

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R SM.2503-0 报告
(07/2022)

**评估家用电器的辐射电磁骚扰
及其对915 MHz频段内
物联网网络的干扰**

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）

国际电联无线电通信部门（ITU-R）的IPR政策述于ITU-R第1号决议中所参引的《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/zh>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

（也可在以下网址获得：<http://www.itu.int/publ/R-REP/zh>）

系列	标题
BO	卫星传输
BR	用于制作、存档和播放的记录：用于电视的胶片
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
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	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
SM	频谱管理

注： 本ITU-R报告英文版已由研究组按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版物
2023年，日内瓦

© 国际电联 2023

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段翻印本出版物的任何部分。

ITU-R SM.2503-0报告

评估家用电器的辐射电磁骚扰
及其对915 MHz频段内物联网网络的干扰

(2022)

范围

电子设备及其网络，包括那些非用于电信的设备及其网络，会产生显著的电磁骚扰，可能会影响当前和未来电信系统（如物联网（IoT）及其应用）的功能。本报告评估了家用电器产生的电磁骚扰电平以及这些干扰如何影响一些主管部门在915 MHz频段内操作的无线传感器网络（WSN）的运行，该系统因其技术灵活性和低成本而在IoT中广泛使用。本研究分为三个步骤。第一步评估了来自家用电器的电磁骚扰，第二步通过评估接收信号强度指示（RSSI）和误包率（PER）对WSN进行表征，最后第三步在测试中纳入家用电器，对RSSI和PER进行评估。结果表明，所研究的家用电器不符合规范性限值并严重影响了WSN的运行。

缩写词和首字母缩略语

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas（巴西技术标准协会）
CISPR	国际无线电干扰特别委员会
IEC	国际电工委员会
NBR	Norma Brasileira（巴西标准）
PER	误包率
RSSI	接收信号强度指示
SAC	半电波暗室
Vac	伏特交流电
WSN	无线传感器网络

1 引言

现代电气电子设备及其网络，包括那些非用于电信的设备及其网络，可能会产生相关的电磁骚扰。

这些事件的发生与其电子系统的运行动态、开关电源的使用、非线性负载、机电设备和逻辑电路等有关。这些电的影响可以通过辐射和导电方式体现出来，如果不从源头上加以缓解，则可能会降低和污染电磁频谱。

这种情况在电气电子设备及其网络密度高、数量多和种类丰富的居住环境中可能很严重，可直接影响用户或消费者区域内无线电通信服务的功能性。

本研究通过分析接收信号强度指示（RSSI）和误包率（PER），评估了无线传感器网络（WSN）在受到家用电器造成的电磁骚扰时的行为。

本研究分为三个步骤。首先测量家用电器的电磁辐射。随后，使用各自的RSSI和PER对WSN进行表征。最后，在测试中置入家用电器，以相同的标准对WSN进行评估。

2 设备和装置

所有测量均在ETS-LINDGREN半电波暗室（SAC）内进行，工作频率范围为9 kHz至220 GHz，配有一个转盘。

使用了两种天线：UltraLog，型号HL562E，用于30 MHz至1 GHz的测量，以及双脊波导天线，型号3117，用于30 MHz至6 GHz的测量。

测试仪是罗德与施瓦茨公司（Rohde & Schwarz）生产的ESIB 40 EMI测试接收机，可选带宽为200 Hz、9 kHz、120 kHz和1 MHz，具有峰值、平均值和准峰值检波器，符合IEC CISPR 16-1的要求。

可变衰减器来自JFW Industries，型号为适用于WSN的50R-029（0至70 dB，精度为0.5 dB）和50R-019（0至10 dB，精度为0.2 dB）。使用了安捷伦科技（Agilent Technologies）的E5071B型网络分析仪来评估这些衰减器。

无线模块是由Anatel（国家电信管理局（Agência Nacional de Telecomunicações））认证的BE900，具有无线通信功能，采用2-FSK调制方式，最大速率为250 kbit/s，用于监测和控制应用。它搭载了一个可编程的ATmega328 AVR处理器、功率输出为10 dBm的CC1101 RF收发器，灵敏度为-112 dBm，PER为1%，使用一个调整在工业科学医学（ISM）频段902-907.5 MHz和915-928 MHz上工作的带通滤波器。

本研究考虑了使用两台搅拌机（220 Vac和127 Vac）和一台吸尘器作为家用电器进行的测量。此外，还使用了一台微波炉和一台冰箱进行组合测量。选择这些家用电器是因为它们在居住环境中非常典型，在研究时可供使用，使用它们的目的是为了获得更完整的结果。

