الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التقرير ITU-R SM.2503-0

(2022/07)

تقييم الاضطرابات الكهرمغنطيسية المشعة من الأجهزة المنزلية وتداخلاتها عبر شبكة إنترنت الأشياء في نطاق الترددات MHz 915

السلسلة SM

إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

السياسة المتبعة بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC)) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل تقارير قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REP/en)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف

ملاحظة: *وافقت لجنة الدراسات على النسخة الإنكليزية لهذا التقرير الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2023

© ITU 2023
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التقرير ITU-R SM.2503-0

تقييم الاضطرابات الكهرمغنطيسية المشعة من الأجهزة المنزلية وتداخلاتها عبر شبكة إنترنت الأشياء في نطاق الترددات 915 MHz

(2022)

مجال التطبيق

يمكن للأجهزة الإلكترونية وشبكاتها، بما في ذلك تلك غير المستخدمة في الاتصالات، أن تنتج اضطرابات كهرمغنطيسية كبيرة يمكن أن تؤثر على وظائف أنظمة الاتصالات الحالية والمستقبلية مثل إنترنت الأشياء (IoT) وتطبيقاتها. ويقيِّم هذا التقرير مستويات الاضطرابات الكهرمغنطيسية الناجمة عن الأجهزة المنزلية وكيف يمكن لهذه التداخلات أن تؤثر على تشغيل شبكة استشعار لاسلكية (WSN) تعمل في النطاق 915 MHz في بعض الإدارات، وهو نظام يُستخدم على نطاق واسع في إنترنت الأشياء نظراً لمرونته التقنية وتكلفته المنخفضة. ويُقسم العمل إلى ثلاث مراحل. المرحلة الأولى التي تُقيّم فيها الاضطرابات الكهرمغنطيسية الصادرة عن الأجهزة المنزلية، واشتملت المرحلة الثانية على تحديد خصائص شبكة الاستشعار اللاسلكية من خلال تقييم مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة (RSSI) ومعدل الخطأ في الرزم (PER)، وأخيراً، تمثلت المرحلة الثالثة في تقييم مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة ومعدل الخطأ في الرزم بإدراج الجهاز المنزلي في الاختبار. وأظهرت النتائج أن الأجهزة المنزلية التي خضعت للبحث لم تتبع حدوداً معيارية وتؤثر تأثيراً كبيراً على عمل شبكة الاستشعار اللاسلكية.

الاختصارات والأسماء المختصرة

ABNT	رابطة المعايير التقنية البرازيلية (*Brazilian technical standards association*)
CISPR	اللجنة الدولية الخاصة المعنية بالتداخل الراديوي (*International Special Committee on Radio Interference*)
IEC	اللجنة الكهرتقنية الدولية (*International Electrotechnical Commission*)
NBR	معيار برازيلي (*Brazilian standard*)
PER	معدل الخطأ في الرزم (*Packet error rate*)
RSSI	مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة (*Received signal strength indication*)
SAC	غرفة شبه كاتمة للصدى (*Semi-anechoic chamber*)
Vac	فولطية تيار متردد (*Volts alternating current*)
WSN	شبكة أجهزة استشعار لاسلكية (*Wireless sensor network*)

1 مقدمة

يمكن للتجهيزات الكهربائية–الإلكترونية الحديثة وشبكاتها، بما في ذلك المعدات غير المخصصة للاتصالات، أن تنتج اضطرابات كهرمغنطيسية ذات صلة.

وتتصل هذه الأحداث بالديناميات التشغيلية لأنظمتها الإلكترونية، ووجود مصادر الإمداد بالطاقة المبدَّلة، والأحمال غير الخطية، والأجهزة الكهرميكانيكية، والدارات المنطقية، ضمن جملة عناصر. ويمكن أن تظهر هذه التأثيرات الكهربائية بطرائق مشعة أو موصلة، وإذا لم تخفَف عند مصدرها، فإنها يمكن أن تحط من الطيف الكهرمغنطيسي وتلوثه.

وثمة خطورة محتملة لهذا السياق في البيئة السكنية، الغنية بكثافة وكمية وتنوع التجهيزات الكهربائية–الإلكترونية وشبكاتها التي يمكن أن تؤثر مباشرة على وظائف خدمات الاتصالات الراديوية في مناطق المستخدمين أو المستهلكين.

