

(俄)A.Л.巴达洛夫 A.C.米哈依洛夫 著

无线电电子系统 电磁兼容性参数 规范手册

张鸣瑞 译

国防工业出版社

中国人民解放军总装备部专项资金资助出版

无线电电子系统电磁兼容性 参数规范手册

(俄)A. Л. 巴达洛夫 A. C. 米哈依洛夫 著

张鸣瑞 译

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

无线电电子系统电磁兼容性参数规范手册 / (俄罗斯) 巴达洛夫 (Бадалов, А. Л.) 等著; 张鸣瑞译. —北京: 国防工业出版社, 1999.2

ISBN 7-118-01884-8

I. 无… II. 张… III. 电磁兼容性—参数—手册
IV. TN03-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 03121 号

А. Л. БАДАЛОВ, А. С. МИХАЙЛОВ. СПРАВОЧНИК. НОРМЫ
НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РЭС.
МОСКВА: РАДИОИ СВЯЗЬ, 1990

本书已由莫斯科无线电与通信出版社授权北京国防工业出版社中文版的专有出版权。版权所有, 翻印必究

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10½ 275 千字

1999 年 2 月第 1 版 1999 年 2 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 19.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

随着无线电技术的发展，应用于国家国民经济各个领域中的无线电电子装置的数目也随着增加，由此无线电电子装置的工作频率占用问题更加尖锐，目前工作频率的资源已经极为有限。使频率满足仍然在增加的无线电电子装置数目的途径之一是完善无线电电子装置的无线电辐射与接收的参数，特别是那些确定无线电辐射的占有带宽和影响无线电电子装置电磁兼容性的参数。在国家标准和全苏无线电电子装置无线电辐射与接收参数的规范中对无线电辐射与接收参数均有明确的规定。

在国家标准、全苏规范、无线电通信规程经互会建议和标准、国际无线电咨询委员会（MKKP）的建议以及国际电气委员会（MЭК）的建议和标准中均有关于无线电电子装置电磁兼容性参数规范的信息内容，这些规范在技术标准信息内容上的多样性对正确的选择规范和应用规范造成了一定的困难。另外，科技进步的加速，昂贵的自动化系统和无线电电子综合装置的建立且工作在复杂的电磁环境中，这些都要求对已确定的无线电电子装置电磁兼容性的参数规范在采用上有一综合的处理方法，以保证有效地使用这些装置。

为了给予研制和使用无线电电子装置而且还要保证这些装置无干扰工作的专家以实际的帮助，编制了这本关于无线电电子装置电磁兼容性参数规范的手册。在手册中讨论了无线电电子装置电磁兼容性参数规范化的基本原理，给出了这些参数的国家标准规范，全苏规范和一些国际规范，并且还给出了恪守这些规范的测控方法及其实现的基本原理，指出了无线电电子装置电磁兼容性参数的技术规范文件的初始来源。

及时编制无线电电子装置电磁兼容性参数的规范手册与下述情况有关，即国家无线电频率委员会目前重新审查了无线电电子装置无线电辐射参数的全部现行规范，此外，自 1982 年起引入了於 1979 年在世界无线电管理大会上通过的新的无线电通信规程，自 1981 年开始建立了关于《无线电电子装置兼容性，参数名称汇录以及技术特性分类》的国家标准 ГОСТ 23872—79，该国家标准确定了无线电电子装置的电磁兼容性参数。在全苏规范中制定了无线电电子装置电磁兼容性参数的前景规范，其中的一部分将于 90 年代执行。因此，本手册是有前景的。

