

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R SM. 2180号报告

(09/2010)

**工业、科学和医疗(ISM)设备对
无线电通信业务的影响**

**SM 系列
频谱管理**



国际电信联盟

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 系列报告

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

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理

说明：ITU-R该报告英文版是有关研究组按照ITU-R第1号决议所述程序批准的。

电子出版
2011年，日内瓦

© ITU 2011

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 SM.2180 报告

工业、科学和医疗（ISM）设备对
无线电通信业务的影响

（2010年）

目录

	页
1 引言	2
2 定义和频段	2
3 ISM设备的应用	3
4 辐射的特性	5
4.1 感应加热	6
4.2 绝缘加热	7
4.3 医疗应用	8
5 潜在干扰的分析	8
5.1 CISPR干扰模型	8
5.1.1 基本模型	8
5.1.2 1GHz以下频率范围的CISPR模型	10
5.1.3 1GHz以上频率范围的CISPR模型	13
5.2 CISPR限值的审核	15
5.3 无线电通信业务的特性和保护标准	18
5.4 辐射的现场测量	19
5.4.1 磁共振成像	20
5.4.2 感应加热设备	21
5.4.3 微波炉	21
6 结论	22
参考资料	23
后附资料1 – MRI的测量结果	24
后附资料2 – 感应加热设备的测量结果	30

1 引言

非通信类的工业、科学和医疗（ISM）设备被广泛用于各类目的，例如：干燥、熔炼、加热、熔接、解冻、烹调、回火、焊接、钎焊、浇铸和成像等。

近来，ITU-R制定了ITU-R SM.1056建议书，用于保护无线电业务免受ISM设备发射的影响。ITU-R推荐使用的ISM设备发射限值参考了国际无线电干扰特别委员会（CISPR）第11号出版物中使用的限值。目前已知，CISPR 11中的限值是基于CISPR 16-4-4中提供的干扰模型。

鉴于ISM设备和无线电收发信机等射频装置的数量在不断增加，预计这些设备将在近距离使用。因此，有必要考察ISM设备对无线电业务产生的影响。

2 定义和频段

本节的内容涉及：

1. ISM的定义；
2. 频段；
3. 《无线电规则》（RR）中阐述的ISM设备干扰。

下文摘自《无线电规则》，主要涉及以上三项内容：

1. 定义

“**1.15** （射频能量的）工业、科学和医疗（ISM）应用：能在局部范围内产生射频能量并利用这种能量供工业、科学、医疗、家庭或类似领域用的设备或器械运用，但在电信领域内的运用除外。”

2. 频段

“**5.138** 下列频段：

6 765-6 795 kHz	（中心频率为6 780 kHz），
433.05-434.79 MHz	（中心频率为433.92 MHz），在第 5.280 款所述国家以外的1区，
61-61.5 GHz	（中心频率为61.25 GHz），
122-123 GHz	（中心频率为122.5 GHz）和
244-246 GHz	（中心频率为245 GHz）

指定给工业、科学和医疗（ISM）使用，但须经有关部门与那些无线电通信业务可能受影响的主管部门达成协议后给予特别批准。应用本规定时，主管部门应考虑最新的有关ITU-R建议书。

5.280 在德国、奥地利、波斯尼亚和黑塞哥维那、克罗地亚、前南斯拉夫马其顿共和国、列支敦士登、黑山、葡萄牙、塞尔维亚、斯洛文尼亚以及瑞士，433.05-434.79 MHz频段（中心频率433.92 MHz）指定给工业、科学和医疗（ISM）应用使用。在这一频段上工作的上述国家的无线电通信业务，必须承受这些应用可能对其产生的有害干扰。在该频段内的ISM设备须按照第**15.13**款规定进行操作。（WRC-07）”

- “**5.150** 下列频段：
- | | |
|-------------------|--------------------|
| 13 553-13 567 kHz | （中心频率为13 560 kHz）， |
| 26 957-27 283 kHz | （中心频率为27 120 kHz）， |
| 40.66-40.70 MHz | （中心频率为40.68 MHz）， |
| 902-928 MHz | （中心频率为915 MHz）在2区， |
| 2 400-2 500 MHz | （中心频率为2 450 MHz）， |
| 5 725-5 875 MHz | （中心频率为5 800 MHz），和 |
| 24-24.25 GHz | （中心频率为24.125 GHz） |

亦指定给工业、科学和医疗（ISM）使用。这些频段内工作的无线电通信业务必须承受由于这些应用可能产生的有害干扰。在这些频段内操作的ISM设备应符合第**15.13**款的规定。”

3. 来自ISM设备干扰

“**15.12** § 8 各主管部门应采取一切切实可行与必要的步骤，以保证除工业、科学和医疗所用设备外的各种电气器械和装置，包括电力及电信分配网络，不对按照本规则规定运用的无线电通信业务，特别是无线电导航或任何其他安全业务产生有害干扰¹。”

15.13 § 9 各主管部门应该采取一切切实可行和必要的步骤，以保证使工业、科学和医疗所用设备的辐射最小，并保证在指定由这些设备使用的频段之外，这些设备的辐射电平不会对按照本规则条款运用的无线电通信业务，特别是无线电导航或任何其他安全业务造成有害干扰¹。”

3 ISM设备的应用

根据ITU-R SM.1056建议书，现给出ISM应用的实例：

感应加热设备（1 MHz以下）

- 家用感应炊具
- 金属熔炼
- 坯段加热
- 焊管
- 钎焊
- 元件加热
- 点焊
- 选择性金属部件表面热处理
- 半导体晶体生长和加工
- 车身表面焊合
- 预装件密封
- 镀锌、退火和烤漆前带钢加热，

¹ **15.12.1**和**15.13.1** 在这方面，各主管部门应遵循ITU-R有关的最新建议书。

射频绝缘加热设备（1-100 MHz）

- 薄板和木材干燥
- 纺织品干燥
- 玻璃纤维干燥
- 纸张和纸涂料干燥
- 塑料预热
- 塑料焊接和浇铸
- 食品后烘制与干燥
- 肉和鱼制品的解冻
- 铸造烘芯
- 胶干燥
- 胶片干燥
- 粘性固化
- 材料预热

医疗设备

- 短波和微波透热疗法和高热疗法设备
- 高频电刀（ESU）
- 磁共振成像仪（MRI）
- 超声波诊断成像仪

微波设备（900 MHz以上）

- 家用和商用微波炉
- 食品的回火、解冻和烹饪
- 紫外线（UV）涂料和涂层固化
- 橡胶硫化
- 医药处理

杂项设备

- 射频激励弧焊机
- 电火花加工设备

实验室和科学设备

- 信号发生器
- 测量接收机
- 频率计
- 流量表
- 频谱分析仪
- 称重仪
- 化学分析仪
- 电子显微镜
- 切换模式的供电设备（未置于设备内部）

表1按工作频率列出了ISM设备的各种应用。

表 1
ISM设备应用的实例

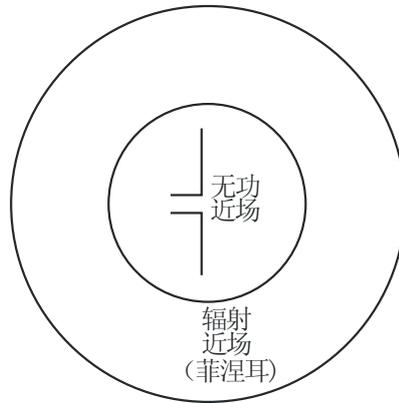
频率 (MHz)	主要应用
0.15以下	工业感应加热（金属的焊接和熔接） 超声波清扫（15-30 kHz） 医疗应用（超声波诊断仪）
0.15-1	感应加热（热处理、预装件密封、金属的焊接和熔接） 超声波医疗诊断
1-10	外科透热疗法（1-10 MHz减幅波振荡器） 木材粘合与固定（3.2和6.5 MHz） 电子管感应生成器制造半导体材料 射频弧稳定焊接（1-10 MHz减幅波振荡器）
10-100	绝缘加热（大部分在13.56、27.12和40.68 MHz ISM频段内的频率工作，但也有许多在ISM频段之外工作）： <ul style="list-style-type: none"> – 制陶 – 铸造烘芯 – 纺织品干燥 – 商品（书籍、纸张、粘合和干燥） – 食品（烘制后的处理，肉和鱼制品的解冻） – 溶解性干燥 – 木制品的干燥与粘合（薄板和木材干燥） – 一般性绝缘干燥 – 塑料加热（冲模密封和塑料压纹） 医疗应用： <ul style="list-style-type: none"> – 医用透热疗法（27 MHz） – 磁共振成像仪（在大屏蔽室内为10-100 MHz）
100-1 000	食品加工（915 MHz） 医疗应用（433 MHz） 射频等离子发生器 橡胶硫化（915 MHz）
1 000以上	射频等离子发生器 家用微波炉（2 450 MHz） 用微波炉（2 450 MHz） 橡胶硫化（2 450 MHz） 射频激励紫外线固化

4 辐射的特性

总体而言，ISM设备的辐射特性取决于工作频率，辐射设备的结构，以及辐射设备周边的结构等。此外，辐射特性还取决于与ISM设备之间的距离。采用传统的天线理论，辐射体周边的空间又被细分为三个区域：

- a) 无功近场；
- b) 辐射近场（菲涅耳）；
- c) 远场（弗朗荷费）区，如图1所示。因此影响无线电通信装置的辐射特性可能会因辐射体与受辐射体间距离的不同而异。

图1
天线的场区
远场
(弗朗荷费)



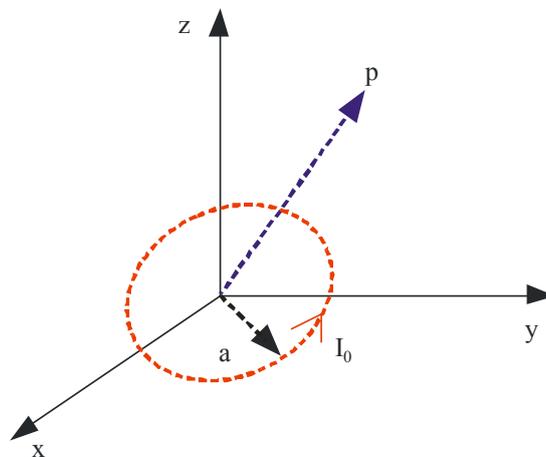
Report SM.2180-01

4.1 感应加热

感应加热是一种应用变压器理论，实现粘合、硬化或软化金属或其它导电材料的过程。在变压器的初级线圈上接通交流电后，便产生了交流电磁场。根据法拉利法则，如果变压器的次级线圈在磁场的内部，则将产生感应电流，又称涡流。在基本感应加热设备中，该线圈作为变压器的初级线圈，而需要加热的目标导体将成为一个短路的次级线圈。