وقيّمت هذه الدراسة سلوك شبكة أجهزة الاستشعار اللاسلكية (WSN) عند تعرضها للاضطرابات الناجمة عن الأجهزة المنزلية من خلال تحليل مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة (RSSI) ومعدل الخطأ في الرزم (PER).

وقُسّم العمل إلى ثلاث مراحل. المرحلة الأولى التي تتمثل في قياس الإرسالات الكهرمغنطيسية للأجهزة المنزلية. والمرحلة الثانية التي تتمثل في تحديد خصائص شبكة أجهزة الاستشعار اللاسلكية باستخدام مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة ومعدل الخطأ في الرزم. والمرحلة الاخيرة التي تتمثل في إجراء تقييم لشبكة أجهزة الاستشعار اللاسلكية وفقاً للمعايير نفسها عند إدراج الأجهزة المنزلية في الاختبار.

2 التجهيزات والتركيبات

أُجريت جميع عمليات القياس داخل غرفة شبه كاتمة للصدى ETS-LINDGREN، يمكنها العمل على ترددات من 9 kHz إلى 220 GHz، مع جهاز دوار لتشغيل الأسطوانات.

واستخدم هوائيان: الهوائي UltraLog، وبالتحديد الطراز HL562E للقياسات بالنسبة للترددات من 30 MHz إلى 1 GHz، والهوائي Double Ridged Guide وبالتحديد الطراز 3117 للقياسات بالنسبة للترددات من 30 MHz إلى 6 GHz.

وكان المقياس من نوع Rohde & Schwarz، وبالتحديد طراز مُستقبِل الاختبار ESIB 40 EMI مع عرض نطاق قابل للانتقاء من بين 200 Hz و9 kHz و120 kHz و1 MHz مع كاشفات للذروة والقيمة المتوسطة ولشبه الذروة على النحو المطلوب من المواصفة IEC CISPR 16-1.

وطُبقت الموهنات المتغيرة المقدمة من شركة JFW Industries، أي الطرازان 50R-029 (من 0 إلى 70 dB مع دقة 0,5 dB) و50R-019 (من 0 إلى 10 dB مع دقة بمقدار 0,2 dB)، على الشبكة WSN. وقد استعمل محلل شبكة من شركة Agilent Technologies، من طراز E5071B، لتقييم هذه الموهنات.

وكانت الوحدة الراديوية من طراز BE900، وحظيت بموافقة الوكالة الوطنية البرازيلية للاتصالات (Agência Nacional de Telecomunicações) (Anatel) وهي تشمل الاتصالات اللاسلكية لتطبيقات المراقبة والتحكم باستعمال التشكيل FSK-2 بحد أقصى يبلغ 250 kbit/s. وتحمل معالج ATmega328.AVR قابل للبرمجة، ومرسل–مستقبل للتردد الراديوي CC1101 بقدرة خرج تساوي 10 dBm، وحساسية تبلغ –112 dB ومعدل الخطأ في الرزم بنسبة 1%، باستخدام مرشاح تمرير نطاق معدل للعمل في نطاقي التطبيقات الصناعية والعلمية والطبية(ISM) 902-907,5 MHz و915-928 MHz.

ويأخذ هذا العمل بعين الاعتبار القياسات التي أجريت في وجود خلاطين (220 Vac 127 Vac) ومكنسة كهربائية بوصفها أجهزة منزلية وبالإضافة إلى ذلك، استُخدم فرن الموجات الصغرية وثلاجة لإجراء قياسات مركبة. وقد اختيرت هذه الأجهزة لأنها أجهزة نموذجية في البيئات السكنية وكانت متاحة وقت البحث، واستُخدمت بهدف استخلاص نتائج أكثر اكتمالاً.

وقد أُعدّت القياسات في معهد *Instituto de Pesquisas Eldorado* كجزء من أبحاث الدراسات العليا في جامعة *Pontifícia Universidade Católica de Campinas* (ساو باولو، البرازيل).

3 المنهجية

جرى التحقق، في المقام الأول، من الغرفة SAC استناداً إلى المنهجية التي عرضتها المواصفة ABNT NBR IEC/CISPR 22[1]. وأُجري أيضاً تحليل لضوضاء الخلفية، وذلك بالقيام بمسح للطيف عبر هوائي يتراوح ارتفاعه بين متر واحد و4 أمتار، في الوضعين الرأسي والأفقي. وتم أيضاً تحليل الموهنات على الترددات من 400 MHz إلى 1 000 MHz بواسطة محلل الشبكة للحصول على الأداء المحدد بورقة البيانات.