本手册不包含工业无线电干扰参数的全苏规范和标准，这些问题在单独的论著中讨论。在附录 3 中列出了有关工业干扰的技术规范文件。

在使用本手册时应注意的是，它不能代替现行的技术规范文件如：国家标准，全苏规范以及其他的有关遵守规范方面的必须文件。

手册的引言，第一、三、五、十、十一章由 A. Л. 巴达洛夫和 A. С. 米哈依洛夫编写，第二、四、六、七、八、九章和附录由 A. С. 米哈依洛夫编写。

目 录

引 言	(1)
第一章 无线电发射机频率的允许偏差规范	(7)
1.1 制定规范的基本原则	(8)
1.2 无线电发射机频率允许偏差的全苏规范	(9)
1.3 国家标准的规范	(27)
1.4 无线电发射机频率允许偏差的国际规范	(31)
第二章 实现无线电发射机频率允许偏差的基本原理	(34)
2.1 晶体振荡器的概述	(34)
2.2 晶体振荡器	(39)
2.3 频率合成器	(45)
2.4 无线电干线通信的激励器	(51)
第三章 无线电发送设备次生辐射电平的规范	(63)
3.1 关于规范的概述	(63)
3.2 无线电发送设备次生辐射的全苏规范	(65)
3.3 次生辐射电平的测量与控制	(67)
3.4 无线电发射机通道中次生振荡电平的 测量与控制	(71)
3.5 交叉调制型次生辐射电平的测量与控制	(77)
3.6 在电磁场中次生辐射电平的测量与控制	(80)
3.7 对测量与控制装置的要求	(82)
3.8 根据等效场强允许值对 10m 波段固定无线电台 站的次生辐射进行估计的近似方法	(84)
3.9 国家标准的规范	(86)

3.10	无线电发送设备次生辐射电平的国际规范	(90)
第四章	实现关于无线电发送设备次生辐射电平规范	
	的基本原理	(95)
4.1	降低基本振荡的谐波电平	(95)
4.2	降低组合次生振荡, 寄生次生振荡和 交调次生振荡的电平	(103)
4.3	次生无线电辐射规范的实现	(109)
4.4	降低超高频发射机中的次生振荡电平	(114)
第五章	无线电发送设备射频带宽及其带外辐射	
	频谱的规范	(124)
5.1	基本定义	(124)
5.2	全苏民用无线电发射机射频带宽和带外 辐射的规范	(125)
5.3	对测量设备和试验信号的要求	(141)
5.4	控制带宽和带外衰减的测量方法	(147)
5.5	工作在 J3EJN, H3EJN, H2BBN, R3EJN 辐射 类的海上移动勤务无线电发射机带外辐射的测 量与控制方法	(151)
5.6	国家标准的规范	(153)
5.7	对于需要带宽的国际规范	(155)
第六章	实现带宽与带外辐射规范的基本原理	(164)
6.1	影响带宽与带外辐射的因素	(164)
6.2	带宽形成设备	(170)
6.3	在某些无线电勤务发射机中规范的实现	(174)
第七章	无线电发送设备辐射功率的规范	(179)
7.1	基本定义	(179)
7.2	无线电广播勤务和固定勤务无线电发射机 的功率	(180)
7.3	移动勤务的无线电发射机功率	(181)
7.4	无线电定位勤务的无线电发射机功率	(185)

7.5	和航天无线通信勤务共同使用高于 1GHz 频段的地面无线通信发射机的功率	(185)
7.6	和地面无线通信勤务共同使用高于 1GHz 频段内的航天无线通信勤务发射机功率	(186)
7.7	无线电广播卫星勤务站产生的功率流密度 规范	(190)
7.8	在共同使用 12GHz 频段的勤务时对抗干扰 的要求	(195)
7.9	1 区和 3 区的卫星无线电广播勤务航天站在 2 区领域上产生的功率流密度的计算方法	(197)
7.10	无线电发射机功率的测量方法	(199)
第八章	无线电接收机灵敏度的规范	(204)
8.1	基本定义	(204)
8.2	无线电电视接收机	(209)
8.3	民用无线电接收机	(216)
8.4	百米和十米波段无线电干线通信接收机	(229)
8.5	海用单边带接收机	(234)
8.6	单边带调制陆上移动勤务无线电台站接收机	(237)
8.7	角度调制无线电台站接收机	(245)
第九章	实现无线电接收机选择性规范的基本原理	(250)
9.1	相邻接收通道的选择性	(250)
9.2	次生接收通道的选择性	(256)
9.3	非线性效应	(260)
第十章	民用无线电电子设备抗外部干扰的规范	(266)
10.1	概述	(266)
10.2	民用无线电电子设备对外部干扰的抗干扰 性参数规范	(266)
10.3	测量场地的校准方法	(284)
10.4	电视接收机对外部分米波段电视广播发射 机辐射的抗干扰性规范	(286)

