时长的基带热噪声。

步骤 7: 在终端固定业务接收站, 计算源自各TDMA/FDMA MSS干扰载波和最高基带信道内热噪声功率在各时长产生的集总基带干扰之和。

步骤 8: 在有效的统计区间内, 上述步骤将在各时长重复。此统计区间相当于MSS卫星群的完整或对等轨道周期, 是多径衰落行为的典型周期。

步骤 9: 最终将计算总基带噪声的概率分布并将其绘制成图。此后, 按照比例将该结果与ITU-R F.393建议书的目标对比。

## 3 示例

附件1中给出了上述方法的示例。



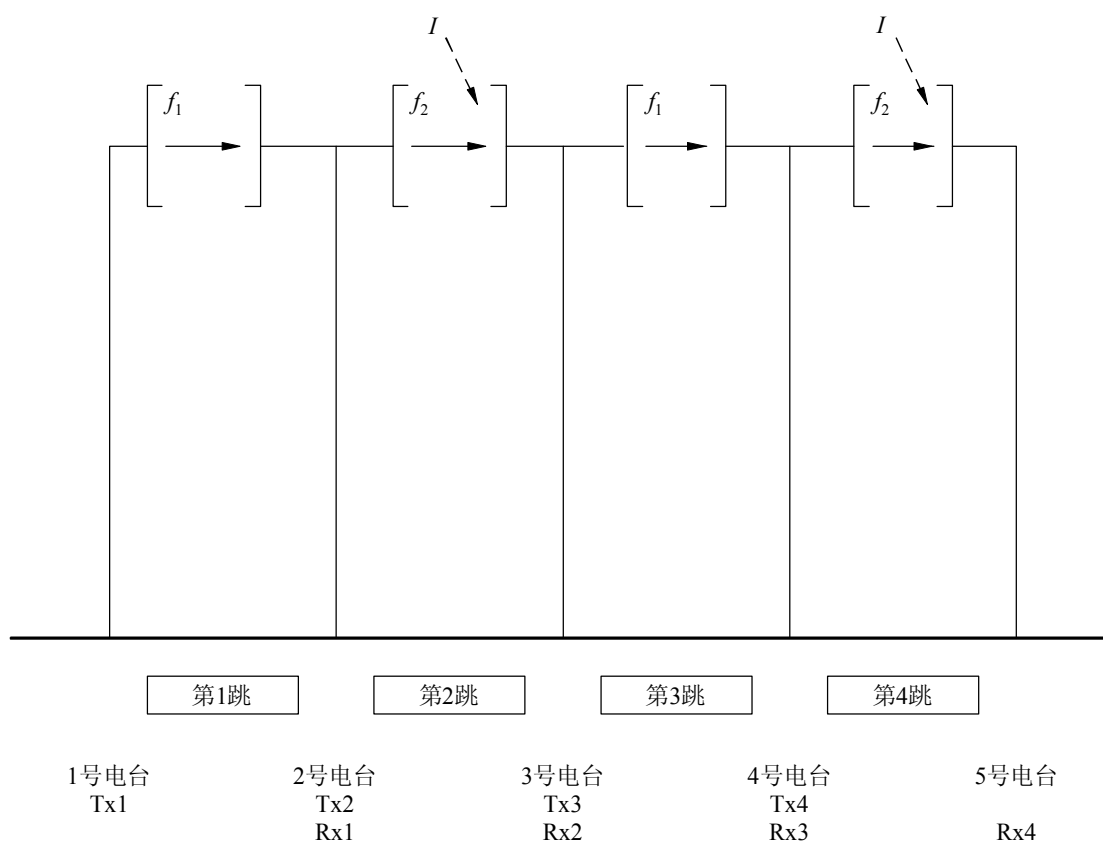
## 附件1的 附录1

### LEO-F 系统对4跳960信道FDM-FM无线电中继系统 所产生基带干扰的计算方法应用示例

#### 1 简介

本附录内，附件1中所述方法适用于计算LEO-F系统对2 GHz、4跳频960信道FDM-FM示例无线电中继系统产生的基带干扰和热噪声（参见图1）。

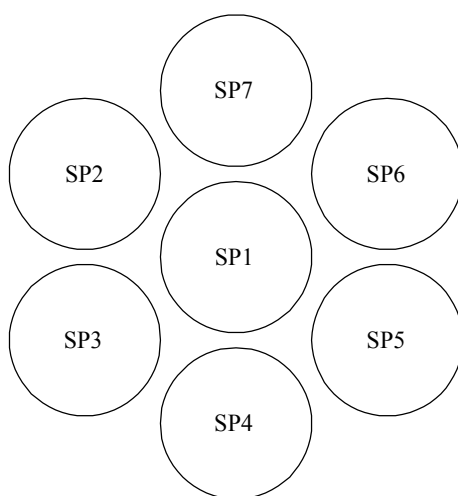
图 1  
LoS无线电中继系统的布局



## 2 LEO-F系统和FDM-FM中继系统的频率规划

本规划考虑了七小区频率复用模式。假设六个点波束（SP2、SP3、SP4、SP5、SP6和SP7）分别为1 MHz带宽且一个点波束（SP1）为2 MHz带宽。假设FDM-FM系统使用2 181-2 189 MHz的频率扫描（参见图2）。假设FDM-FM的中心频率为2 185 MHz且带宽为20 MHz。

图 2  
LEO-F系统点波束和960信道FDM-FM系统的频率规划



SP2	SP3	SP4	SP1	SP5	SP6	SP7
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

2 181    2 182    2 183    2 184                    2 186    2 187    2 188    2 189 MHz