这些测量是在坎皮纳斯天主教大学（Pontifícia Universidade Católica de Campinas，巴西圣保罗）埃尔多拉多研究所（Instituto de Pesquisas Eldorado）作为研究生研究的一部分进行的。

3 方法

首先，根据ABNT NBR IEC/CISPR 22¹提出的方法对SAC进行了验证。使用高度为1至4米的天线对频谱进行垂直和水平扫描，进行了背景噪声分析。还使用网络分析仪在400 MHz至1 000 MHz频率范围对衰减器进行了分析，以获得与数据表相比的性能。

为了进行辐射电磁骚扰测量，将家用电器放置在转盘上的一个木桌上，距离地面80厘米，与测量天线保持10米的距离，如图1所示。

根据CISPR 14-1的要求，测量在30 MHz至1 GHz频率范围内进行；而CISPR 22用于最高为6 GHz的测量。

第一次分析使用了峰值检波器，而最后的测量基于高于门限的峰值处的准峰值，在WSN频率（特别是915 MHz频段）附近进行，并考虑到ABNT NBR IEC/CISPR 22中的图B.1流程图。为进行这些测量，使用了罗德与施瓦茨的EMC32软件。

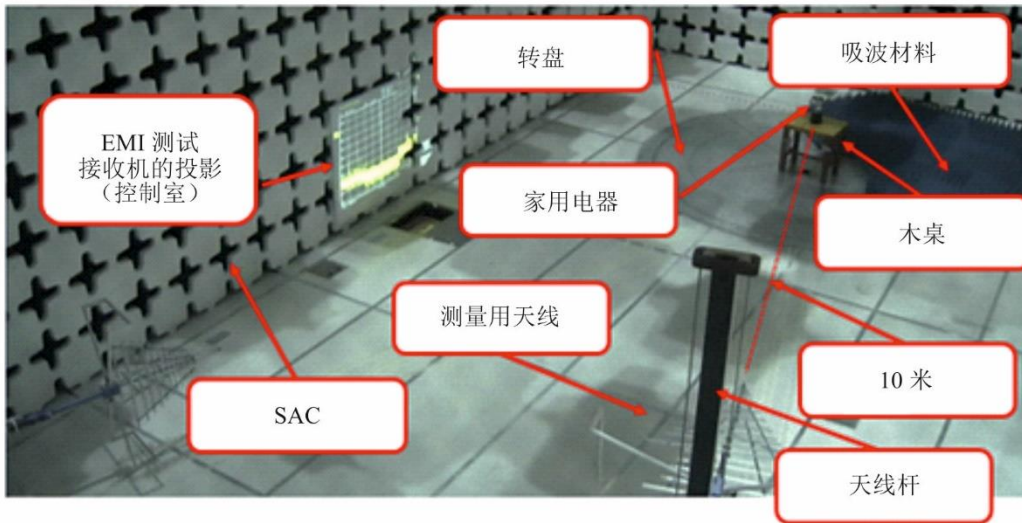
为了评估WSN，使用Python编程语言创建了一个计算代码。通过计算机的USB连接向WSN基站串行发送一个52字节的数据包。在WSN进行检测，以评估RSSI（上行和下行）和PER。如图2所示，二者均置于SAC内，以评估网络在受控环境中的行为。在基站之前插入