10.5 广播电视系统的保护比规范·····	(289)
第十一章 固定勤务和移动勤务无线电接收机对外部 干扰的抗干扰性规范 ·····	(294)
11.1 概述·····	(294)
11.2 十米波段无线电接收机对外部干扰抗干扰性 参数的规范·····	(294)
11.3 米波段和分米波段陆上移动勤务无线电接收 机对外部干扰的抗干扰性参数规范·····	(303)
附录 1 推荐的测量装置目录 ·····	(309)
П.1.1 测量接收机和选通式伏特计·····	(309)
П.1.2 频谱分析仪·····	(310)
П.1.3 信号发生器·····	(310)
П.1.4 测量天线·····	(310)
П.1.5 铁氧体带通和带阻滤波器·····	(311)
П.1.6 功率计·····	(311)
П.1.7 电子计数式频率计·····	(311)
П.1.8 调制系数测量仪·····	(312)
П.1.9 双通道电话信号仿真器 ДИТС—32 ·····	(312)
附录 2 辐射分类的特性 ·····	(313)
П.2.1 辐射的符号·····	(313)
П.2.2 辐射的分类·····	(314)
П.2.3 主要特性·····	(314)
П.2.4 辐射类别的新旧符号对比表·····	(317)
附录 3 关于工业无线电干扰的规范文件 ·····	(319)
参考文献 ·····	(323)

引 言

无线电电子装置的无线电辐射与接收参数影响着无线电电子装置的电磁兼容性，对这些参数实施规范化的目的是为了提高无线电频谱利用率，保证各种用途的无线电电子装置的高质量无干扰的工作，特别是这些装置利用同一频段时的高质无扰的工作，而且还是为了降低居民在接收电视转播和无线电广播时的无线电干扰电平。无线电电子装置^[46]可能由一台或几台无线电发送设备和（或者）接收设备以及辅助设备组成。无线电发送设备由无线电发射机和天线馈线系统组成，它的用途是借助无线电波的辐射发送信号。无线电接收设备由无线电接收机和天线馈线系统组成，借助它们以接收无线电波的信号。

无线电电子装置的电磁兼容性^[46]由这些装置在非人为无线电干扰作用时的实际使用条件下，同时工作并且不对其他装置产生不能允许的无线电干扰的能力来确定。影响无线电电子装置电磁兼容性（后叙中称无线电电子装置电磁兼容性参数）的无线电辐射与接收参数已在国家标准 ГОСТ 23872—79 中确定，根据这个标准，发送设备的无线电辐射可分为主要的无线电辐射，不适宜的无线电辐射和除天线以外的无线电辐射。

主要的无线电辐射含有以下参数：功率，它可以用功率通量的表面密度或电场强度来表示；频率的允许偏移；占用的频带宽度；可控的频带宽度；调制（键控）的类型和参数；载（旁）频上（带内）的辐射衰减。

不适宜的无线电辐射可分为旁频辐射，带外辐射和噪声辐射。它们的值可由以下参数确定：旁频辐射——由功率，电压，功率通量的表面密度或谱密度，电场强度，相对电平，谐波次

数，分频谐波的量级，组合无线电辐射或无线电振荡的量级以及交调的大小等确定。

带外辐射——由功率通量的表面密度，电场强度，距工作频率为 Y 赫兹上的功率通量谱密度以及在 X 分贝电平上的频带宽度等确定。

噪声辐射——由偏离工作频率为 Y 赫兹频率上的噪声功率通量谱密度或噪声的电场强度以及相对电平来确定。

接收设备的敏感度 (ГОСТ23872—79) 分为对经过天线与馈线以后作用的电磁场或不经天线而作用的电磁场的敏感度以及沿着电源线和控制线的敏感度。接收机的辐射特性；接收通道的频率选择性以及对阻塞、互调和交调失真的频率选择性等均与前者有关。