ووُضعت الأجهزة المنزلية على بعد 80 cm من الأرض على طاولة خشبية وفوق الجهاز الدوار لتشغيل الأسطوانات مع الحفاظ على مسافة 10 أمتار من هوائي القياس من أجل إجراء قياسات للاضطرابات الكهرمغنطيسية المشعة، كما يتبين من الشكل 1.

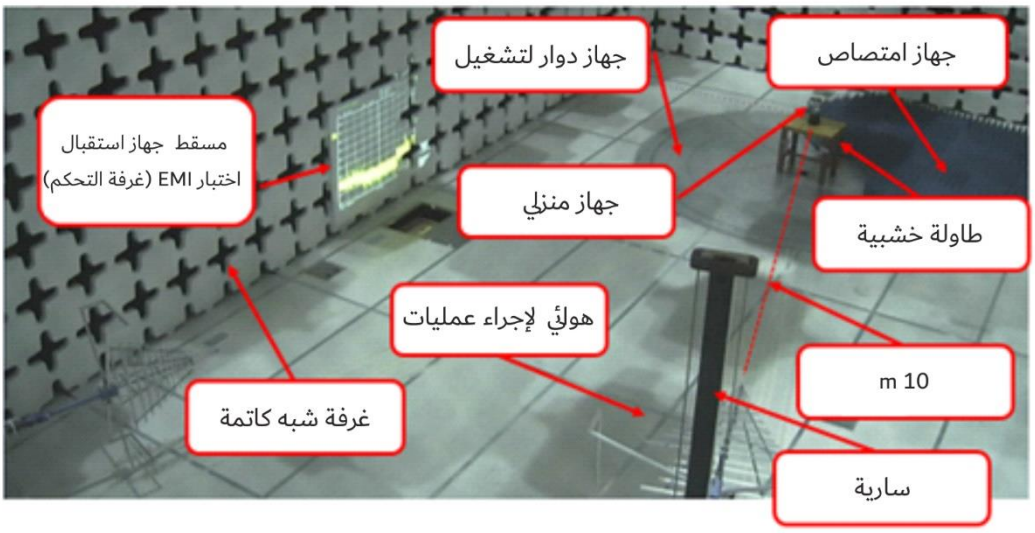
وأُخذت القياسات في مدى الترددات من 30 MHz إلى 1 GHz وفقاً للمتطلبات التي حددتها المواصفة CISPR 14-1؛ وقد استُخدمت المواصفة CISPR 22 للقياسات حتى 6 GHz.

واستعمل أول تحليل كاشف للذروة، بينما استندت القياسات النهائية إلى قيم شبه ذروة عند بلوغ القيم القصوى فوق الحد وبالقرب من ترددات الشبكة WSN، لا سيما في النطاق 915 MHz مع مراعاة المخطط الانسيابي للشكل 1.B في المواصفة ABNT NBR IEC/CISPR 22. وتنفيذاً لهذه القياسات، استُخدمت البرمجية EMC32 المقدمة من Rohde & Schwarz.

وتقييماً للشبكة WSN، استحدثت شفرة حاسوبية باستخدام لغة البرمجة Python. وقد أرسلت رزمة من 52 بايتة بالتسلسل من خلال توصيل الحاسوب بقاعدة الشبكة WSN عبر وصلة USB. وأُجري الكشف في الشبكة WSN لتقييم معلومات مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة (الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة على السواء) ومعدل الخطأ في الرزم. وقد وُضع كلاهما داخل غرفة SAC لتقييم سلوك الشبكة في بيئة تحت السيطرة، وفقاً للشكل 2. وقد تم وضع الموهنات قبل القاعدة لتقييم مستوى الحساسية. ووضع حاسوب جمع البيانات تحت أرضية الغرفة SAC لتجنب التأثير على القياسات. وبلغت المسافة بين القاعدة وعقدة أجهزة الاستشعار حوالي 4,5 m، ووُضعت على حامل ثلاثي على ارتفاع 1 m من الأرض.