¹ 巴西执行CISPR 22号出版物。

衰减器以评估灵敏度。用于数据收集的计算机放置在SAC的地板之下，以避免影响测量。基站与传感器节点之间的距离约为4.5米，置于距地面1米的三脚架上。

图1

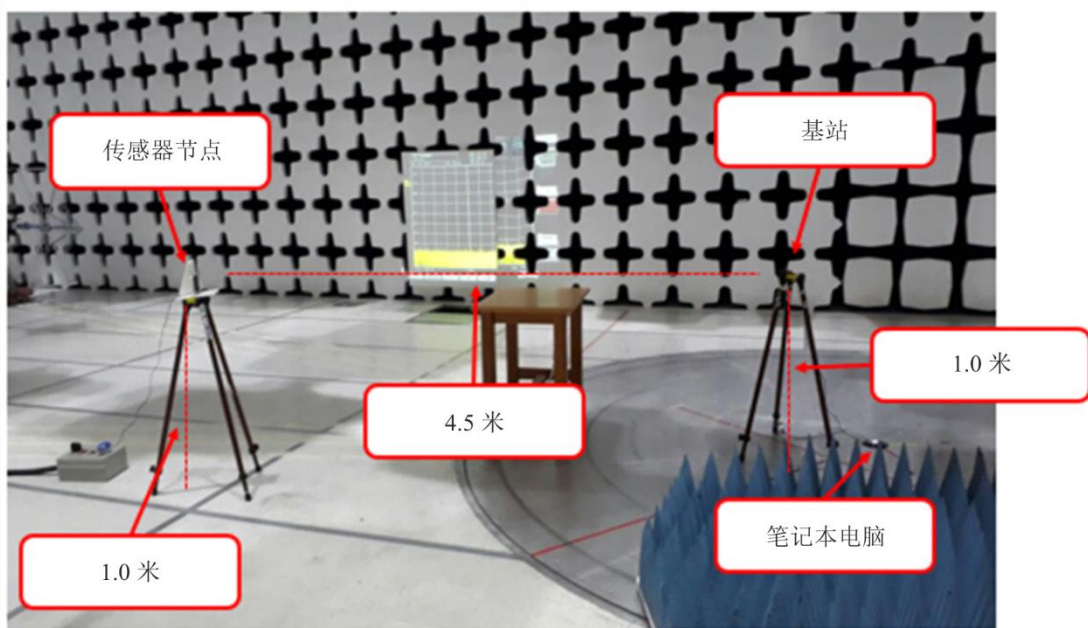
用于测量电磁骚扰的测试配置



SM.2503报告-1

图2

SAC内无家用电器的WSN配置



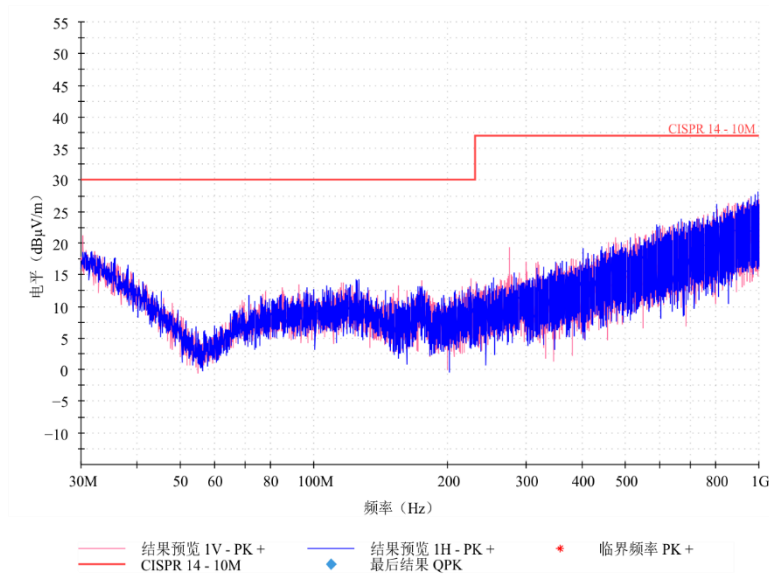
SM.2503报告-2

4 骚扰测量

图3显示了在家用电器关闭的情况下测量的背景噪声。图4至图7显示了在家用电器开启的情况下辐射电磁骚扰的测量结果。

图3

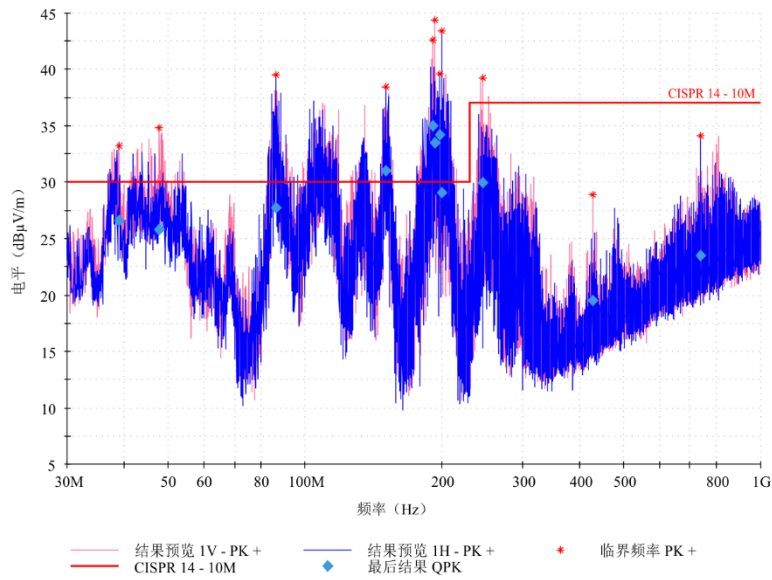
骚扰测量结果 - 背景噪声



SM.2503报告-3

从图4中可以看出，在峰值扫描中，得到的值都高于规范性限值。150、190、193和197 MHz附近频率的准峰值测量结果都高于限值，与限值相比，最高电平为4.97 dB。可以得出结论，该吸尘器不符合规范性要求。

