

## التوصية ITU-R SM.1753

## طريقة لقياس الضوضاء الراديوية

(المسألة 1/45 ITU-R)

(2006)

## مجال التطبيق

يحتاج قياس الضوضاء الراديوية لطريقة منتظمة ومستقلة عن التردد للحصول على نتائج لا تتغير من مرة إلى أخرى ودقيقة وقابلة للمقارنة بين أنظمة قياس مختلفة. تقدم هذه التوصية مجموعة عمليات أو خطوات يتعين ضمها في إجراء قياس يُنتج هذه النتائج القابلة للمقارنة.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن سويات الضوضاء الراديوية المحددة في التوصية ITU-R P.372 قد تزيد نظراً لوضع أنظمة اتصالات راديوية جديدة (مثل النطاق العريض جداً (UWB) واتصالات خطوط القدرة (PLC)) موضع الاستعمال؛
- ب) أن الإدارات تحتاج لمعرفة السويات الدقيقة للضوضاء من أجل إدارة الطيف الترددي بكفاءة؛
- ج) أن هناك حاجة لتنسيق طريقة القياس بحيث تحقق قياسات الضوضاء نتائج لا تتغير من مرة إلى أخرى ويمكن عقد مقارنات فيما بينها،

وإذ تلاحظ

- أ) أن دليل مراقبة الطيف الترددي يحوي كمياً كبيراً من المعلومات عن معدات المراقبة والقياس؛
- ب) أن ثمة حاجة لمواصفات إضافية للمستقبل من أجل قياسات الضوضاء،

توصي

- 1 أن تجرى قياسات الضوضاء الراديوية على النحو المبين في الملحق 1.

## الملحق 1

## طريقة لقياس الضوضاء الراديوية

## 1 مقدمة

يصف هذا الملحق طريقة لا تعتمد على التردد لقياس الضوضاء الراديوية في التطبيقات الراديوية العملية.

## 2 خصائص الضوضاء

وفق التعريف الوارد في التوصية ITU-R P.372، فإن الضوضاء الراديوية هي مجموع البث الراديوي من مصادر متعددة وغير الصادرة عن مرسلات اتصالات راديوية. وعندما لا تسود ضوضاء من مصادر ضوضاء من نوع واحد في موقع قياس معين، يكون لخاصية الضوضاء الراديوية توزيع اتساع طبيعي ويمكن اعتبارها ضوضاء غوسية بيضاء. وتقع الإشارات المتأتية من مصادر أحادية مثل النبضات وحوامل الموجات المستمرة خارج مجال تطبيق قياسات الضوضاء الراديوية الموصوفة في هذه التوصية، وينبغي استبعادها.

## 3 مواصفات المعدات

### 1.3 المستقبل

يمكن لمستقبل قياس أن يكون مستقبل قياس معياري قابل للنقل أو محل طيف مع بعض المتطلبات الإضافية لإجراء قياسات ضوضاء، مثل ضوضاء منخفضة الخلفية للجهاز واستقرار مرتفع عند الترددات العالية والكسب العالي، وهما عنصران ضروريان لأداء قياسات الضوضاء. ولا يصف الجدول 1 مجموعة جديدة من مواصفات مستقبل القياس لكنه يوضح فقط المتطلبات الإضافية أو النوعية اللازمة لمستقبل يُستعمل لقياسات الضوضاء الراديوية. وتقوم تسميات نطاق التردد على التنفيذ العملي لنظام قياس الضوضاء ولا تشير إلى نظام استقبال معين.