鉴于感应加热线圈的形状与圆环形天线相似，因此感应加热线圈的辐射特性也与圆环形天线类似。特别是，鉴于感应加热的工作频率低于1MHz，波长大于300米，因此与感应加热线圈的半径相比显得非常之大。所以，可将感应加热线圈视作一个小的圆环形天线。

图2
圆环形天线的几何图形



Report SM.2180-02

当无线电通信设备位于感应加热线圈附近时 ($kr \ll 1$)，可使用下述公式概略计算对设备产生影响的主要电磁场：

$$H_r = \frac{a^2 I_0 \cos \theta}{2r^3} e^{-jkr} \quad (1)$$

$$H_\theta = \frac{a^2 I_0 \sin \theta}{4r^3} e^{-jkr} \quad (2)$$

$$E_\phi = -j \frac{ka^2 I_0 \sin \theta}{4r^2} e^{-jkr} \quad (3)$$

$$E_\phi = E_r = E_\theta = 0 \quad (4)$$

式中 a 为感应加热线圈的半径， k 为波的数量， r 为测量距离。

两磁场成时间相位关系。但是，两磁场与电场成时间正交。因此，并无与其相关的平均时间功率流。另外，鉴于 $r \rightarrow 0$ ，因此磁场强度要远大于电场强度。所以，公式 (1) 至 (4) 是指半静止状态的磁场。

当测量位置远离感应加热系统时 ($kr \gg 1$)，可使用下述公式概略计算占主导地位的电场：

$$H_\theta = - \frac{(ka)^2 I_0 \sin \theta}{4r} e^{-jkr} \quad (5)$$

$$E_\phi = \eta \frac{(ka)^2 I_0 \sin \theta}{4r} e^{-jkr} \quad (6)$$

$$E_r = H_\phi = E_r = E_\theta = 0 \quad (7)$$

电磁场成时间相位关系并与 r 成反比。远端区域的小环电场与磁场相互垂直并与传播方向平行。它们形成了单一的空间层波，这些波的阻抗与媒介的固有阻抗相等。

4.2 绝缘加热

绝缘加热设备用于加热特定绝缘材料，例如食品、纺织物和木材等。此项工作使用微波辐射来加热绝缘材料内的极化分子。绝缘加热设备包括一个射频功率生成器，例如磁控管，一个空腔或小室，波导和射频功率控制器。一般而言，空腔由金属板构成，磁控管产生的微波在空腔内的金属墙上反射，最终被介质吸收。

如果绝缘加热设备完全封闭在一个金属结构内，则应假设该设备不会产生任何辐射。鉴于绝缘材料放在空腔内，微波的泄露是通过开关门产生的微小缝隙，因此可将其视作孔径天线。所以，绝缘加热设备的辐射特性与孔径天线的特性类似。

例如，绝缘加热设备的微波波长约为10厘米至30厘米。家用微波炉使用2.45GHz且其波长约为12.2厘米。鉴于此波长并未超出设备尺寸的范围，因此孔径的尺寸或长度与波长相仿。绝缘加热设备辐射的表现可能与相控阵类天线的表现类似。

4.3 医疗应用

磁共振（MRI）或核磁共振（NMRI）基本属于一种医疗成像技术，通常主要用于放射学，用于透视人体内部的结构和功能。与计算机X线体层摄影（CT）不同，它不使用电离辐射，而是使用强大的电磁场来调整人体体液中氢原子的原子核磁化（通常如此）。射频（RF）场对用于系统性改变这一磁化的调整方式，使氢原子产生可被扫描仪探测到的旋转磁场。通常，MRI系统安装在大型的屏蔽室内，用于保证其免受外部电磁场及RF场辐射的干扰。

由于MRI形态的RF线圈形成了弯曲的长方形环路，其辐射特性与环路天线类似。MRI的RF信号波长约为3米至30米，与RF线圈的尺寸相仿。因此，其辐射特性与普通环路天线的特性类似。

MRI所在的屏蔽室可被视作一个空腔，使用小缝隙和电缆通信和供电。MRI中的RF线圈将成为空腔的激发源，屏蔽室外的辐射将通过小缝隙和电缆产生。因此，MRI的辐射特性与孔径天线和有线天线相类似。

5 潜在干扰的分析

本节的内容涵盖：

1. CISPR干扰模型；
2. CISPR11的限值；
3. 部分辐射现场测量的结果。

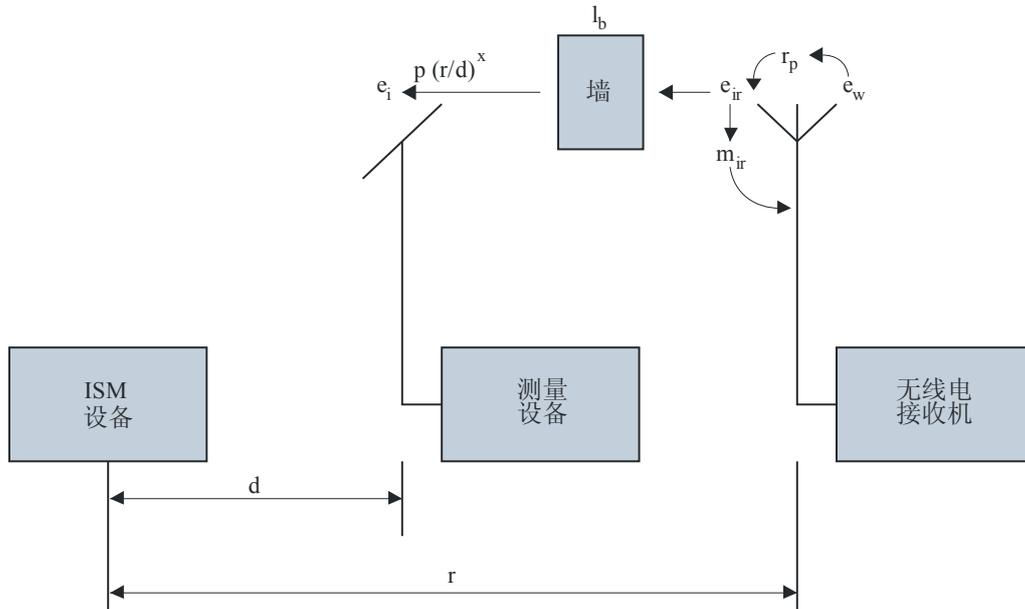
5.1 CISPR干扰模型

本节概要描述了由CISPR开发的概率干扰模型，该模型旨在为距离ISM设备较近的无线电通信接收机提供保护。CISPR16-4-4为1GHz左右的设备提供了两种模型，使用概率理论判定ISM设备发射的限值。这些CISPR模型是十分有用的工具，可用于评估ISM设备对无线电服务产生的影响。

5.1.1 基本模型

CISPR模型是基于统计的方法。图3所示为基本CISPR模型，用于判定ISM设备的辐射限值。在图3中， e_w 为应当保护的有用信号场强，距受干扰接收机天线2米； e_{ir} 为受干扰接收机天线所在地允许的干扰场强值，其计算使用了 $e_{ir} = e_w/r_p$ ，式中 r_p 为保护比； m_{ir} 为极化匹配因子，表示 e_{ir} 极化与受干扰接收机天线极化之间的匹配关系； l_b 为建筑物或其它障碍物的屏蔽因子； d 为测量设备与ISM设备间的距离； x 为波传播的系数。

图3
计算ISM设备限值的CISPR模型方框图



Report SM.2180-03

基于这些参数，在与骚扰源的距离为 d ，用 e_i 表示时，受管制的骚扰场强计算公式如下：

$$e_i = p [(e_w/r_p) m_{ir} l_b (r/d)^x] \quad (8)$$

式中：

p 为复杂统计概率因子，其计算使用下述 $p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot p_5 \cdot p_6 \cdot p_7 \cdot p_8 \cdot p_9 \cdot p_{10}$ 的乘积：

- p_1 : 辐射的主瓣与受干扰接收机方向相同的概率；
- p_2 : 方向性天线在骚扰源方向具有最大接受量的概率；
- p_3 : 受干扰接收机为静止状态的概率；
- p_4 : 设备在关键频率上产生骚扰信号的概率；
- p_5 : 相关谐波低于限值的概率；
- p_6 : 产生的骚扰信号将对接收系统产生重大影响的概率；
- p_7 : 骚扰源与接收系统同时操作的概率；

- p_8 : 干扰源位于可能出现干扰的距离范围内的概率;
- p_9 : 受保护业务服务区边缘的辐射值正好与RF骚扰限制相匹配的概率;
- p_{10} : 建筑物造成衰减的概率。

如用对数表示, 公式(8)可以改写为:

$$E_i = P + E_w - R_p + M_{ir} + L_b + x \cdot 20 \log(r/d) \quad (9)$$

5.1.2 1GHz以下频率范围的CISPR模型

假设1GHz以下的P值为1。实际信噪比R, 在接收机的天线输入端口处大于最小允许信噪比 R_p 的概率, 与预定的接收质量q相等, 见下式:

$$\Pr\{R(m_R, s_R) > R_p\} = q \quad (10)$$

式中:

- $\Pr\{ \}$: 概率函数
- $R(m_R, s_R)$: 实际信噪比作为其数值 (IMR) 和标准偏差 (SR) 的函数
- R_p : 最小允许的信噪比 (保护比) 和 r_p 的对数值
- q : 表示通讯可靠性的具体值。

使用图3所述模型, R可以通过有用信号、骚扰信号、传播损耗和天线增益, 用如下公式表示:

$$R = E_w(m_w, s_w) + G_w(m_{Gw}, s_{Gw}) - [E_i(m_i, s_i) + G_i(m_{Gi}, s_{Gi}) - L_o(m_{Lo}, s_{Lo}) - L_b(m_{Lb}, s_{Lb}) + M_{ir}(m_{Mir}, s_{Mir})] \text{ dB} \quad (11)$$

式中:

- E_w : 无线电接收机天线处的有用信号实际场强作为其平均值 (m_w) 和标准偏差 (s_w) 的函数
- E_i : 测试站点在测量距离为d时骚扰信号场强作为平均值 (m_i) 和标准偏差 (s_i) 的函数
- G_w : 有用信号无线电接收机天线增益的实际值作为平均值 (m_{Gw}) 和标准偏差 (s_{Gw}) 的函数
- G_i : 骚扰信号无线电接收机天线增益的实际值作为平均值 (m_{Gi}) 和标准偏差 (s_{Gi}) 的函数
- L_o : 该因子的实际值考虑了通往无线电接收机天线传播路径上骚扰场强的衰减, 在测试站点内测量距离为d的位置上, 其在无障碍物的自由空间传播, 被作为平均值 (m_{Lo}) 和标准偏差 (s_{Lo}) 的函数:

$$L_o = x \cdot 20 \log(r/d)$$

- L_b : 该因子的实际值，这一数值考虑到了传播路径上因障碍物造成的骚扰场强衰减，将其作为自由空间传播的平均值 (m_{Lb}) 和标准偏差 (s_{Lb}) 的函数
- M_{ir} : 骚扰场强 e_{ir} 和受干扰接收机接收天线间极化匹配因子的实际值，作为平均值 (m_{Mir}) 和标准偏差 (s_{Mir}) 的函数。当接收天线的极化与 e_{ir} 的极化相匹配时，绝对值为1，而在其它情况下数值均小于1。鉴于MIR和相关的平均值 (m_{Mir}) 使用对数算法，其数值等于或小于0db。因此数值前面总使用负号。

如果公式(11)右侧的所有随机变量均为高斯随机变量 (RV) 且相互依赖，则RV分布为高斯分布，且其平均 (m_R) 和标准偏差 (s_R) 如下：

$$m_R = m_w + m_{Gw} - m_i - m_{Gi} + m_{Lo} + m_{Lb} - m_{Mir} \quad (12a)$$

$$s_R = (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2} \quad (12b)$$

使用归一算法可将公式(11)改写为下式：

$$P[R(m_R, s_R) > R_p] = F[-(R_p - m_R)/s_R] = q \quad (13)$$

式中, $F[\]$ 为高斯分布的分布函数 (DF)，平均 $m=0$ 且标准偏差 $s=1$ 。通过反向高斯DF，用 $F^{-1}[\]$ 表示，可通过下式得出R的平均值：

$$m_R = R_p + t_q s_R \quad (14)$$

式中 $t_q = F^{-1}[q]$ 。

接下来，将(12a)和(12b)带入(14)中，经过若干计算，可得出下述结果：

$$m_i = m_w + m_{Gw} - m_{Gi} + m_{Lo} + m_{Lb} - m_{Mir} - R_p - t_q (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2} \quad (15)$$

鉴于RV的平均值 E_i 应当低于限值 E_{Limit} ，我们可以得出：

$$\Pr\{E_i < E_{Limit}\} = F[(E_{Limit} - m_i)/s_i] = b \quad (16)$$

将 $F^{-1}[\]$ 置入公式(16)，则 E_{Limit} 可表示为：

$$E_{Limit} = m_i + t_b s_i \quad (17)$$

t_b 为 $F^{-1}[b]$ 。式中，可将 m_{Lo} 改写为：

$$m_{Lo} = x \cdot 20 \log(r/d) \quad (18)$$

其中 x 为波的传播系数，用于判定实际空间传播衰减速率。

最终, 将(15), (17)和(18)组合, 那么, E_{Limit} 可按下述公式计算:

$$E_{Limit} = m_w + m_{Gw} - m_{Gi} + x \cdot 20 \log(r/d) + m_{Lb} - m_{Mir} - R_p + t_b s_i - t_a (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2} \quad (19)$$

一般来讲, 根据CISPR 46/1建议书(参见CISPR 16-4-3)将分别为 t_a 和 t_b 指派0.84的系数, 从而能够满足80%的设备适合骚扰限制的条件。

表2为使用1 GHz以下CISPR模型计算出的、具有代表性的限值实例。

表2

1GHz以下CISPR模型计算出的限值实例

有用信号的实际场强, E_w		有用信号的无线电接收机天线实际增益值, G_w	
平均值, m_w (dB(μ V/m))	标准偏差, s_w (dB)	平均值, m_{Gw} (dB)	标准偏差, s_{Gw} (dB)
16	2	0	0.1
骚扰信号无线电接收机天线增益的实际值, G_i		已考虑骚扰场强衰减的实际因子值, $L_o = x \cdot 20 \cdot \log_{10}(r/d)$	
平均值, m_{Gi} (dB)	标准偏差, s_{Gi} (dB)	平均值, m_{Lo} (dB)	标准偏差, s_{Lo} (dB)
0	0.1	16.47817482	0.1
已考虑到因障碍物造成骚扰场强衰减的实际因子值, L_b		极化匹配因子的实际值, M_{ir} (dB)	
平均值, m_{Lb} (dB)	标准偏差, s_{Lb} (dB)	平均值, m_{Mir} (dB)	标准偏差, s_{Mir} (dB)
1	0.1	-0.880	0.1
干扰信号的场强, E_i		测量骚扰的限制, E_{limit} (dB(μ V/m))	
平均值, m_i (dB(μ V/m))	标准偏差, s_i (dB)		
21.948	0.1	23.7496	

测量距离, d (m)	骚扰源和接收天线间的平均距离, r (m)
3	20
用于判定实际自由空间衰减率的指数, x (1 or 1~1.5)	保护比, R_p (dB)
1	9
$a = Pr\{R \geq R_p\}, t_a = F^{-1}(a)$	$b = Pr\{E_i \leq E_{Limit}\}, t_b = F^{-1}(b)$
0.84	0.84

5.1.3 1GHz以上频率范围的CISPR模型

对于1GHz以上的频率范围，CISPR 16-4-4考虑了七种概率或影响因素。但是，统计干扰模型的取得，使用了与第5.1.2段类似的如下步骤：

$$E_{Limit} = m_w - R_p + m_{P1} + m_{P2} + m_{P3} + m_{P4} + m_{P5} + m_{P6} + m_{P7} + t_b s_i - t_d (s_{P1}^2 + s_{P2}^2 + s_{P3}^2 + s_{P4}^2 + s_{P5}^2 + s_{P6}^2 + s_{P7}^2)^{1/2} \quad (20)$$

- E_{Limit} : 距骚扰源指定距离为d时的允许骚扰场强平均值
- m_w : 相关无线电业务服务区边缘处的有用场强最小值
- R_p : 接收机天线端口或馈线点处可接受的最小信噪比（即保护比）
- m_{P1}/s_{P1} : 当骚扰场强主瓣与受干扰接收机方向不同时的预期平均和标准偏差值
- m_{P2}/s_{P2} : 当指向性接收天线在骚扰源方向并不具有最大接收量时的预期平均和标准偏差值
- m_{P3}/s_{P3} : 通过与骚扰源保持一定距离的方式改善特定无线电服务区域内移动接收机的信噪比，在此情况下的预期平均和标准偏差值
- m_{P4}/s_{P4} : 骚扰信号低于限值情况下的预期平均和标准偏差余量
- m_{P5}/s_{P5} : 当产生的骚扰信号会对接收系统产生巨大影响时的预期平均和标准偏差值
- m_{P6}/s_{P6} : 当骚扰源于接收系统间的距离很可能产生干扰时的预期平均和标准偏差值
- m_{P7}/s_{P7} : 当建筑物会造成某种程度上的额外衰减时的预期平均和标准偏差值

在CISPR 16-4-4中， m_{P5} 的计算方法如下：

a) $B_{want} < B_{noise} < B_{meas}$

$$m_{P5} = 10 \log(B_{want}/B_{noise})$$

式中：

- B_{want} : 有用信号考虑使用的无线电接收机的带宽
- B_{noise} : 宽带骚扰的带宽
- B_{meas} : 测量设备的测量带宽。

其相互关系如下：

b) $B_{meas} < B_{noise} < B_{want}$

$$m_{P5} = 10 \log(B_{noise}/B_{meas})$$

c) B_{noise} 分别 $> B_{meas}$ 和 B_{want} ,

$$m_{P5} = 10 \log(B_{want}/B_{meas})$$

m_{P6} 数值的计算是使用 $x \cdot 20 \log(r/d)$, 但不幸的是, 公式 (20) 中其它参数的准确数值仍然未知。我们相信, 除 m_{P5} 和 m_{P6} 以外的其它参数都可通过实际试验和经验来判定。

表3给出了CISPR模型计算出的1 GHz以上限值的代表性实例。

表3

1GHz以上CISPR模型计算出的限值的实例

有用信号的实际场强, (E_w)		骚扰源增益, P_1 (dB)	
平均值, m_w (dB(μ V/m))	标准偏差, s_w (dB)	平均值, m_{P1} (dB)	标准偏差, s_{P1} (dB)
16	2	3	0.1
受干扰天线的增益, P_2 (dB)		受干扰的为移动设备, P_3 (dB)	
平均值, m_{P2} (dB)	标准偏差, s_{P2} (dB)	平均值, m_{P3} (dB)	标准偏差, s_{P3} (dB)
3	0.1	5	0.1
限值下的发射, P_4 (dB)		宽带纠错的发射类型, P_5 (dB)	
平均值, m_{P4} (dB)	标准偏差, s_{P4} (dB)	平均值, m_{P5} (dB)	标准偏差, s_{P5} (dB)
1	0.1	1.000	0.1
与受干扰设备间的距离, P_6 (dB)		建筑物衰减, P_7 (dB)	
平均值, m_{P6} (dB)	标准偏差, s_{P6} (dB)	平均值, m_{P7} (dB)	标准偏差, s_{P7} (dB)
16.478	0.1	4.000	0.1
测量出的骚扰限值, E_{Limit} (dB(μ V/m))			
40.3398			

测量距离 d (m)	骚扰源和接收天线间的平均距离, r (m)	
3	20	
判定实际自由空间衰减率的指数, x (1或1~1.5)	保护比, R_p (dB)	
1	9	
$a = Pr \{R \geq R_p\}, t_a = F^{-1}(a)$	$b = Pr \{E_i \leq E_{Limit}\}, t_b = F^{-1}(b)$	
0.84	0.84	
S_i		
0.1		
B_w, B_n, B_m, m_{P5}		
$B_w < B_n < B_m$	$B_m < B_n < B_w$	$B_m < B_n$ or $B_m < B_n$
$10 \log_{10}(B_w/B_n)$	$10 \log_{10}(B_n/B_m)$	$10 \log_{10}(B_w/B_m)$

* B_w : 有用信号拟用无线电业务的带宽

B_n : 宽带骚扰的带宽

B_m : 测量接收机的带宽

5.2 CISPR限值的审核

CISPR第11号出版物阐述了ISM设备的辐射限值，介绍了磁场或电场矢量的强度。限值的测量在测量接收机的不同测量模式下实施，即峰值、半峰值、平均值和加权检测模式，为了解这些限值是否能够保护无线电业务免受ISM设备的干扰，使用(dB(μ V/m))表示的场强必须转换为以dBm为单位的接收机功率。

$$P_R(\text{dBm}) = E(\text{dB}(\mu\text{V/m})) + G_R(\text{dBi}) - 20 \log F(\text{MHz}) - 77.2 \quad (21)$$

式中：

P_R : 无线电台的接收功率 (dBm)。

G_R : 接收天线的增益 (dBi)