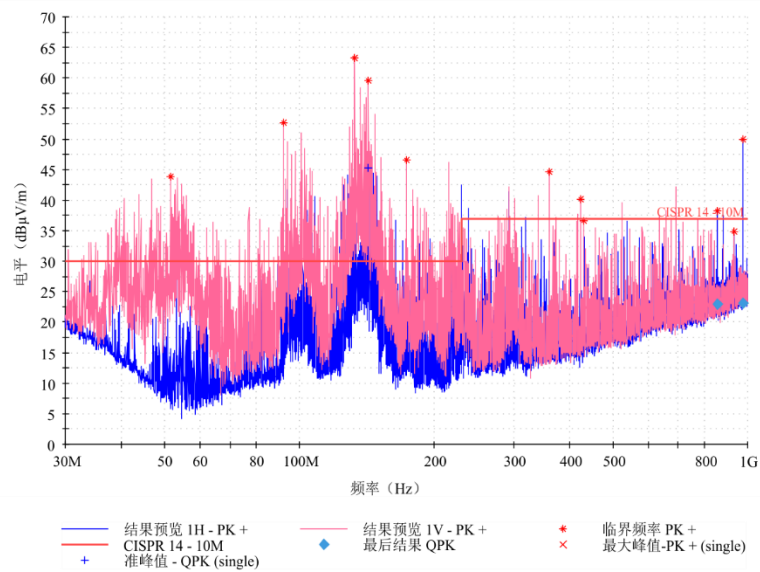
图4
骚扰测量结果 - 吸尘器



SM.2503报告-4

图5显示了127 Vac搅拌机的骚扰测量结果。峰值扫描中得到的值高于规范性限值。在评估准峰值测量结果时，这些值低于更接近900 MHz的限值；然而，评估必须考虑所有测试频率，以满足要求。值得注意的是，该设备在150 MHz周围区域呈现出高电平骚扰，但又限于于此。

图5
骚扰测量结果 - 127 Vac搅拌机

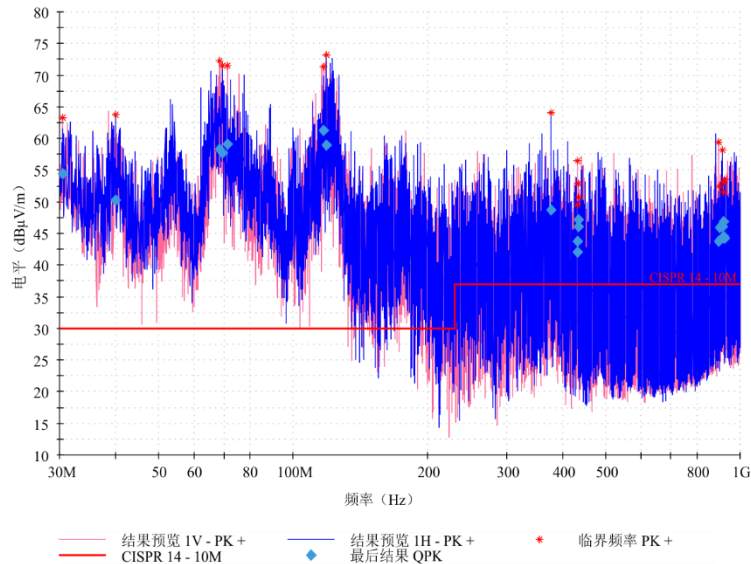


SM.2503报告-5

图6显示了一台220 Vac搅拌机的骚扰测量结果。该图显示，电磁骚扰的电平相当高，超出规范性限值25 dB以上。在WSN范围内，扰动比规范性限值高出近10 dB。通过这一测量，由于骚扰电平较高，因此选择该设备用于WSN的评估。