### الجدول 1

#### المستقبل

المدى الترددي			الوظيفة
GHz 3-0,5	MHz 500-30	MHz 30-kHz 9	المدى الترددي
1,5 > Ω، الاسمي			الدخل (دخل الهوائي) VSWR
0 ≤	10 ≤	20 ≤ (< 3 MHz)	اعتراض من الرتبة الثالثة (dBm)
-	50 ≤	60 ≤ (< 3 MHz)	اعتراض من الرتبة الثانية (dBm)
مرشاح تتبع أو ثابت مرشاح تمرير منخفض/تمرير عالي		مجموعة مرشاح نطاق تحت الثمانية أو مرشاح تتبع	انتقاء مسبق
15 dB (< 2 MHz)			قيمة الضوضاء
7-	7-	10-	الحساسية (عرض النطاق 500 Hz)(dBμV)
100- بتخالف 10 kHz	100- بتخالف 10 kHz	120- بتخالف 10 kHz	ضوضاء طور LO (Hz/dBc)
100 <	90 <	80 <	نبد IF (dB)
100 <	90 <	80 <	نبد الصورة (dB)
لا ينبغي تطبيق AGC على مخارج القياس			AGC
كل التداخل الذي ينتجه ويستقبله الإنشاء ينبغي أن يكون < 10 dB تحت متوسط الضوضاء المزمع قياسها			الاتساق الكهرومغناطيسي لمعدات القياس بما فيها الحواسيب والسطح البيئي

ينبغي معرفة انتقائية التردد المتوسط IF المتراوحة بين 6 و 60 dB بدقة لحساب عرض نطاق الضوضاء المكافئ عندما تدعو الحاجة إلى مقارنة قياسات بمرشاح IF مختلفة.

## 2.3 المضخم منخفض الضوضاء (LNA)

المضخم منخفض الضوضاء (LNA) ضروري للترددات التي تزيد عن 20 MHz

لضمان دقة قياس معقولة، يلزم إبقاء الضوضاء المقيسة عند قيمة تزيد بمقدار 10 dB على الأقل عن ضوضاء خلفية المعدات إذا استُعمل كاشف يستخدم جذر متوسط التربيع RMS. ويمكن لمضخم LNA أن يساعد في تحقيق هذا الهدف. ترد المتطلبات لمضخم كهذا في الجدول 2 الذي لا يصف مجموعة جديدة من مستقبلات القياس أو مواصفات LNA لكنه يوضح فقط المتطلبات الإضافية أو النوعية اللازمة لمضخم LNA المستعمل لقياسات الضوضاء.

## الجدول 2

## المضخم منخفض الضوضاء (LNA)

المدى الترددي			الوظيفة
GHz 3-0,5	MHz 500-50	MHz 50-20	
1,5 > Ω، الاسمي			الدخل (دخل الهوائي) VSWR
25 ≥	25 ≥	18 ≥	الكسب (dB)
C °30-10 عند dB 0,1 ≥			استقرار الكسب
2 ≥	2 ≥	2 ≥	سوية الضوضاء (dB)
0,5 >	0,2 >	0,1 >	ثبات الكسب عبر المدى الترددي موضع الاهتمام (dB)

ينبغي توخي العناية في عدم زيادة تحميل المستقبل عند استعمال LNA. ويمكن تطبيق مرشاح نطاق خارجي للحيلولة دون التحميل الزائد.

## 3.3 الهوائيات

لا يوجد هوائي عام يصلح لجميع أنواع قياسات الضوضاء وجميع النطاقات الترددية، غير أن هناك بعض المتطلبات العامة. إذ يتعين الوصول بالمخطط الإشعاعي للهوائي إلى الوضع الأمثل لأسلوب انتشار الضوضاء المعتمَر قياسها، من قبيل الموجة الأيونوسفيرية أو الموجة المباشرة. ويلزم بقاء الكسب ثابتاً قدر الإمكان عبر الفتحة المستقبلية ذات الصلة. ورغم تأثرها بالظروف البيئية فإن الضوضاء بحد ذاتها غير مستقطبة، لذا فالهوائيات المثلى هي الهوائيات أو توليفة الهوائيات التي لا تتأثر بالاستقطاب. بالنسبة للهوائيات الموضوعة في بيئة تتوزع فيها مصادر الضوضاء بشكل منتظم حول الهوائي، يكون مخطط الهوائي أقل أهمية منه في الحالات التي تُستقبل الضوضاء فيها من زاوية معرّفة. في الحالة الأولى، يتعين فقط استعمال كفاءة الهوائي أو متوسط الكسب عبر كامل فتحة الهوائي كعامل تصحيح. ويصدق هذا بصفة خاصة على القياسات التي تجرى في نطاقات التردد العالية. فكلما انخفض التردد، ازدادت أهمية الخصائص ثلاثية الأبعاد لمخطط الهوائي.