F : 无线电台的接收频率 (MHz)。

分类的CISPR 11限值由1、2小组和A、B两类构成。关于1、2小组和A、B类别的定义请参见CISPR第11号出版物（第4版）的4.1和4.2段。第1小组和类别A与B均为可在无线电通信电台附近放置的ISM设备，但在无线电通信电台附近工作的大多数ISM设备均为第2组和类别B的设备。

鉴于在第2组和类别B的环境下，可将ISM设备放在无线电通信装置附近，本节阐述了该组合的限值。

下面三幅图分别展示了CISPR第11号出版物（第4版，2004年6月）表4、7和8中给出辐射限值。

图4

30MHz以下第2小组和类别B的磁场限值
(测量距离为10米，检测模式为半峰值)

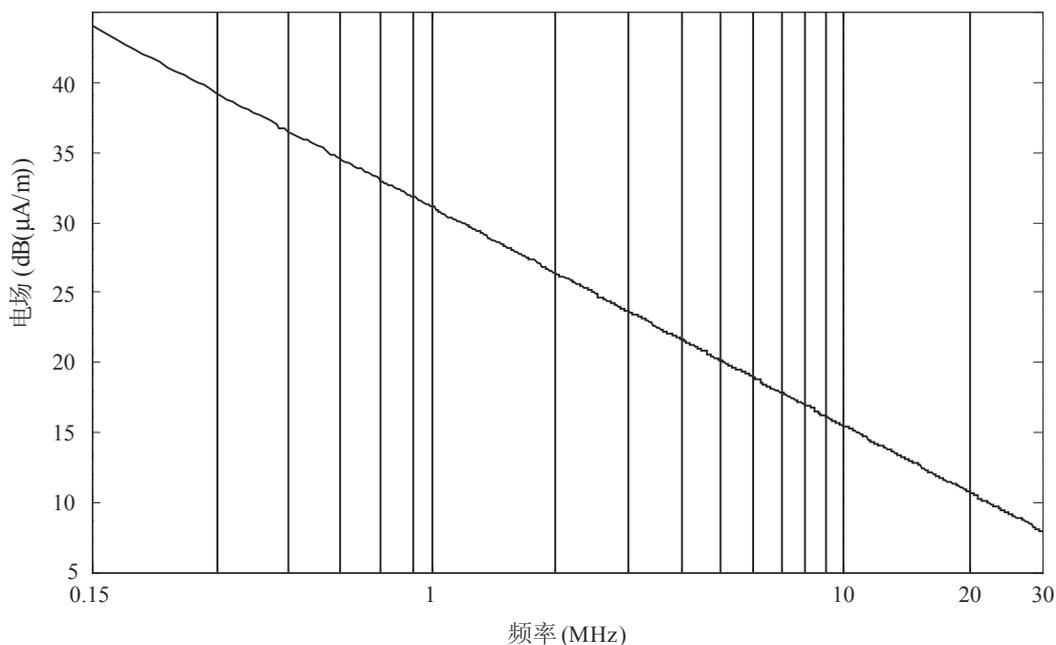
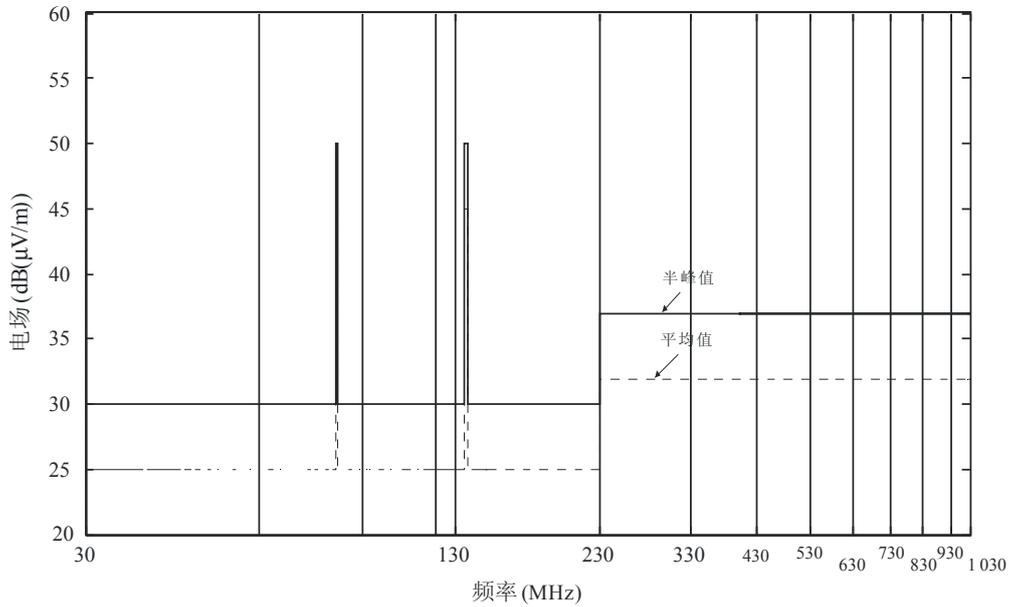


图5

30MHz至1GHz间第2组和类别B的电场限值
 (测量距离为10米, 测量模式为半峰值,
 同时使用磁控管驱动设备的平均值)

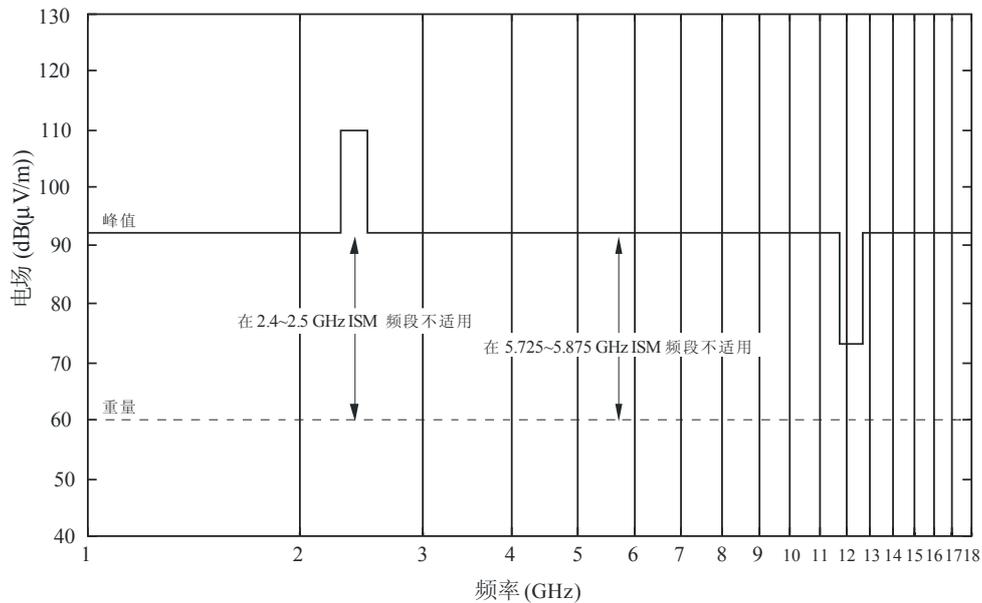


Report SM.2180-05

* 在过渡期, 更为严格的限值适用。

图6

1GHz至18GHz间第2小组和类别B的电场限值
 (测量距离为3米, 测量模式为峰值)