对无线电电子装置的电磁兼容性参数制定规范是在一定的条件下进行的，即参数的测量方法，所采用的测量设备，空气的温度和湿度等，这时，对前述的所有参数中影响无线电电子装置电磁兼容性最严重的参数制定规范。这些参数除了要满足电磁兼容性的要求外，还应该满足其他的技术要求。也还要考虑对遵守这些规范进行监控的繁琐程度以及具有批生产的测量设备。

在我国由苏联国家无线电频率委员会对影响无线电电子装置电磁兼容性的无线电辐射与接收参数的规范工作制定计划，领导规范的研制和批准上述参数的全苏规范。全苏规范的制定、批准和修订的程序由苏联国家无线电频率委员会自 1980 年实施的“关于制定和批准无线电电子装置无线电辐射与接收参数和工业无线电干扰电平的全苏规范的程序条例”确定。

无线电电子装置电磁兼容性参数的全苏规范是以各部及主管部门所进行的科研与实验设计工作为基础而制定的。规范中含有在根据所规范参数的功能使用这些规范时的全部充要数据。在确定规范的数值时考虑了它们的技术实现的可能性和经济开销，也考虑了国际组织的类似规范。各部及主管部门以及全苏、共和国和地方所属的企业和组织在订购、研制、生产购买（包括在国外

引进) 以及使用各种功能用的无线电电子装置时都必须遵守全苏规范。苏联通信部的国家电信检查局对全苏规范的执行实施监督, 此外, 研制和使用无线电电子装置的企业和组织也要对规范的执行进行监督。

但是在无线电电子装置电磁兼容性领域内和在其他领域内相同, 主要的技术规范文件是国家标准, 在对具体类型的无线电电子设备制定技术规范文件时, 考虑了全苏规范对无线电电子装置电磁兼容性的有关参数以及对工业无线电干扰的要求。对该设备符合制定规范的检查应根据国家标准进行, 在国家标准中规定的规范数值不低于全苏规范的要求。而全苏规范的制定也考虑了国际组织所确定的规范。无线电电子装置电磁兼容性参数的绝大多数规范由国际无线电咨询委员会的研究委员会以建议的形式制定。这些建议是国际协调无线电频谱利用的基础, 也是在国际无线电管理会议上作出技术决议的基础^[3]。在国家标准和全苏规范中均考虑了这些会议的决议。

在 1979 年的世界无线电管理大会上^[4]对无线电通信规程进行了重新修订^[2]。这次大会后, 关于无线电发射机的允许频偏、谐波辐射与带外辐射电平以及无线电频率的带宽的全苏规范也做了修订, 在修订后的诸规范中, 考虑了无线电通信规程的要求, 也考虑了无线电电子装置电磁兼容性领域内的最新科技成就以及无线电电子装置电磁兼容性问题有关的各部所进行的科学研究与试验—设计工作的成果, 还考虑了这一领域内其他国际组织的建议。已建立的关于无线电电子装置电磁兼容性的参数规范体系使这些参数的规范保持处于世界标准的水平。

现有的关于无线电电子装置电磁兼容性的参数规范体系, 无论是国内的还是国际的, 都致力于使接收机和发射机具有最大可能的更加严格的电磁兼容性参数。在这种情况下, 没有考虑对无线电电子装置电磁兼容性参数的诸要求与具体电磁环境内在接收点处使用这些参数的条件之间的联系。同时, 显而易见的是无线电电子装置电磁兼容性的参数不应低于保证在典型电磁环境下有

用信号的接收具有给定质量所要求的电平。对无线电电子装置电磁兼容性参数的过高要求将导致在设计和生产无线电电子装置中的不合理的经济开销。此外,现有的电磁兼容性的参数规范体系不能对不同类型的无线电电子装置根据它们的电磁兼容性准则进行比较,而且也不能估计对改善总的电磁环境方面而言,电磁兼容性每个参数的数值。

近年来,在技术文献 [2, 12, 13, 32, 35] 中和国际无线电咨询委员会内积极地研究每个参数对电磁环境的影响问题并且试图对这些参数的价值作出估计。对接收质量依从于无线电电子装置的电磁兼容性参数值在数值上改善的估计以及按照设备价值准则使这些参数最佳化的方法就是一例。