## 4.3 تحليل عدم التيقن

ينبغي أن تعكس النتيجة النهائية للقياس قيمة حقيقية يمكن الحصول عليها مرة أخرى بإعادة القياس حتى عند استعمال تجهيزات قياس أخرى. والمطلوب ليس فقط متوسط الدقة بل أيضاً الحدود التي يمكن أن تتغير القيم في نطاقها. وينبغي وضع ميزانية لعدم التيقن لكل قياس تحوي جميع العوامل المساهمة في إجمالي عدم التيقن. وترد معلومات عن ذلك، مثلاً، في نشرة nr المنظمة الدولية للمواصفات القياسية (ISO) "دليل التعبير عن عدم التيقن في القياسات".

#### 4 طريقة/خوارزمية القياس

يمكن قياس الضوضاء أساساً بطريقتين مختلفتين: تستعمل إحدهما كاشف RMS لتحديد قدرة الضوضاء، وتستعمل الأخرى الاعتيان الخام بواسطة كاشف عينات. النتيجة النهائية لكلاهما متطابقتان، غير أن الطريقتين تقدمان وسيلتين مختلفتين لعرض ومعالجة البيانات. وفي حين أن طريقة استعمال الكاشف RMS أكثر ملاءمة للقياسات في نطاقات HF، فإن طريقة الاعتيان الخام أكثر ملاءمة للقياسات في نطاقات VHF/UHF.

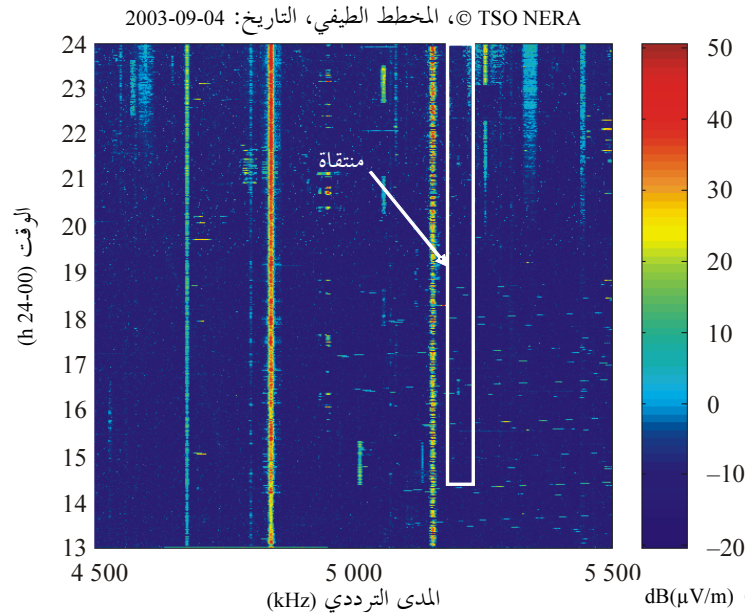
#### 1.4 اختيار نطاق تردد أو تردد

يمكن إجراء القياسات على تردد واحد (قناة واحدة) أو في نطاق ترددي معين (100 kHz مثلاً). ويمكن إجراء عمليات الرصد هذه أوتوماتياً ومعالجة النتائج وفق بروتوكول معرف مسبقاً.

في حالة مسح نطاق ترددي، تُحصَل النتائج الأفضل من حيث الجودة بقياس نطاق ترددي بأقل عدد ممكن من الإشارات القوية. ويمكن استعمال بيانات من قياسات سابقة أو قياس اختباري لاختيار نطاق ذي انشغال منخفض لإجراء القياسات النهائية فيه. بالنسبة لقياس التردد الواحد، ينبغي أن يكون التردد مشغولاً بالإشارات المتداخلة فقط خلال نسبة مئوية منخفضة من الوقت أثناء التسجيل. وهنا بإمكاننا أيضاً استعمال بيانات سابقة. ومع أن طريقة البيانات الخام يمكن استعمالها بالتضافر مع مسح ترددي، فإن قياس التردد الواحد عملي أكثر.