图6

骚扰测量结果 – 220 Vac搅拌机

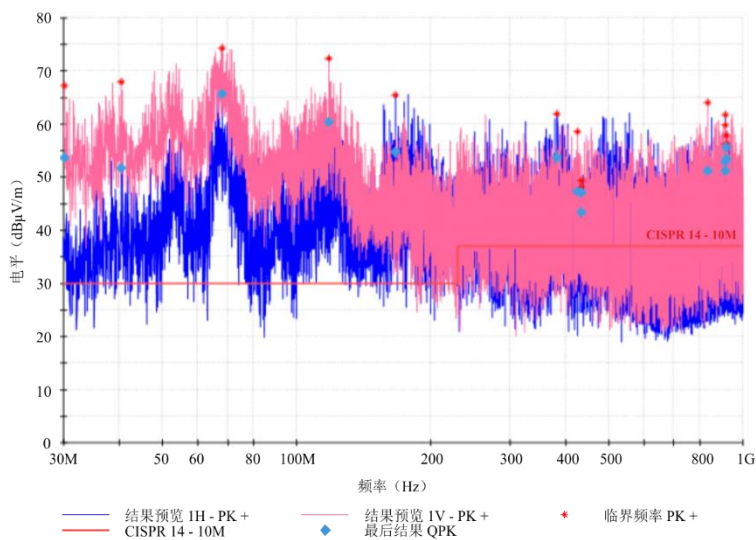


SM.2503报告-6

图7显示了两台搅拌机同时工作时的骚扰测量结果。在WSN频率范围内，电平超出规范性限值30 dB以上；扰动比规范性限值高出约15 dB。

图7

骚扰测量结果 – 127 Vac和220 Vac搅拌机

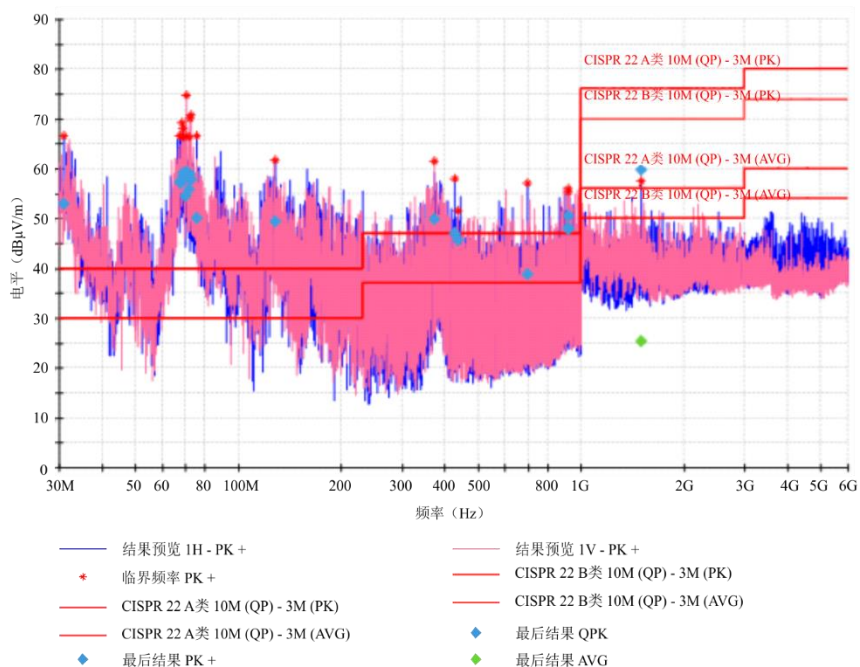


SM.2503报告-7

此外，对不同类型的家用电器进行了组合扰动测量。图8显示了使用一台微波炉、一台冰箱和一台127 Vac搅拌机进行的测量。在多个频率上，包括高于1 GHz的频率，电平都超过限值。

图8

骚扰测量结果 – 微波炉、冰箱、搅拌机 (127 Vac)