1472-02

## 3 FDM-FM固定业务系统的发射参数

ITU-R F.1245用于提供固定业务天线的偏轴增益图。表1给出了FDM-FM系统参数。960信道固定业务的归一化的功率频谱取自ITU-R SF.766建议书中的图形（参见图3a）。窄带TDMA QPSK载波假设使用 $(\sin x/x)^2$ 图（参见图3b）。表2列出了仿真过程中使用的FDM-FM固定业务系统站具体参数及发射频率。

表 1

FDM-FM系统参数

参数	960信道固定业务系统
RF带宽 (MHz)	20
最高基带频率 (kHz)	4 028
较低基带频率 (kHz)	60
RMS测试音频偏差 (kHz)	200
负载因子	5.5
RMS多信道偏差 (kHz)	1 100
多信道调制指标	0.273
归一化的剩余载波 (dB)	-9.21
LOS接收机天线增益 (dBi) (3.7 米直径)	34
馈线复用器损耗 (dB)	3
最大发射机输出功率电平 (dBW)	7
额定接收机输入功率电平 (dBW)	-64
接收机噪声值 <sup>(1)</sup> (dB)	10

<sup>(1)</sup> 此示例计算使用的噪声值为10 dB，此频段内更为恰当的噪声代表值为8 dB。

表 2

FDM-FM系统电台和载波频率的细节

电台 (STN)	纬度	经度	跳频长度 (km)	发射频率 (MHz)	接收频率 (MHz)
STN 1	29.66° N	122.50° E	48.5	2 166	-
STN 2	29.94° N	122.12° E	48.4	2 185	2 166
STN 3	30.22° N	121.73° E	48.4	2 166	2 185
STN 4	30.50° N	121.35° E	48.3	2 185	2 166
STN 5	30.78° N	120.96° E	-	-	2 185