### الشكل 1

#### حدد فجوة ترددية في نطاق 5 MHz

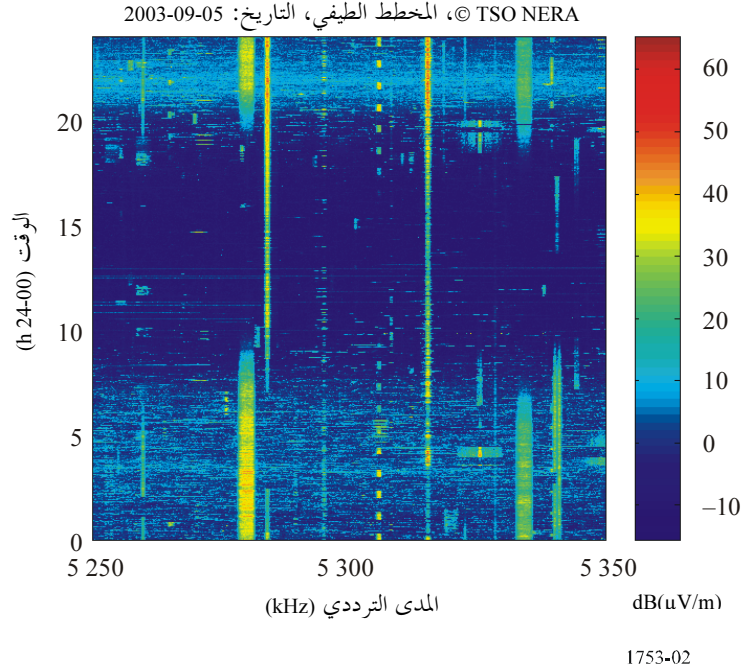


1753-01

في المثال في الشكل 1، يقاس القطاع 4 500-5 500 kHz من النطاق على مدى 24 ساعة ويُنتقى جزء منها، في 5 250-5 350 kHz ي هذه الحالة، لإجراء المزيد من القياسات. يبين الشكل 2 نتائج قياس 24 ساعة في هذا النطاق الذي يُستعمل لتحديد سوية الضوضاء.

## الشكل 2

## النطاق 5 250-5 350 kHz المنقّي



## 2.4 تجهيز المحلل/المستقبل للقياس

ترد في الجدول 3 بعض الضوابط التي تقدّم نتائج قابلة للاستعمال:

## الجدول 3

## تجهيز المحلل/المستقبل للقياس

وقت القياس	من الملائم عملياً الحصول على نتيجة كل 10 ثواني أو كل 20 ثانية، لذا فمن المفيد اعتماد 10 ثواني أو 20 ثانية كوقت مسح أو وقت لمعالجة البيانات الخام.
المدى الترددي	يتوقف مدى تردد الرصد كلياً على استعمال النطاق الترددي المختار. ويمكن أيضاً تقسيم هذا المدى الترددي إلى نطاقات فرعية أو ترددات حسب النطاق الترددي.
RBW	في حال استعمال المسح الترددي، يعتمد عرض نطاق المرشاح المطبق على المسح الترددي مقسوماً على الاستبانة المطلوبة. وتلمي طريقة الاعتيان الخام تشغيلاً معكوس النطاق RBW بضعفي تردد الاعتيان على الأقل. وينبغي تحديد عامل شكل المرشاح لإتاحة إمكانية مقارنة نتائج القياس من مستقبلات مختلفة.
الكاشف	من الضروري استعمال كاشف RMS حقيقي لقياسات قدرة الضوضاء؛ ولا يصلح أي كاشف آخر. وعندما تكون القيم المقيسة أقل من 10 dB تحت ضوضاء خلفية المعدات، يلزم لهذا الكاشف معايرة خاصة. بينما يتعيّن استعمال كاشف عينات في طريقة البيانات الخام لأن المعالجة، بما فيها حسابات RMS، تُجرى لاحقاً.
الموهن	3 dB يلزم موهن لضبط معاوقة دخل مستقبل معرفة، ضمناً لانخفاض عدم التيقن في القياس.
المنتقي المسبق	في وضع التشغيل.