Report SM.2180-06

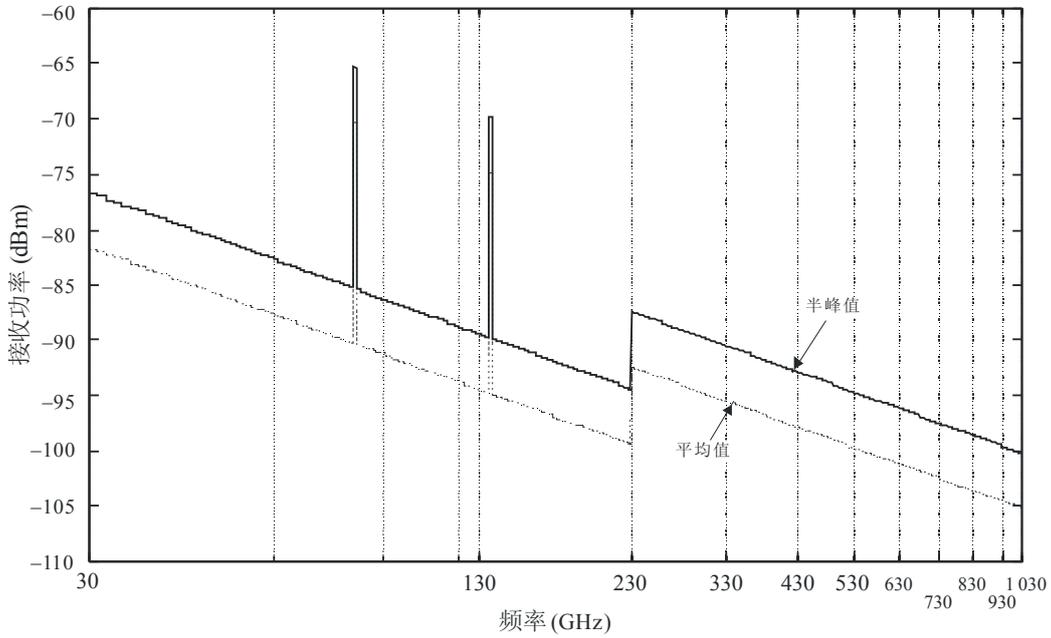
* 峰值测量要求的解析带宽为1MHz且视频信号带宽大于或等于1MHz。

** 1MHz解析带宽和10Hz视频带宽的加权测量。

图7和图8表述的是应用转换公式（20）使天线增益为0dBi时，无线电台的接收功率，其中重点描述了电场限值的转换。

图7

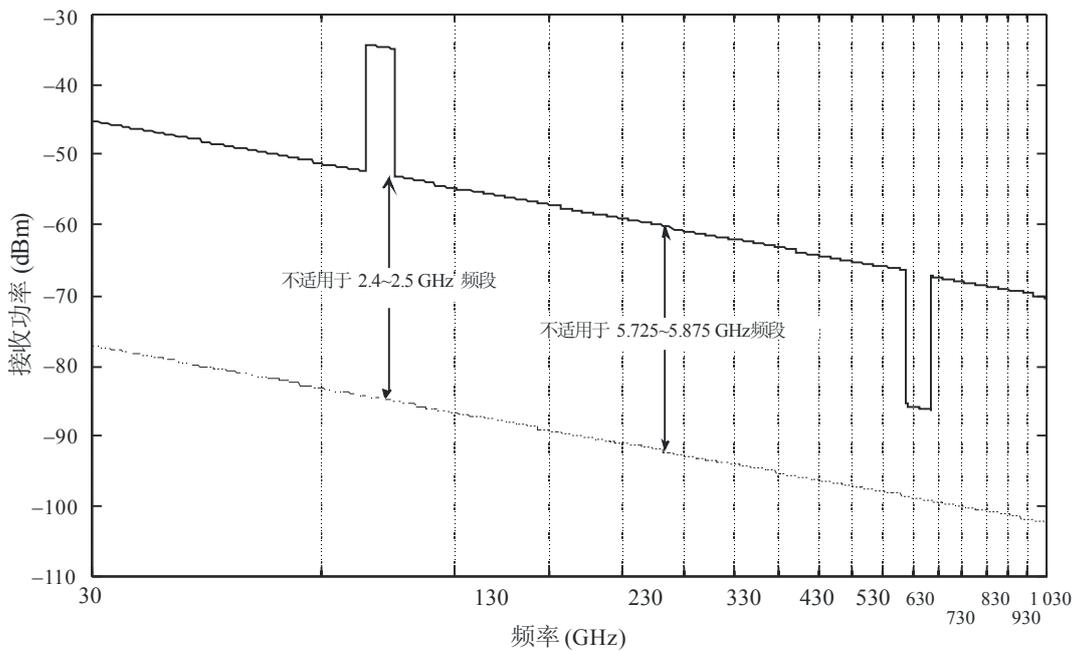
20MHz-1GHz间第二小组和类别B的电场限值转换



Report SM.2180-07

图8

1GHz-18GHz间第二小组和类别B的电场限值转换



Report SM.2180-08

在图8中，如果将1-18GHz频段内的接收功率进行对比，会发现2.3-2.4GHz的接收功率很高，因此可能会对无线电业务产生干扰。CISPR第11号出版物对2.3-2.4GHz频段有说明，指出主管部门可以对其施加比CISPR11更为严格的辐射限值，从而避免对无线电通信业务产生有害干扰。

根据有关电磁干扰的最新论文所述，当前CISPR发射限值的制定，旨在保护模拟无线电通信而非数字无线电通信业务。模拟无线电通信业务的SNR与数字无线电通信业务的SNR存在区别。关于ISM设备对数字无线电业务产生的影响，人们要求ITU-R应当向CISPR提供数字无线电通信系统的特性和保护标准。因此，有必要审核CISPR第11号出版物当前的限值是否能够确保数字无线电接收机得到充分的保护。

5.3 无线电通信业务的特性和保护标准

为了评估因ISM设备辐射造成的无线电通信业务性能下降，有必要了解可能会受影响的无线电通信系统的保护标准和技术特性。相关ITU-R建议书和报告在ITU-R SM.2057号报告的后附资料A8中列出（研究涉及对使用超宽带技术的无线电通信业务产生的影响）。这些清单可能并不能表述最新的情况，因为其中有些建议书和报告已经进行了更改或其地位已经发生变化。本后附资料中还包含可能会受干扰系统的技术特性和保护标准，这些内容可能来自本研究期内的输入文稿和各类ITU-R工作组之间的联络声明。这些特性和标准旨在帮助计算对使用超宽频段技术设备产生的干扰，但是它们同样适用于ISM设备发射的研究。此后，相关ITU-R工作组可能开发或采纳了不同的数值。

在研究短距离设备辐射的过程中，1A工作组收到了来自其它工作组为保护标准、特性和服务质量设定如下目标：

- ITU-R SM.1754建议书 – 超宽频段发射的测量技术。
- ITU-R SM.1755建议书 – 超宽频段技术的特性。
- ITU-R SM.1756建议书 – 推广使用超宽频段技术设备的框架。
- ITU-R SM.1757建议书 – 超宽频段技术设备对无线电通信业务系统的影响。
- ITU-R RS.1346建议书 – 气象辅助业务与401-406MHz从事移动业务的医疗植入通信系统（MICS）间的共用。
- ITU-R SM.2057号报告 – 关于使用超宽频段技术的设备对无线电通信业务所产生影响的研究。
- ITU-R M.1739建议书 – 对于按照第229号决议（WRC-03）在5150-5250MHz、5250-5350MHz和5470-5725MHz频段从事移动业务的无线接入系统（包括无线局域网）的保护标准。

- ITU-R M.1767建议书 – 保护陆地移动系统免受作为主要业务划分给VHF和UHF共用频段的数字视频和音频广播系统的干扰。
- ITU-R M.1823建议书 – 共用研究中使用的数字蜂窝陆地移动系统技术和操作特性。
- ITU-R M.2039-1号报告 – 供频率共用/干扰分析使用的地面IMT-2000系统特性，其中包括SNR值、接收机参考灵敏度和各类IMT-2000系统的干扰门限值等保护要求。
- ITU-R BT.1786建议书 – 评估干扰地面广播业务（BS）所产生影响的标准。
- ITU-R BS.2104号报告 – FM调制器对广播业务产生的干扰。
- WP 4A正在准备相关信息，其中包括在3.4-31GHz范围内工作的FSS和BSS的系统特性和服务质量目标，从而使MP 1A能够开展技术研究并对SRDS给FSS和BSS造成的影响作出评估，同时提供手段以确保这些业务得到充分保护（参见1A/145号文件后附资料中的初步信息）。
- ITU-R RA.769建议书 – 射电天文学测量使用的保护标准
- ITU-R RA.314 – 射电天文学测量的优选频段。
- ITU-R RA.517建议书– 保护射电天文学业务免受相邻频段内工作的发射机的干扰。
- ITU-R RA.611建议书– 保护射电天文学业务免受杂散发射的干扰。
- ITU-R RA.1031建议书– 为与其它业务共用频段的射电天文学业务提供保护。
- ITU-R RA.1237 – 保护射电天文学业务免受因应用宽带数字调制所产生的无用发射的干扰。
- ITU-R S.1432建议书– 为卫星固定业务（FSS）假设参考数字路径分配因30GHz以下系统非时变干扰造成的容许误差性能劣化。

5.4 辐射的现场测量

本节涵盖了针对下述产品进行ISM辐射测量的结果：

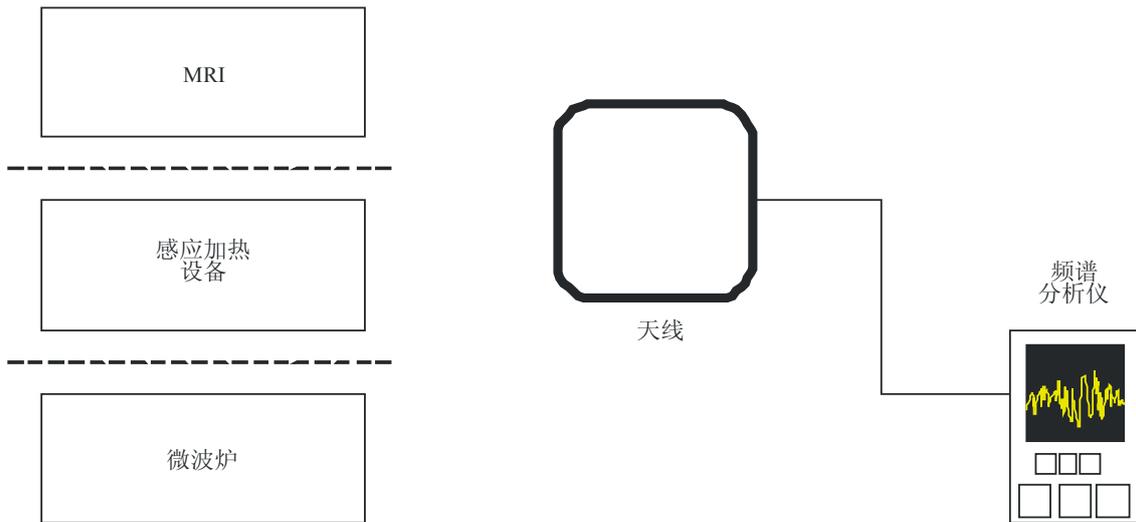
1. MRI；
2. 感应加热设备；
3. 微波炉。

为检查ISM设备泄露的辐射功率，频谱测量是在MRI和感应加热设备处于关闭/开启的状态下实施，而微波炉的测量则是在抽干/加入1000ml水的情况下进行。

图9所示的测量设置，用于在医院和工厂测量ISM信号。鉴于这一测量的目标仅是观测实际情况下接收到的ISM信号，使用方法简单，因此这一测量方法不能用于ISM设备的认证。但是，目前已知FCC OST MP-5和EN55011¹的标准中给出了ISM设备认证的可用测量方法。应当注意，必须遵守测量方法，这样才能得到经得起验证的测量结果，强烈建议出具测量报告对这些测量结果进行验证。

¹ 参见参考文件[16]

图9
测量配置



Report SM.2180-09

环形天线、有源方向性天线和喇叭天线被分别用于测量MRI、感应加热设备和微波炉的辐射。

5.4.1 磁共振成像

下图所示为医院使用的MRI设备，测量分别使用了环路天线的垂直和水平极化模式，MRI与测量设备之间的距离约为3米。

根据后附资料1中的测量频谱，5家医院的测量结果如下：

图4所示为ISM发射最强处的频率以及在各医院测量出的相应发射值。所有测量均是使用环路天线在距离为3米处进行测量，但有一处站点除外。存在来自MRI房间的泄漏信号时，最强的ISM发射在63.8MHz的情况下约为-34dBm，在此频率上，此ISM信号可能会对广播业务造成有害干扰，或对其它使用63.8MHz频率²的、具有高敏感性的无线电通信业务产生干扰。鉴于各种业务均拥有其各自的保护标准，还应开展进一步的调查，用以判定对医院内无线电通信业务产生的影响。

² 这些测量均是在现场实施，而CISPR11所述为测试站点的辐射发射。因此，这些数值不能直接与CISPR11中的辐射限值进行比较。

表4

3米处的MRI测量结果（解析带宽为100kHz）

	关		开	
	频率 (MHz)	测量值 (dBm)	频率 (MHz)	测量值 (dBm)
MRI A	127.717	-70.40	127.782	-48.38
MRI B	63.85	-78.49	63.848	-34.36
MRI C	63.74	-70.15	63.83	-61.91
MRI D	62.50	-80.51	63.85	-51.69
MRI E⁽¹⁾	63.76	-73.68	63.86	-53.82

⁽¹⁾ MRI E的测量距离为10米。

5.4.2 感应加热设备

图9所示为测量实例距离为3米时，在功率分别为50kW和3kW的情况下，感应加热设备产生的辐射发射。

表5中的发射值-43.58dBm和9.84dBm显示，感应加热设备的泄漏信号很可能对无线电业务造成干扰，因为许多无线电接收机的灵敏度范围通常在-100dBm至-80 dBm之间。