为解决无线电电子装置电磁兼容性参数的规范问题,要求确定无线电电子装置在其中工作的典型电磁环境的参数并且要考虑接收机的全部参数,建议以由于第 i 种类型干扰而使有用信号接收失败的概率 q_i 和分布的积分函数 $F_i(P_{ui})$ 作为表征电磁环境或者无线电电子设备分类的电磁兼容性参数^[14], 其中, P_{ui} 为相对于其允许值 $P_{ui} = P_{Ri} = P_{RiN}$ 而言, 构成第 i 种类型干扰的干扰信号在接收机输入端的功率超越值。接收通道的失败概率 q_i 等于由于等 i 类干扰所致而失败的通道数目与该分类中的无线电电子装置所使用的总通道数目之比, 对失败的通道而言, $P_{ui} > 0$ 。借助于对该分类所有无线电电子装置的 P_{ui} 值进行统计处理, 就可以获得 P_{ui} 值的积分分布函数 $F_i(P_i)$ 。

利用对接收机输入端的干扰信号电平 P_{Ri} 进行测量并将它们与干扰信号的允许电平 P_{RiN} 相比较的方法, 就可以获得该分类的无线电电子装置电磁兼容性的参数, 对低频、高频和高频频段范围的无线电广播系统^[12], 以及高频频段范围内的固定勤务系统^[13]都进行了这种测量。对于具有大工作间歇状态的移动通信系统, 利用在计算机上对电磁兼容性进行数学模拟的方法以确定该分类无线电电子装置的电磁兼容性参数是适宜的^[14]。作为要考虑的干扰类型 i 可以是发射机的带外辐射对接收机主接收通道

的影响；发射机的主辐射对接收机次生通道的影响；发生机的旁频辐射对接收机次生通道的影响；本振噪声的变换效应或阻塞；两个干扰信号下的三阶交调干扰等。根据基本随机事件的加法定理可以求得主接收通道或非主接收通道中任一通道的接收失效概率 q_{Σ}

$$q_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^{n_i} (1 - q_i) \quad (0.1)$$

其中， n_i 为所考虑的干扰信号类型的数目。

因此，用实测或者数学模拟的方法就可以确定对无线电电子装置的电磁兼容性参数进行规范化时所必须的初始数据 q_i ， q_{Σ} 和 F_i 。这些电磁兼容性参数能够保证在考虑了电磁环境时所要求的接收质量 $q_{\Sigma N^0}$ 。

降低接收机对一定类型干扰信号的敏感度，以及将发射机的带外辐射或旁频辐射电平降低 K dB 可以使接收机输入端处的干扰超越值 P_{ui} 减少 ΔP_{ui} ，从而使接收失效概率 q_i 减小至 q_{iK} 值，后者可以借助对选定的 K 而言的分布函数确定

$$q_{iK} = q_i [1 - F_i(K)] \quad (0.2)$$

依次将无线电电子装置的每个电磁兼容性参数改变同一个 K 值的同时，就可以由 q_{Σ} 的表达式 (B-1) 确定新的失效概率值 q_{iK} 。然后将 q_i 值与 q_{iK} 值进行比较就可以确定这样一些参数，它们的改善可以使 q_{iK} 与 q_i 相比具有本质的变化，也可以确定另一些参数，它们对 q_{iK} 没有明显的影响。很明显，改善那些能够从本质上减小 q_{iK} 的参数，从而改善本类无线电电子装置的电磁兼容性参数 q_{Σ} 是有意义的。这个问题可以通过采用不同的设置 q_i 规范值的方案来解决。具体方案的选择由无线电电子装置设计的技术可能性和经济上的考虑来确定。为了达到在保证给定的接收质量情况下，无线电电子装置的费用为最佳的目的，必须满足如下条件

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m C_i(K_i) = \min; \text{ 在 } q_{\Sigma} \leq q_{\Sigma N^0} \text{ 下}$$