الشكل 1

تشكيلة الاختبار المستعملة لقياس الاضطرابات الكهرمغنطيسية

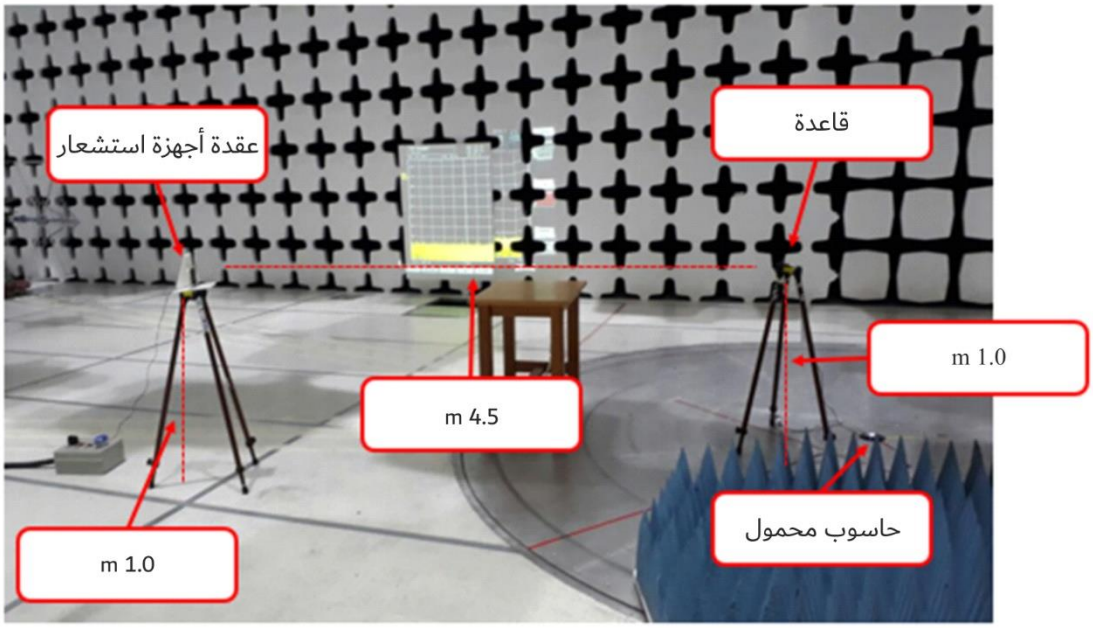


Report SM.2503-1

[1] تنفيذ المنشور 22 للجنة الدولية الخاصة المعنية بالتداخل الراديوي (CISPR) في البرازيل.

الشكل 2

تشكيلة شبكة الاستشعار اللاسلكية داخل غرفة نصف كاتمة للصدى خالية من الأجهزة المنزلية



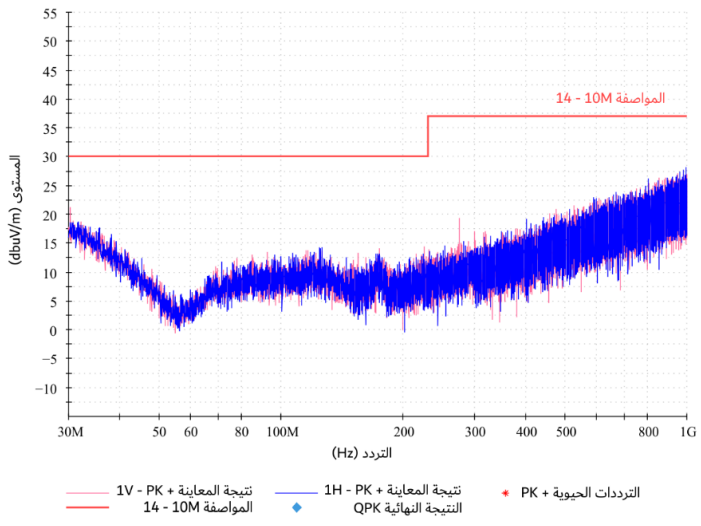
Report SM.2503-2

4 قياسات الاضطربات

يبين الشكل 3 ضوضاء الخلفية التي تم قياسها عند إيقاف تشغيل الأجهزة المنزلية. وتعرض الأشكال 4 إلى 7 النتائج المتحصل عليها من قياسات الاضطرابات الكهرمغنطيسية المشعة عندما تكون الأجهزة المنزلية في وضع تشغيل.