接收机4的最差方位角指向：49.9°。

图3a  
960信道FDM-FM载波的归一化功率频谱

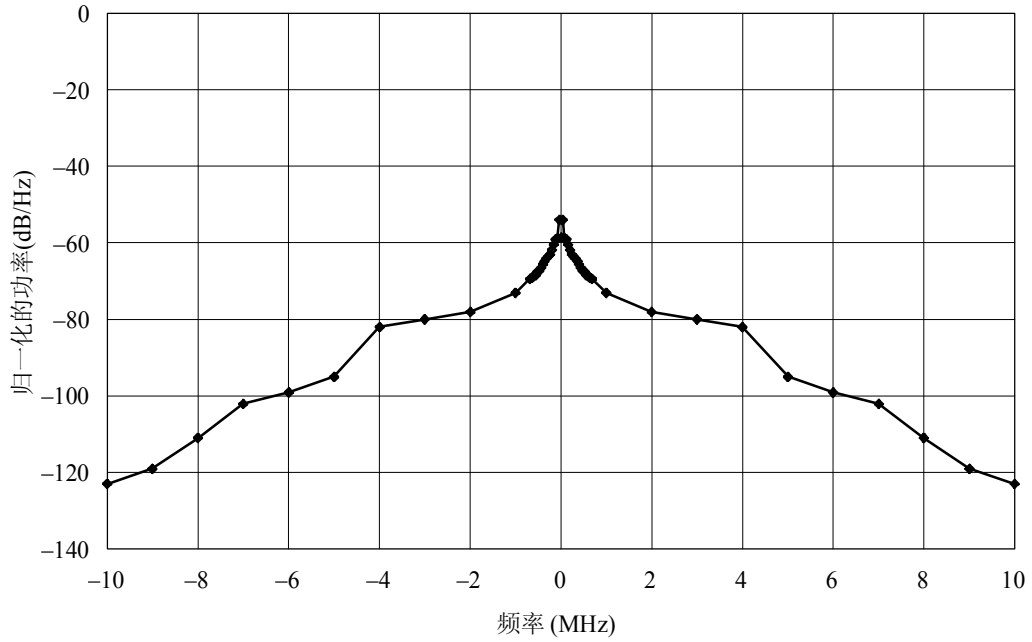
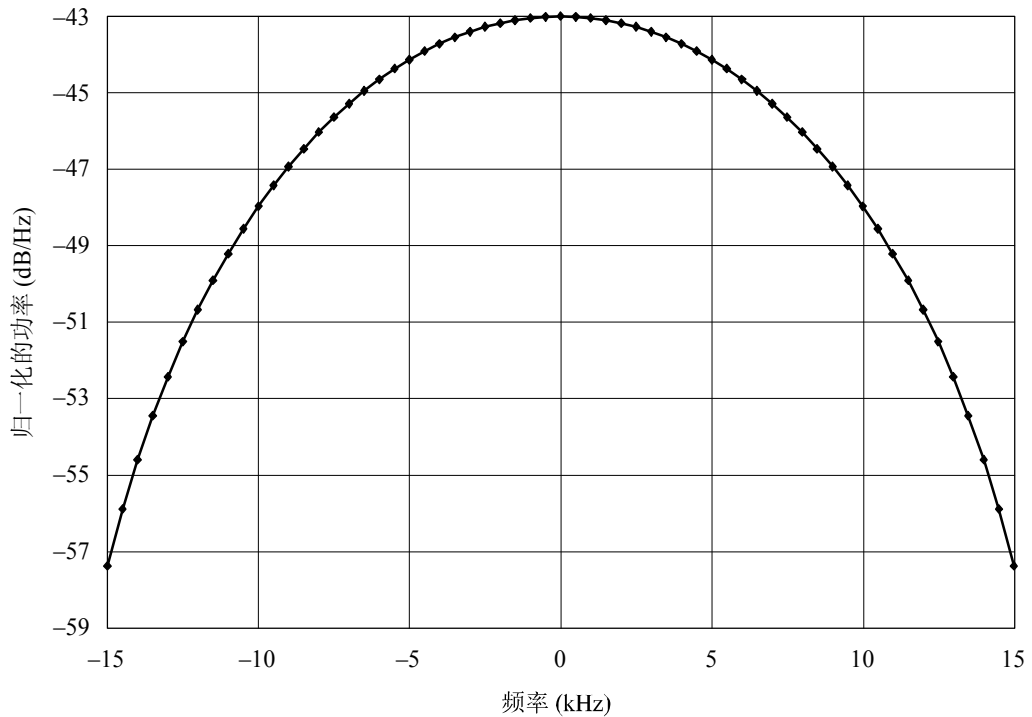


图3b  
25 kHz TDMA/QPSK载波LEO-F系统的归一化功率频谱



#### 4 LEO-F系统参数

此仿真假设点波束的等效全向辐射功率（e.i.r.p.）为32.2 dBW，3.4°时的波束宽度为3 dB，且偏轴方向图为 $-12(\theta/\theta_0)^2$ （dB）。表3中总结了LEO-F系统的其它参数。