其中, $C_i(K_i)$ 为第 i 个参数改善 K_i 值的费用; m 为须要进行规范的无线电电子装置电磁兼容性参数的数目。

按本方法进行的计算表明^[14], 发射机的带外辐射和接收机本振噪声通道的干扰对电磁环境的影响最大, 所以对这些参数的规范要求较严格。

第一章 无线电发射机频率的允许偏差规范

1.1 制定规范的基本原则

对无线电发射机频率的允许偏差制定规范的目的是为了提高无线电频谱的利用率以及作为规范的主要方向之一，即保证无线电电子设备的电磁兼容性，也是为了保证无线电发射机工作的高质量。在无线电发射机的频率稳定性高的情况下，可以选择接收机的最佳通带并且在接收机输入端处的信噪比关系上获得好处。

但是，对无线电发射机频率允许偏差的苛刻要求会导致发射机的价格昂贵。因此，无线电发射机设计中要考虑的经济因素不允许对无线电发射机频率的允许偏差确定最高的规范值。从技术角度而言，无线电电子学的现代发展水平可以设计在所有频率范围内具有频率不稳定度为赫兹和十分之几赫兹量级的发射机。

无论是在国际范围还是国家范围内都对无线电发射机频率的允许偏差确定了规范，同时在技术与学术著作中都采用了《频率不稳定度》这一术语。这时，频率不稳定度的概念分为绝对不稳定度和相对不稳定度。将一定时间间隔如小时、昼夜、月等之内发射机频率相对于已调定频率的偏差作为绝对不稳定度，而频率的绝对不稳定度与已调定频率之比作为相对不稳定度。

无线电发射机频率的允许偏差——这是辐射的中心频带相对于赋予给发射机的频率之间或者是辐射的特征频率与相对频率之间的最大允许偏差。这里所谓的赋予频率指的是赋予给台站的中心频率，特征频率是在该辐射中能够易于检验和测量的频率，而在相对于赋予频率的固定位置上的频率为相对频率。

不难看出，在无线电发射频率允许偏差与频率不稳定度这两

个概念间的共同之处是无线电发射机频率与额定频率间的偏差，但两者间有本质的区别。

频率的允许偏差与无线电发射机工作的时间无关并且在其工作的整个时间内不应超过所确定的规范。为了满足这个条件，在发射机长期连续工作中要对其工作频率的稳定性进行检查并在必要时进行校正。此外，这也就是频率的最大允许偏差，因为预先指出在给定时刻时的频率准确值是不可能的。因此，考虑到时间因子和频率设定的精确度，无线电发射机频率绝对不稳定度的规范值应该小于允许偏差的规范值。

在研制无线电发射机频率允许偏差的规范时要考虑规范数值确定的技术经济合理性，无线电电子装置工作所使用的频带，无线电电子装置的无线电勤务属性，无线电发送设备的辐射功率以及无线电电子装置的使用条件。

在允许偏差的容限小的情况下，本无线信道的接收机通频带可以选择得相当狭，从而在接收机输入端处的信噪比可以获得好处，这也就等效于增大了无线电发射机的功率。从这一点出发，对允许偏差确定高要求在技术上是合理的。

从另一方面而言，无线电发射机频率偏差的容限大时，则要求赋予本无线电台站更宽的频带。赋予的频带 B_{np} 由占有频带 B_3 和无线电发射机频率的允许偏差 $\Delta f_{дон}$ 确定，即 $B_{np} = B_3 + 2\Delta f_{дон}$ ，这里，采用 $2\Delta f_{дон}$ 的目的是不要在高于和低于赋予频带的相邻通道中产生无线电干扰。

同时， $2\Delta f_{дон}$ 的值直接影响着无线电频谱的利用率。虽然在该参数进行规范的一开始就对 $2\Delta f_{дон}$ 的值进行了很大程度的减小，但这个参数在现在仍有着本质性的意义。进一步减小 $2\Delta f_{дон}$ 的宽度受到了研制无线电发射机时的附加经济开销的限制。考虑了这些要求间的拆衷，对无线电发射机频率的允许偏差制定规范。

执行无线电发射机频率的允许偏差规范与所使用的频段有关。整个的规范范围分为以下频段(不包含下边界,只包含上边