表5

距离为3米时的感应加热设备测量结果 (解析带宽为100kHz)

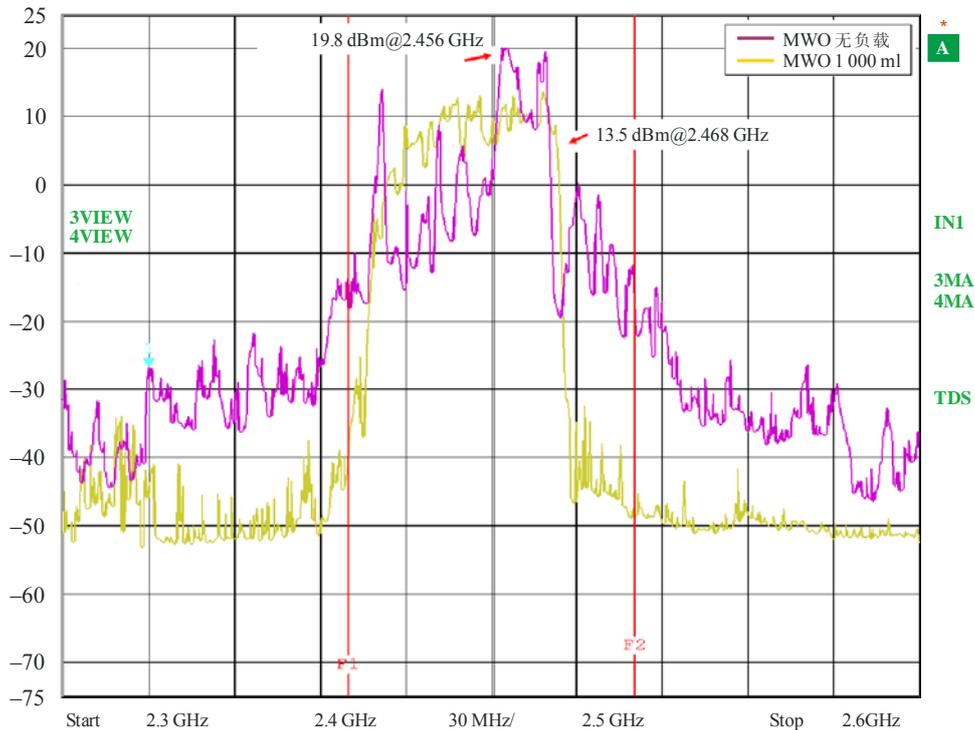
	关		开	
	频率 (MHz)	测量值 (dBm)	频率 (MHz)	测量值 (dBm)
感应 加热设备A	39.6	-74.03	20.7	-43.58
感应 加热设备B	75.6	-56.37	25.23	9.84

后附资料2中详细阐述了测量的无线电频谱。

5.4.3 微波炉

图10所示为抽干/加入1000ml水时，功率为1250W的微波炉无线电频谱。这些测量使用喇叭天线在距离为3米的半无回声房间内。从图10中可以看出，两个频谱的旁瓣不同。可以发现，有水的微波炉符合CISPR第11号出版物的辐射限值。

图10
微波炉的测量频谱



Report SM.2180-10

在图10中的2.35GHz附近可以观察到，035 dBm的数值可能会对使用2.3-2.4GHz频率的IMT系统造成有害干扰。另外，NTIA³还发布报告，阐述了微波炉在2.4-2.5GHz ISM频段之外的无线电频谱特性。根据NTIA给出的无线电频谱测量值，微波炉会对使用2.3-2.4GHz和2.5-2.69GHz频率的IMT系统造成干扰。因此需要开展进一步研究，为微波炉设置更为严格的限制，保护IMT系统不受微波炉辐射发射的影响。

6 结论

本报告介绍了干扰分析的方法和CISPR制定的ISM设备辐射限值。鉴于CISPR第11号出版物的发射限值是源于无线电通信业务的SNR，这些限值在各主管部门成功保护无线电通信业务免受ISM设备辐射干扰方面发挥了重要作用。模拟无线电通信业务的SNR与数字无线电通信业务不同。

但是，有关电磁干扰的最新论文显示，当前的CISPR发射限值旨在保护模拟无线电通信业务而非数字无线电通信业务。模拟无线电通信业务的SNR与数字无线电通信业务不同。因此，请ITU-R向CISPR提供数字无线电通信系统的特性和保护标准。

³ 参见参考资料[15]。

参考资料

- [1] J. Thuery 和 E.H. Grant, 《微波: 工业、科学和医疗应用》, Arthec house, 1992。
- [2] M. Stuchly 和 S.S. Stuchly, “微波在工业、科学、医疗和家庭中的应用, 物理科学, 测量和设备, 管理与教育, 回顾” IEE会议记录A, 第130卷, 第8段第467-503页, 1983年11月。
- [3] J. Rolomey, “工业、科学和医疗应用有源微波成像近来在欧洲的发展” IEEE Trans. 微波理论, 第37卷, 第12段, 第2109-2117页。1998年12月。
- [4] S. Miyamoto, “在微波炉噪声环境下使用正交频分复用方法的2.4GHz频段无线局域网系统的表现” 电磁兼容性国际主题研讨会会议记录, 2005年8月, 第157-162页。
- [5] Y. Matsumoto、M. Takeuchi、K. Fujii、A. Sugiura和Y. Yamanaka, “涉及DS-SS WLAN系统和微波炉的干扰问题性能分析,” IEEE Trans. 电磁兼容性, 第47卷, 第1段, 第45-53页, 2005年2月。
- [6] W. R. Vincent和G. K. Lott, “工业、科学和医学广泛使用的远离国际电联分配频段的HF干扰测量” 会议记录, HF无线电系统和技术, 1994年7月, 第155-158页。
- [7] ANSI和IEEE推荐使用的用户场所工业、科学和医疗 (ISM) 设备无线电频率发射测量做法, IEEE Std 139-1988, 1993年3月。
- [8] P.B. Kenington 和D.W. Bennett, “蜂窝无线电设备ISM发射潜在影响的场测量研究” IEE会议记录, 科学、测量与技术, 第144卷, 第3段, 第134-140页, 1997年5月。
- [9] T.L. Wilson, “国际干扰限值制定工作的电处理加热委员会报告” IEEE Trans. 工业应用, 第IA-23卷, 第一段, 第90-94页, 1987年1月。
- [10] S. Krishnamoorthy, J.H. Reed, C.R. Anderson, P. Robert和S. Srikanteswara, “医院环境下2.4GHz ISM频段电磁干扰的特征” IEEE会议纪要, 医疗工程和生物学会, 2003年9月, 第3245-3248页。
- [11] P.B. Kenington和D.W. Bennett, “ISM发射对蜂窝无线电设备潜在影响的研究” 会议纪要, 电磁兼容性, 1997年9月, 第6-11页。
- [12] D. Bernard, “与CISPR标准化活动相关的1-18GHz间微波炉辐射的测量” 会议纪要, 电磁兼容性, 1997年8月, 第118-122页。
- [13] ITU-R, 《无线电规则》, 2007年。
- [14] ITU-R, 工业、科学和医疗 (ISM) 设备辐射的限值, ITU-R SM.1056-1建议书, 2007年。
- [15] P.E. Gawthrop, F.H. Sanders, K.B. Nebbia和J.J. Sell, 工业用微波炉的无线电频谱测量, 第1卷, NTIA94-303-1号报告, 1994年3月。
- [16] FCC, FCC的工业、科学和医疗设备无线电噪声发射测量方法, FCC/OST MP-5, 1986年2月。
- [17] CISPR, 工业、科学和医疗 (ISM) 射频设备-电磁骚扰特性限值和测量方法, CISPR第11号出版物第4版, 2004年6月 (在第5版中进行修订, 2010年5月)。
- [18] CISPR, 不确定性、统计和限值的建模 – 投诉的统计数据 and 无线电业务保护限值的计算模型, CISPR第16-4-4号出版物, 2007年7月。

- [19] K. Willundh, “干扰信号振幅概率分配与对数字无线电接收机影响之间的关系” IEEE Trans.EMC, 第48卷, 第3段, 第537-544页, 2006年8月。
- [20] P. F. Stenumgaard, “脉冲干扰的辐射发射限制, 用于保护现代数字无线通信系统, ” IEEE Trans.EMC, 第49卷, 第4段, 第931-936页, 2007年11月。