表 3  
LEO-F参数

##### a) 卫星群的详细参数

卫星的数量	10
高度 (km)	10 355
层的数量	2
轨道倾角 (度)	45
每层卫星的数量	5
层间相位 (度)	0
层间相位 (度)	72

##### b) 频段 (业务链路)

地对空 (MHz)	1 980-2 010
空对地 (MHz)	2 170-2 200

##### c) 卫星波束/载波业务

点波束的数量	163
载波类型	TDMA/FDMA
载波符号率 (ksymbol/s)	18
载波划分带宽 (kHz)	25
波束e.i.r.p./载波 (dBW)	32.2
话音时隙的数量/TDMA猝发串	6
最大卫星容量	4 500话音信道
每波束的最大业务负载	1 MHz/2 MHz

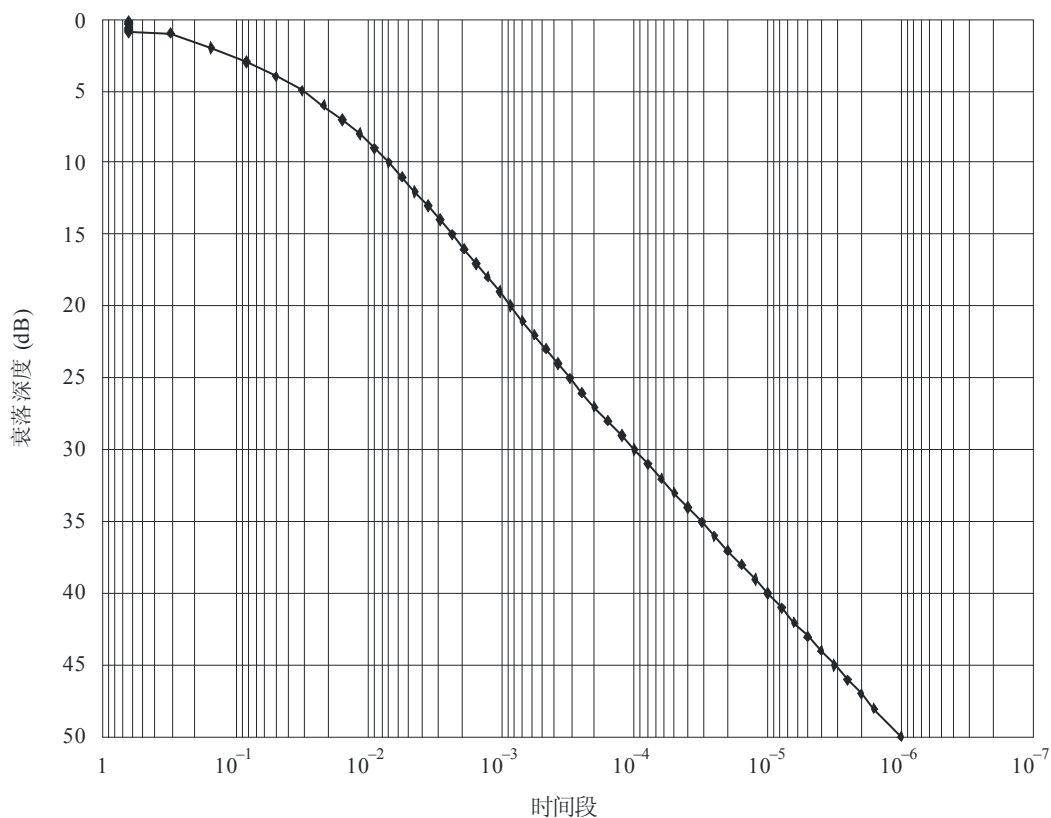
#### 5 FS衰落分布

ITU-R P.530建议书用于评估各类时间百分比的衰落分布。图4中列出的是中国北纬30.78°和东经129.96°位置上各类时间百分比时的典型衰落分布。