الشكل 3

نتيجة قياس الاضطراب – ضوضاء الخلفية

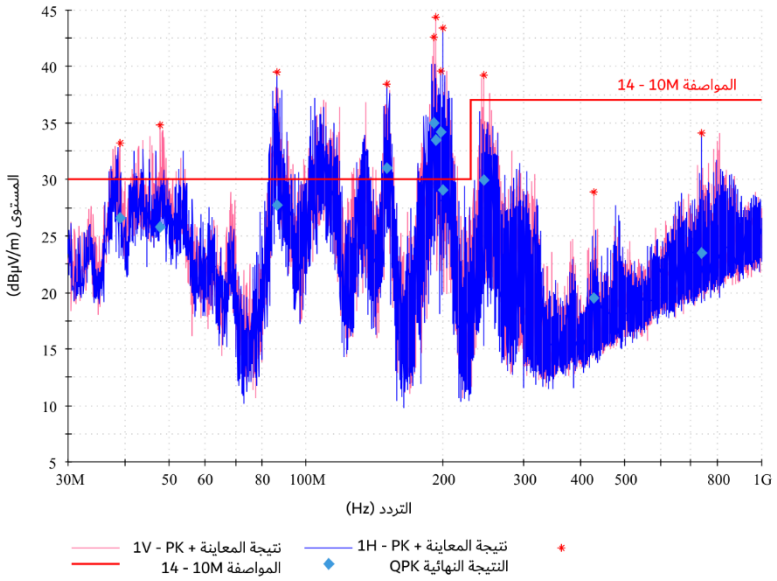


Report SM.2503-3

وكما يمكن ملاحظته في الشكل 4 فإن القيم المحصَّلة، في مسح الذروة، تزيد عن الحد المعياري. وكانت الترددات القريبة من 150 و190 و193 و197 MHz فوق حد قياس شبه الذروة مع أعلى مستوى مقداره 4,97 dB مقارنةً بالحد. ويمكن الاستنتاج أن هذه المكنسة الكهربائية لا تفي بالمتطلبات المعيارية.

الشكل 4

نتيجة قياس الاضطرابات – المكنسة الكهربائية

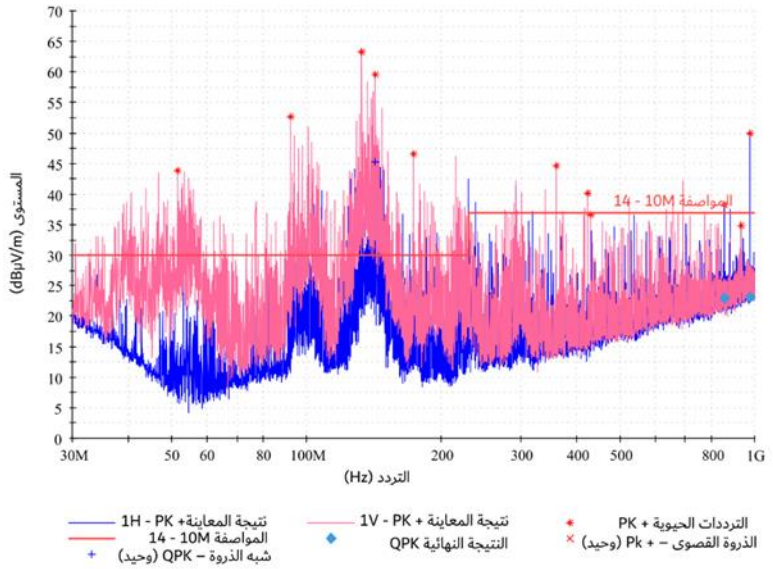


Report SM.2503-4

ويبين الشكل 5 الاضطرابات التي تم قياسها للخلاط 127 Vac. وكانت القيم التي تم الحصول عليها في مسح الذروة أعلى من الحد المعياري. وعند تقييم قياسات شبه الذروة، كانت القيم أقل من الحد الأقرب إلى 900 MHz؛ ومع ذلك، يجب أن ينظر التقييم في جميع الترددات المختبرة للوفاء بالمتطلبات. وجدير بالذكر أن الجهاز يفرز مستوى عالٍ من الاضطرابات في المنطقة المحيطة بالتردد 150 MHz، دون أن يقتصر عليه.