后附资料1

MRI的测量结果

本后附资料介绍了5个MRI信号在关闭和开启状态下的无线电频谱。

图11

MRI信号发射测量的实例



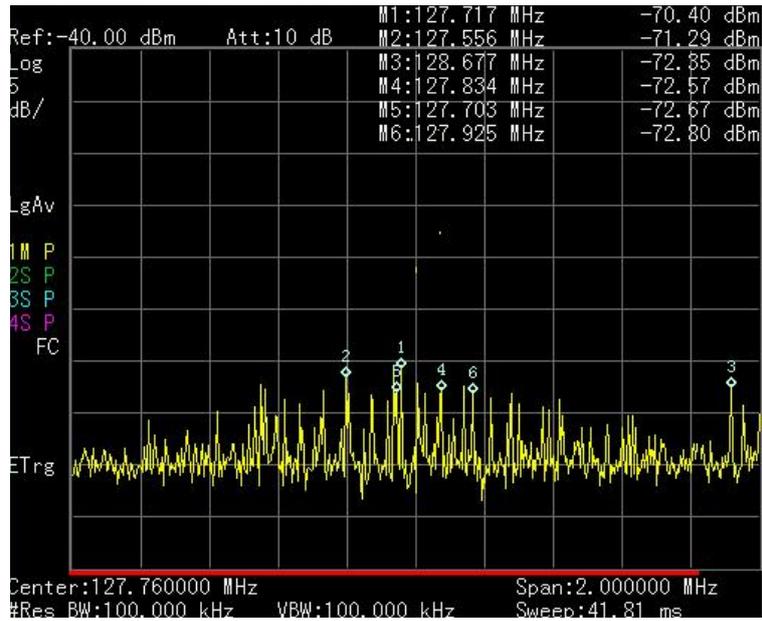
a) 垂直计划



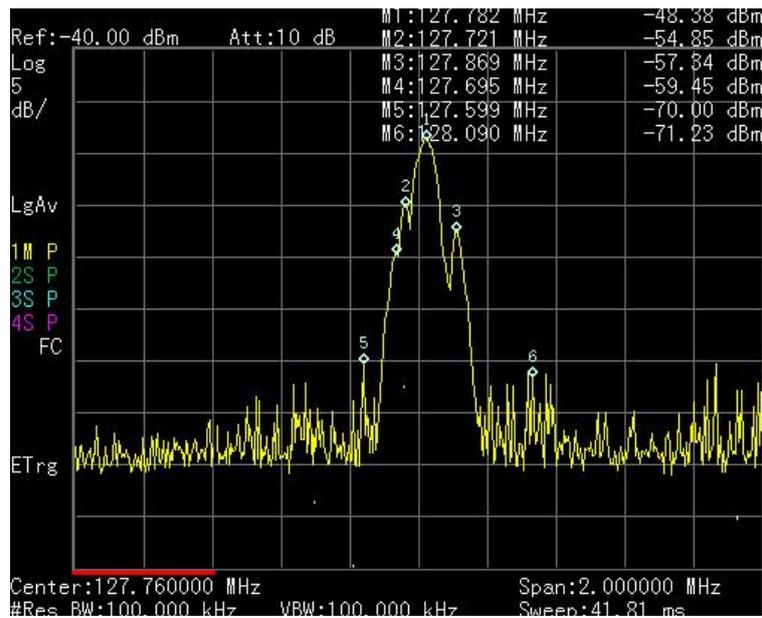
b) 水平极化

图12

MRI设备A的无线电频谱



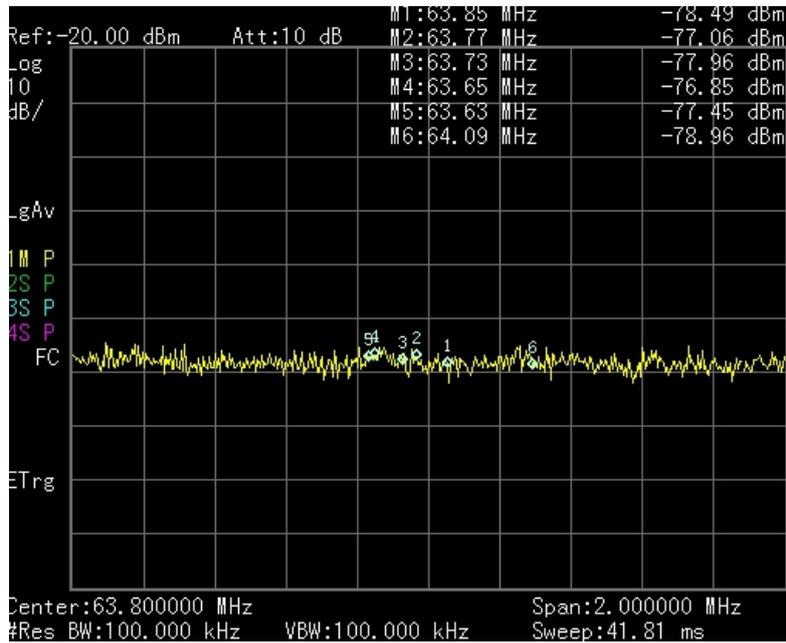
a) 关闭状态



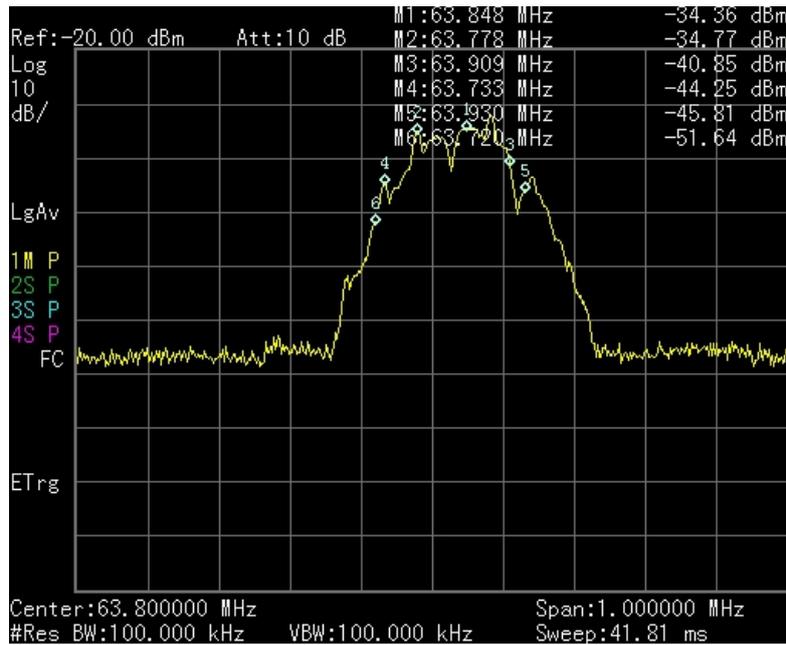
b) 开启状态

图13

MRI设备B的无线电频谱



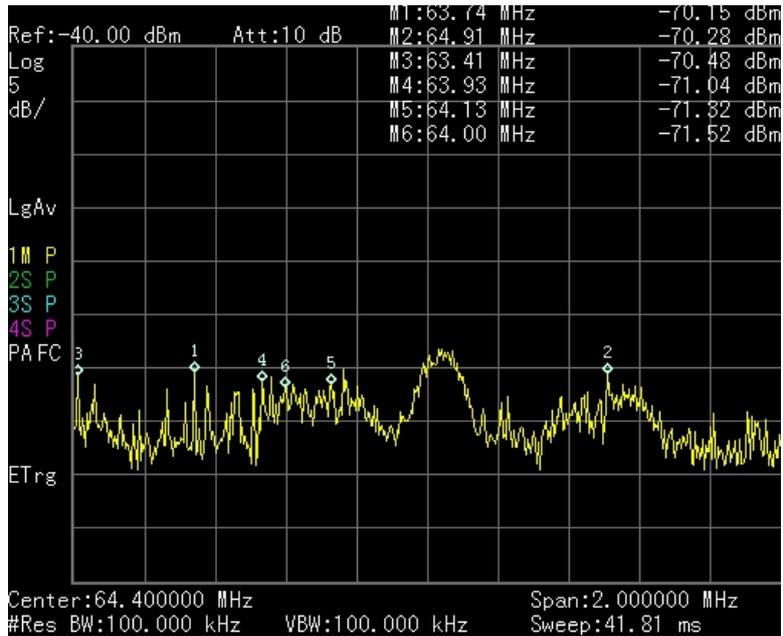
a) 关闭状态



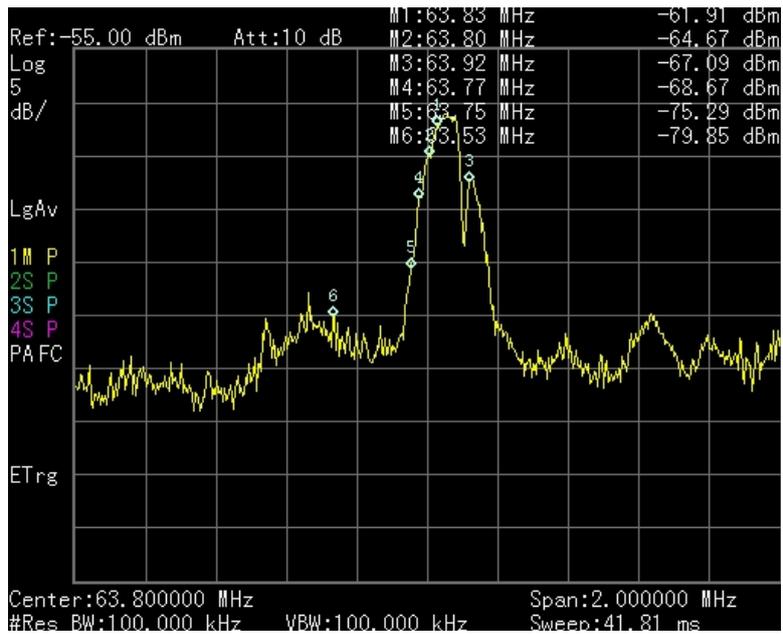
b) 开启状态

图14

MRI设备C的无线电频谱



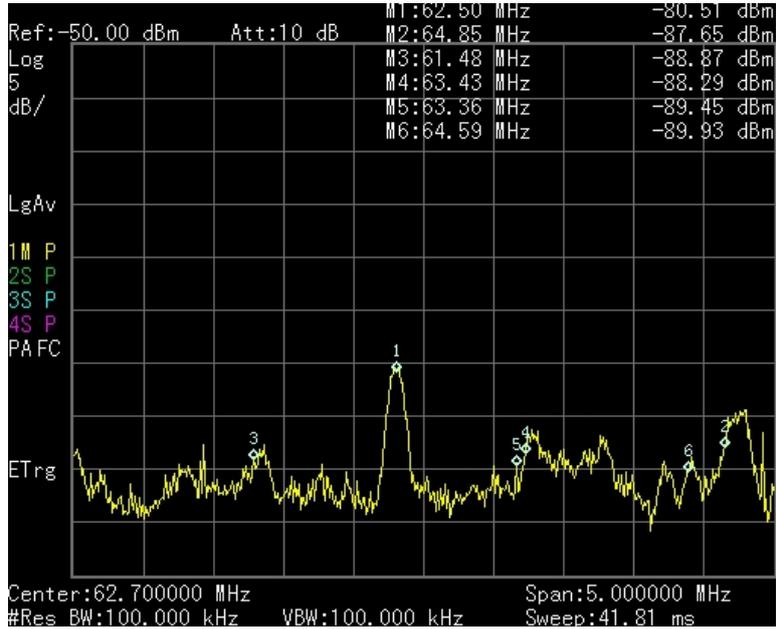
a) 关闭状态