图4

衰减深度作为时间函数

中国境内典型位置上衰落深度超过平均最差目的时段



1472-04

## 6 B因子值

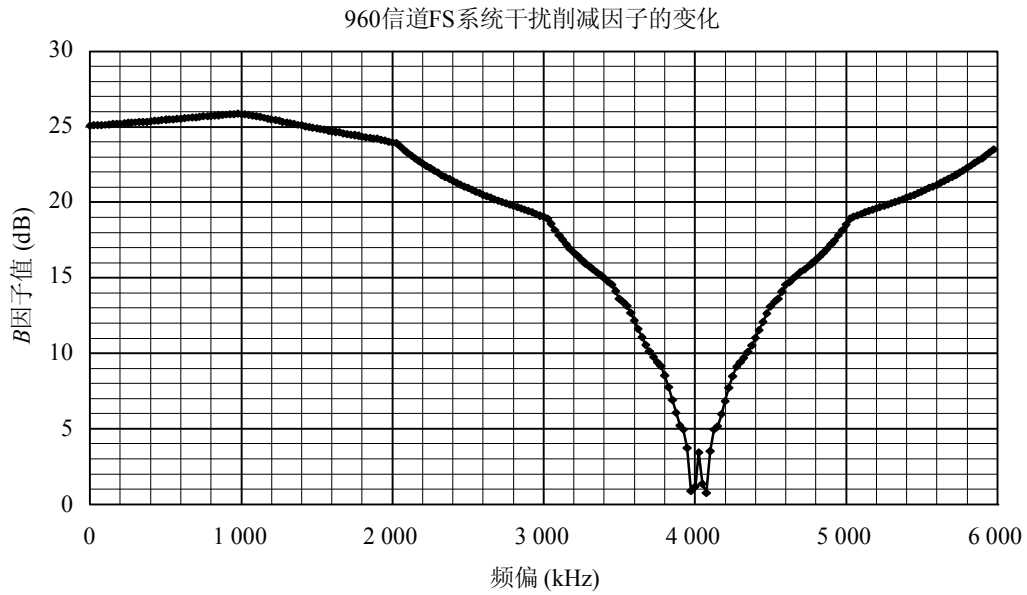
图5给出了960信道FDM-FM功率频率与25 kHz QPSK/TDMA载波的卷积得出的、不同频偏状态下的B因子值。

## 7 仿真结果

时长为50秒的情况下针对最差方位角进行仿真。仿真的总时长为50天。图6画出了各时间比例情况下干扰加热噪声功率值的分布情况。

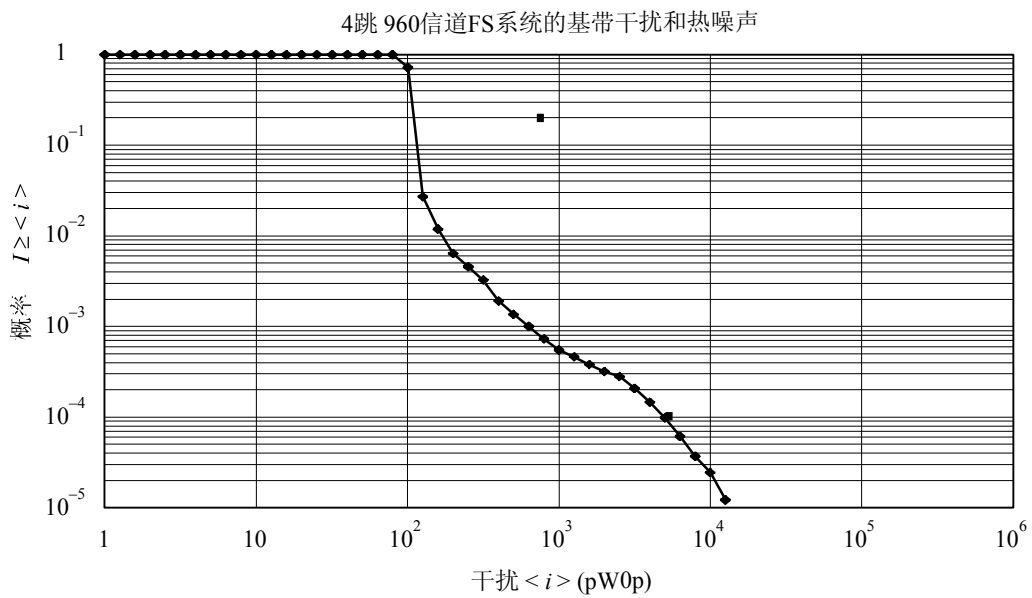
FDM-FM的干扰噪声值与ITU-R F.393建议书的目标进行了对比，且本例中对这些目标实施了线性分配。可以看出，无论长期目标还是短期目标均很容易达到。线性分配的假设有待进一步研究。

图5  
B因子值作为FDM-FM系统频率分割的函数



1472-05

图6  
FDM-FM系统的基带干扰和热噪声分布



- 1系列
- ITU-R F.393建议书

1472-06