الشكل 5

نتيجة قياس الاضطراب – الخلاط Vac 127

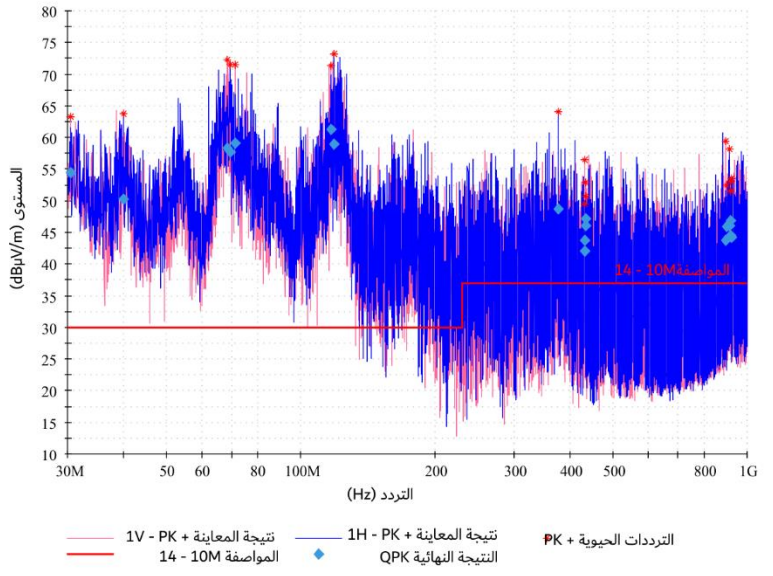


Report SM.2503-5

ويبيّن الشكل 6 نتيجة الاضطرابات التي تم قياسها للخلاط Vac 220. ويوضح وجود مستوى كبير من الاضطرابات الكهرومغناطيسية، يتجاوز الحد المعياري بأكثر من dB 25. وفي مدى الشبكة WSN، زادت الاضطرابات بنسبة dB 10 تقريباً عن الحد المعياري. ومن خلال هذا المقياس، ونظراً للمستويات العالية للاضطرابات، تم اختيار هذا الجهاز لاستخدامه في التقييم مع الشبكة WSN.

الشكل 6

نتيجة قياس الاضطراب – الخلاط Vac 220

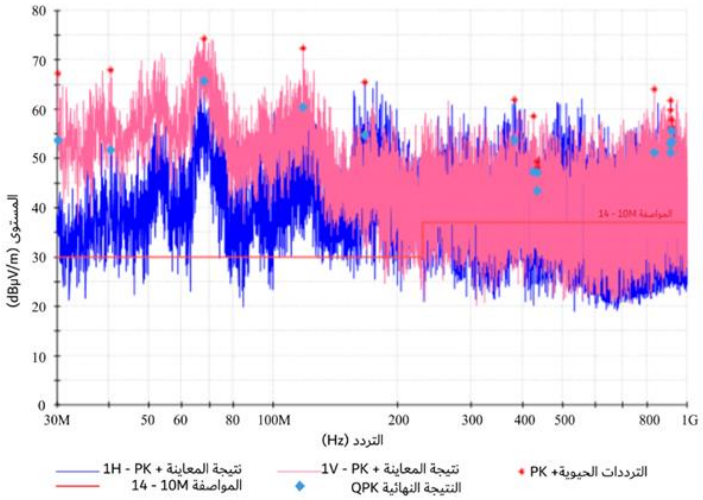


Report SM.2503-6

ويبيّن الشكل 7 الاضطرابات التي تم قياسها عندما يعمل الخلاطان في وقت واحد. وتتجاوز هذه المستويات الحد المعياري بأكثر من 30 dB في مدى ترددات الشبكة WSN؛ وكانت الاضطرابات أكبر من الحد المعياري بمقدار 15 dB تقريباً.