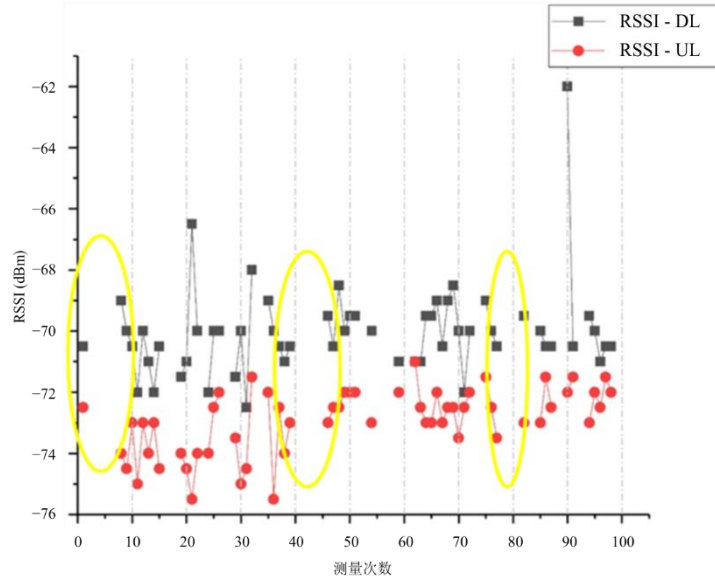
SM.2503报告-8

5 干扰评估

图9显示了在SAC内使用家用电器（220 Vac搅拌机）时WSN RSSI的100次测量结果集合。黄色表示由搅拌机产生的电磁干扰造成的数据包丢失。得到的PER为42%，导致在WSN运行过程中数据流量出现严重损失。

图9

使用家用电器时的RSSI分析 - 100次测量结果

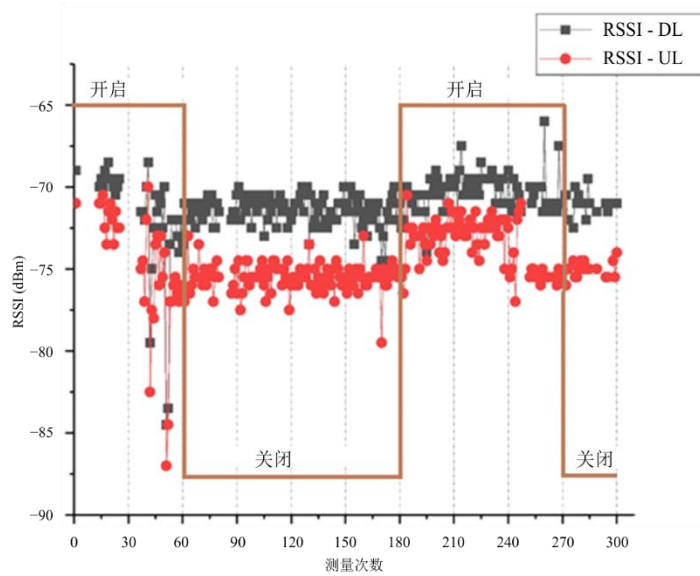


SM.2503报告-9

图10显示了在电器开启和关闭的情况下随时间变化进行的300次测量。在第60至180次测量中，家用电器关闭，WSN保持RSSI稳定；然而，在180到270次测量中，家用电器开启，数据包丢失，RSSI不稳定。

图10

使用家用电器时的RSSI分析 - 300次测量结果



SM.2503报告-10

6 结论

根据所提供的结果，可以得出结论，所研究的家用电器的辐射电磁骚扰电平高于规范性限值，能够严重影响WSN的运行。

为了验证这些扰动对WSN的影响，在SAC内随时间推移采集了RSSI和PER的水平。在不使用家用电器时，RSSI水平稳定并且没有丢包。在测试中插入选定的家用电器后，可以证实得到不稳定的RSSI和42%的PER，因此得出结论，所研究的家用电器产生的干扰会严重影响网络的运行。

本研究侧重于915 MHz频段周围的IoT WSN；然而，在许多频率上都发现并测量了家用电器产生的一些扰动，其中一些扰动的电平远高于所研究的大部分频段所示的电平。因此，其他无线电通信业务也有可能受到骚扰的影响。本研究未考虑低于30 MHz的频率，在这些频率上干扰可能更为突出。

本报告鼓励进行调查，以涵盖这些和其它潜在的干扰情况，并表明，有必要在用于或设想用于IoT组网的频段内继续研究这些现象，以涵盖家用电器可能对其它IoT网络配置产生的骚扰和干扰。

从更广泛的角度看待本研究，可以对IoT等新技术进行规划或设计，但当将其置于实际应用场景（特别是居住环境）中时，其网络可能会因来自不同种类的非有意发射器的非预期干扰而无法正常运行，这可能会危及技术及其应用的进步。

由于智能电网和智慧城市的发展对电气电子设备和网络的融合性和集成性提出了更高的要求，因此，考虑电磁兼容性的技术概念以及任何防止和避免来自非有意发射器的干扰的必要要求至关重要，特别是为了保护当前和未来的无线电通信业务。