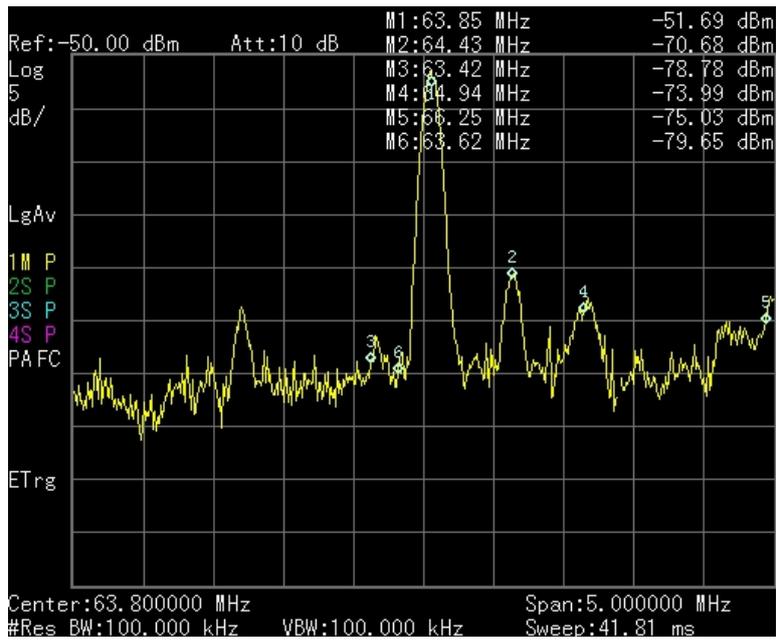
b) 开启状态

图15

MRI设备D的无线电频谱



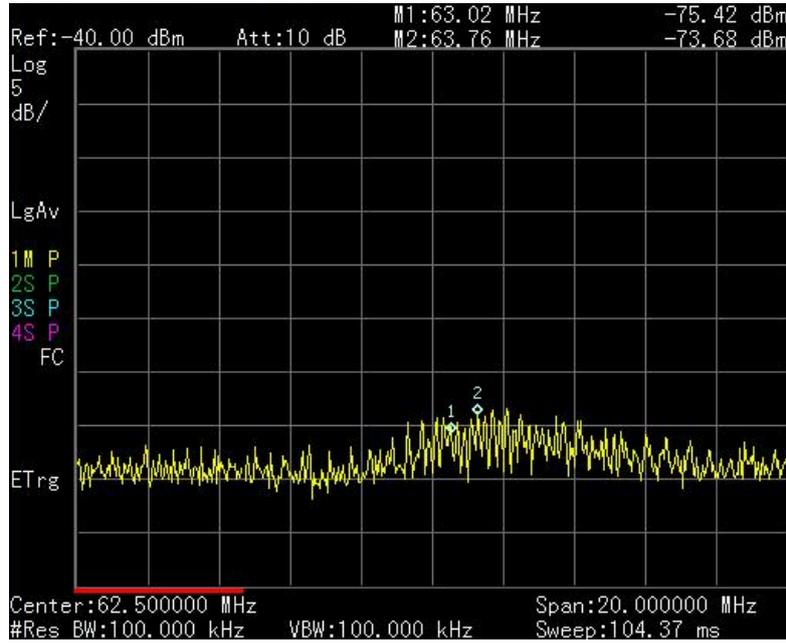
a) 关闭状态



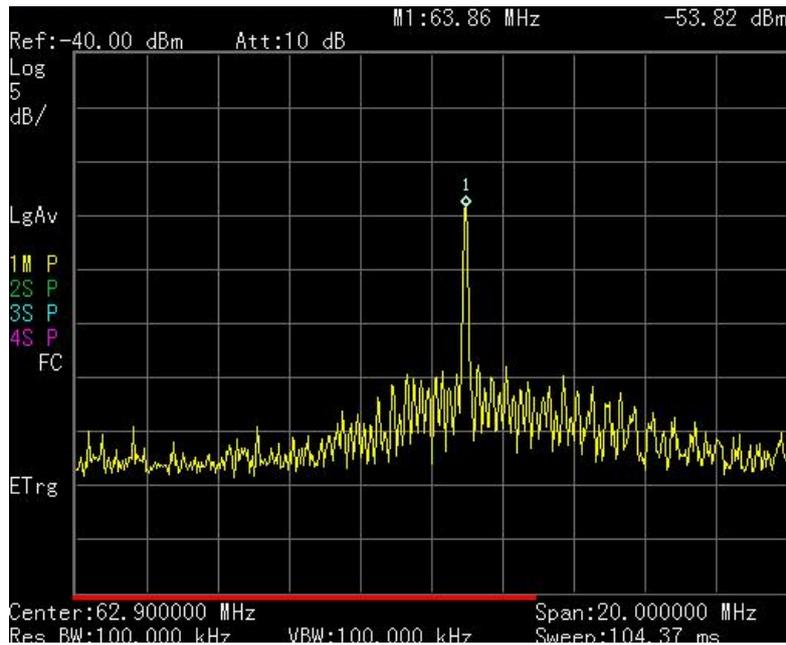
b) 开启状态

图16

MRI设备E的无线电频谱



a) 关闭状态



b) 开启状态

后附资料2

感应加热设备的测量结果

本后附资料介绍了两台感应加热设备在关闭和开启状态时的无线电频谱。

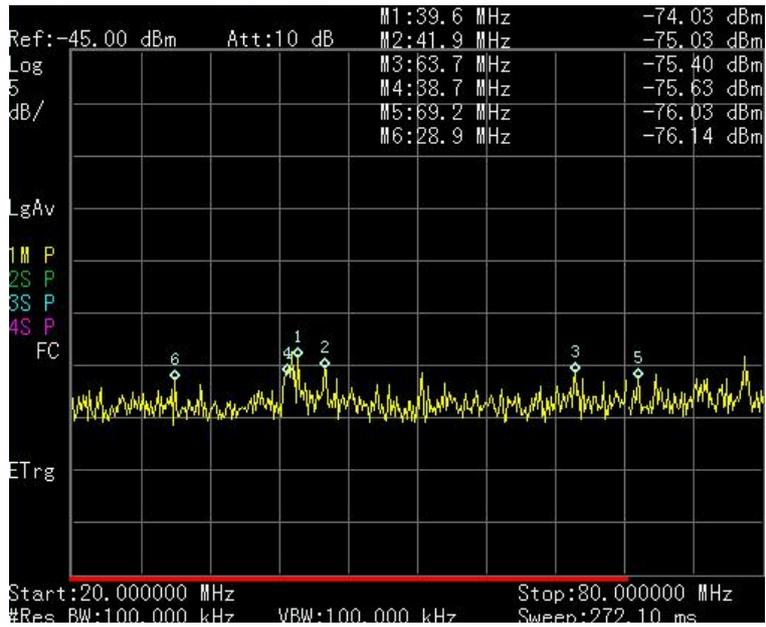
图17

感应加热设备的实例

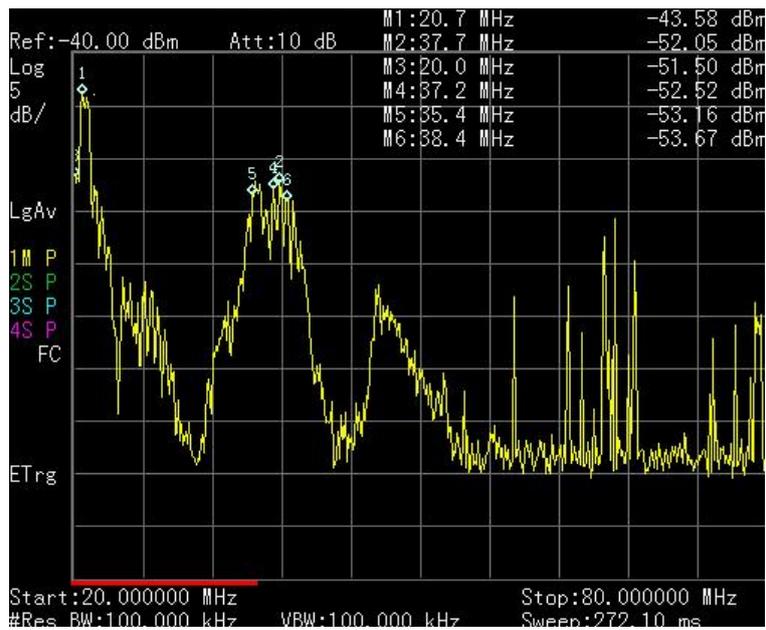


图18

感应加热设备A的无线电频谱



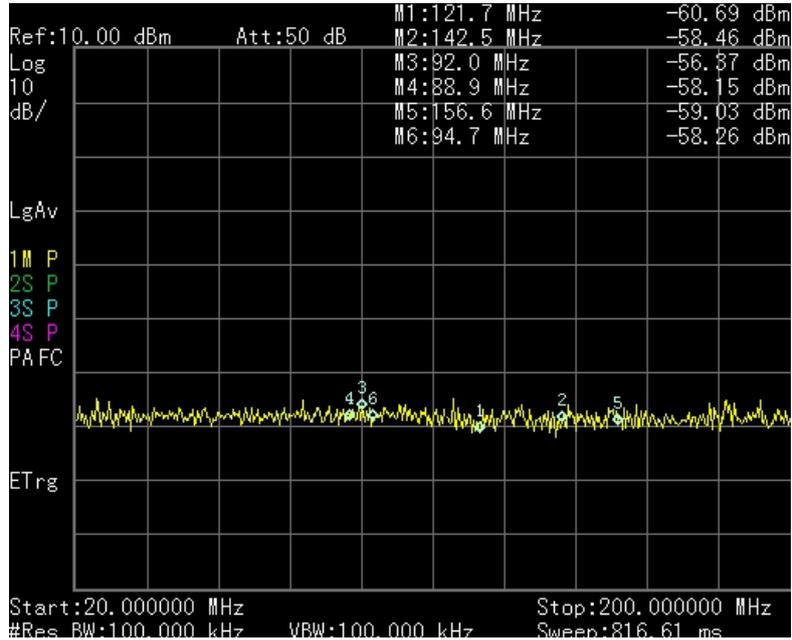
a) 关闭状态



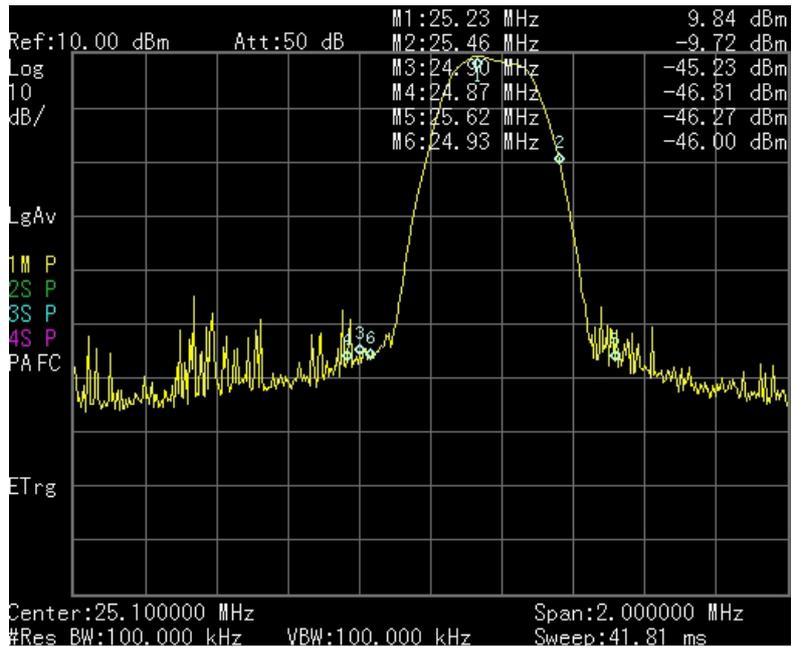
b) 开启状态

图19

感应加热设备B的无线电频谱



a) 关闭状态



b) 开启状态