الشكل 7

نتيجة قياس الاضطراب – الخلاط Vac 127 والخلاط Vac 220

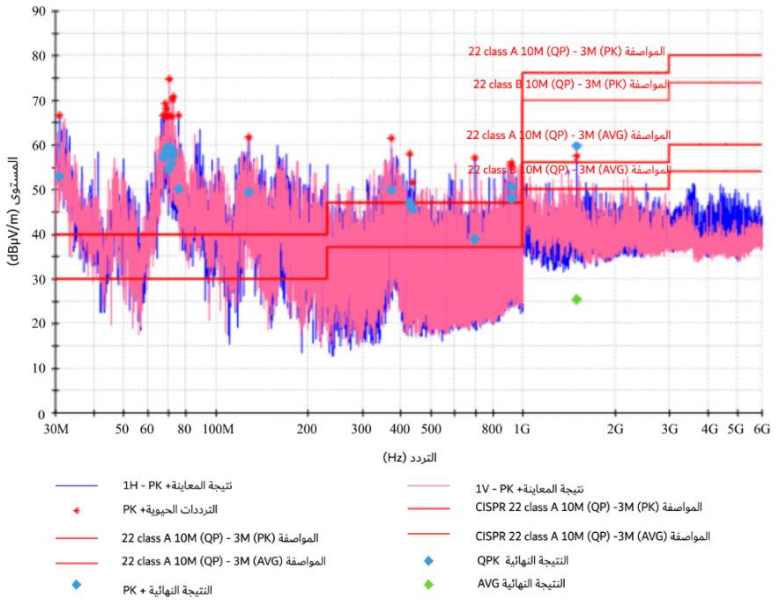


Report SM.2503-7

وعلاوةً على ذلك، أجريت عمليات قياس للاضطرابات المجمعة الناجمة عن أنواع مختلفة من الأجهزة المنزلية. ويعرض الشكل 8 عمليات القياس باستخدام فرن بالموجات الصغرية وثلاجة وخلاط Vac 127. وقد تجاوزت المستويات الحدود في عدة ترددات، بما في ذلك ترددات فوق GHz 1.

بيانات الشكل 8

نتيجة قياس الاضطراب – فرن بالموجات الدقيقة وثلاجة وخلاط بقوة Vac 127



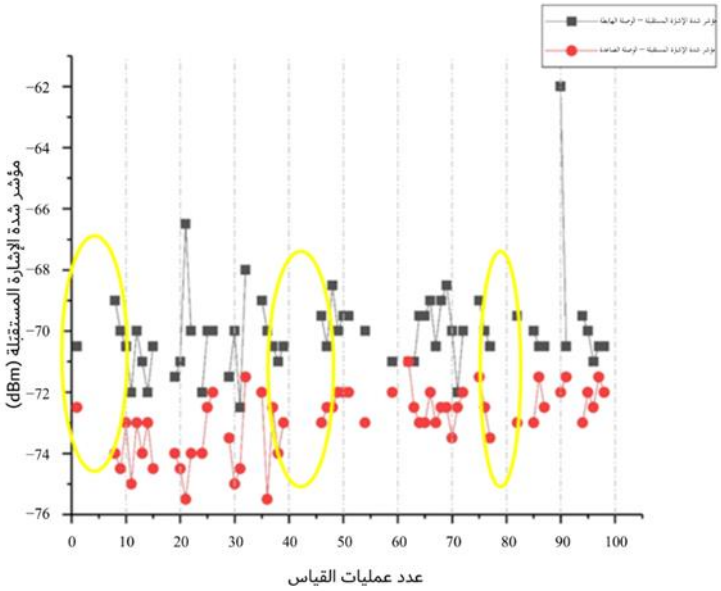
Report SM.2503-8

5 تقييم التداخلات

يبيّن الشكل 9 تجميع 100 عملية قياس لمؤشر شدة الإشارة المستقبَلة لشبكة WSN مع وجود جهاز منزلي (خلاط Vac 220) في غرفة SAC. وتبين المؤشرات الصفراء خسائر الرزم الناجمة عن التداخل الكهرمغنطيسي الصادر عن الخلاط. وكان معدل الخطأ في الرزم الذي تم الحصول عليه يبلغ 42% مما أدى إلى فقدان كبير في حركة البيانات عند تشغيل الشبكة WSN.

الشكل 9

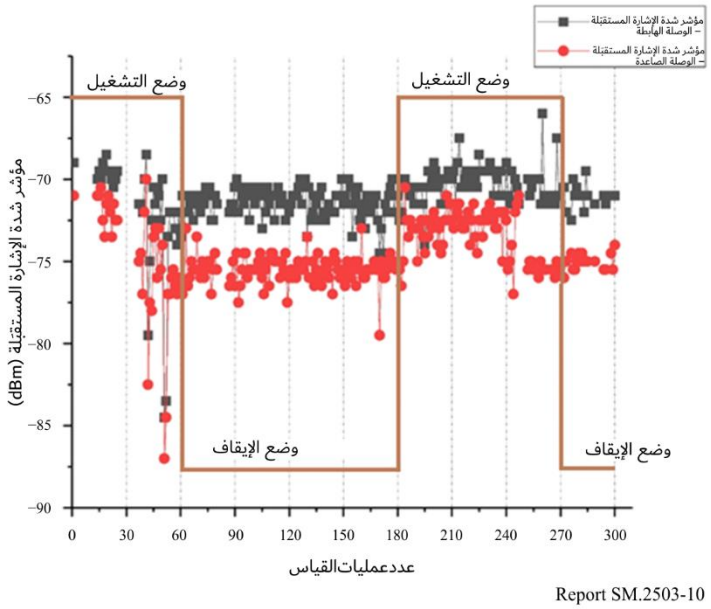
تحليل مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة بواسطة الأجهزة المنزلية – 100 عملية قياس



ويُبيّن الشكل 10، إجراء 300 عملية قياس بمرور الوقت، عندما تم تشغيل الجهاز وإيقافه. وبالنسبة لعمليات القياس على الترددات من 60 إلى 180، وعندما يكون الجهاز المنزلي في وضع إيقاف، فإن الشبكة WSN تحافظ على استقرار مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة؛ بيد أنه، وعند القياس على ترددات من 180 إلى 270، جرى تشغيل الجهاز المنزلي، وفُقدت الرزم في ظل عدم استقرار مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة.

الشكل 10

تحليل مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة بواسطة الأجهزة المنزلية – 300 عملية قياس



6 الاستنتاجات

بناءً على النتائج المقدمة، يمكن استنتاج أن الأجهزة المنزلية التي شملها البحث لديها مستويات من الاضطرابات الكهرمغنطيسية المشعة فوق الحد المعياري، وهي قادرة على التأثير بشكل كبير على تشغيل الشبكة WSN.

وجُمعت مستويات مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة ومعدل الخطأ في الرزم بمرور الوقت داخل غرفة SAC من أجل التحقق من تأثير هذه الاضطرابات على مستويات الشبكة WSN. وكان مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة يتمتع بمستويات مستقرة ولم يحدث أي فقدان للرزم في الشبكة في ظل وجود الأجهزة المنزلية. ويمكن، من خلال إدراج الأجهزة المنزلية المختارة في الاختبار، التحقق من مؤشر شدة الإشارة المستقبَلة غير المستقر ونسبة 42% من معدل خطأ الرزم، ومن ثم يُستنتج من ذلك أن التداخلات الناجمة عن الأجهزة المنزلية التي شملها البحث تؤثر تأثيراً كبيراً على تشغيل الشبكة.

وركز هذا العمل على الشبكة WSN لإنترنت الأشياء حول النطاق MHz 915؛ بيد أن بعض الاضطرابات الناجمة عن الأجهزة المنزلية قد كُشفت وقيست عند ترددات عديدة، ويعرض بعضها مستويات أعلى بكثير مما أشير إليه في معظم النطاق قيد الدراسة. ومن ثم، قد تتأثر خدمات اتصالات راديوية أخرى أيضاً بالاضطرابات. ولم يتم النظر، في إطار هذه الدراسة، في الترددات دون MHz 30 إذ يمكن أن تبرز فيها التداخلات بشكل أكبر.

ويشجع هذا التقرير الأبحاث لتغطية حالات التداخل المحتملة هذه وغيرها، ويبين الحاجة إلى مواصلة الدراسات بشأن هذه الظواهر في نطاقات التردد المستعملة أو المتوخى استعمالها للربط الشبكي لإنترنت الأشياء، من أجل تغطية الاضطرابات والتداخلات المحتملة من الأجهزة المنزلية على التشكيلات الأخرى لشبكة إنترنت الأشياء.

وبالنظر إلى اعتماد رؤية أوسع لهذا العمل، يمكن تخطيط أو تصميم تكنولوجيات جديدة مثل إنترنت الأشياء، ومع ذلك، وعند وضعها في المجال الحقيقي العملي، خاصة في البيئة السكنية، فإن شبكاتها قد لا تعمل بشكل صحيح بسبب التداخلات غير المتوقعة من أنواع مختلفة من المرسلات غير المتعمدة، مما يهدد تقدم التكنولوجيا وتطبيقاتها.

وبما أن إقامة الشبكات الذكية والمدن الذكية يتطلب بشكل تدريجي معدات وشبكات كهربائية-إلكترونية متكاملة وأكثر تقارباً، فمن الأهمية بمكان النظر في المفاهيم التقنية للتوافق الكهرمغنطيسي وأي متطلبات ضرورية لمنع وتجنب التداخلات من المرسلات غير المتعمدة، ولا سيما من أجل حماية خدمات الاتصالات الراديوية الحالية والمستقبلية.