### 3.4 فترة القياس

ينبغي اختيار فترة القياس بذهنية الوقت المتوقع لحدوث تغيرات كبيرة في الضوضاء المقيسة. مثلاً لتضمين الفروق بين النهار والليل، ينبغي عادةً قياس كل نطاق ترددي HF لفترة 24 ساعة أو أكثر. ولأخذ التغيرات الناجمة عن فصول السنة، ينبغي تكرار القياسات عدة مرات سنوياً. وثمة أسباب أيضاً تتعلق بعدم الانتشار لإجراء القياس لفترة 24 ساعة أو أكثر. مثلاً يمكن أن تتغير الضوضاء ذات المنشأ المحلي خلال 24 ساعة بسبب المعدات المشغلة خلال ساعات العمل.

### 4.4 ما بعد المعالجة

يسمح محلل الطيف نطاقاً ترددياً بعدد من الخطوات (قطاعات ترددية). والعدد الطبيعي للقطاعات مع أجهزة تحليل الطيف هو 500-10 000. فإن كان زمن المسح 10 ثوان مثلاً، فإن نتيجة القياسات هي قاعدة بيانات (مصنوفة) من  $8\ 600 \times 500$  إلى  $8\ 600 \times 10\ 000$  من قيمة شدة المجال. وللحفاظ على إمكانية استبعاد بعض أجزاء القياس وتطبيق طرائق إحصائية أخرى، ينبغي معالجة قاعدة البيانات هذه لاحقاً ببرمجيات مكرّسة لهذا الغرض.

#### 1.4.4 ترتيب المعالجة والتمثيل البياني للنتائج

يمثل الجدول 4 خطوات المعالجة المختلفة لطرائق القياس المختلفة.

الجدول 4

#### خطوات المعالجة

اعتيان خام	تردد واحد	مسح ترددي	خطوة المعالجة
X	X	X	صحح النتائج مراعاة تأثير العامل $K$ للهوائي (انظر الفقرة 1.5.4)
X	X	X	صحح النتائج مراعاة تأثير ضوضاء المعدات (انظر الفقرة 2.5.4)
X	X	X	التصحيح مراعاة تأثير شكل/عرض نطاق المرشاح (انظر الفقرة 3.5.4)
X			ارسم دالة بيانية لكثافة الاحتمال PDF للعينات الخام
X			احسب قيمة RMS لكل فدرية من العينات الخام
اختياري	X	X	اختيار العينات الحاوية للضوضاء بواسطة: - فرز كل مسح من المصفوفة بترتيب تصاعدي - فصل عينات الضوضاء عن عينات اللاضوضاء بحذف الـ 20% (أو $x\%$ ) التي لها أدنى القيم - إقرار صلاحية نسبة 20% (أو $x\%$ ) المختارة (انظر الفقرة 6.4) - التصحيح مراعاة تأثير قيم الـ 20% (أو $x\%$ ) (انظر 4.5.4)
اختياري	X	X	احسب المتوسط من انتقاء $x\%$ من كل مسحة
اختياري	X	X	احسب القيمة الدنيا والمتوسطة والقصى من كل 10 أو $n$ من المسحات
اختياري	X	X	ارسم النتائج الدنيا والمتوسطة والقصى بيانياً

### 5.4 التصحيحات الواجب تطبيقها

ينبغي تطبيق عدد من التصحيحات، كما ذكر في الفقرة 1.4.4، في مراحل مختلفة من عملية ما بعد المعالجة.

#### 1.5.4 صحح النتائج لمراعاة تأثير العامل $K$ للهوائي

ينبغي تصحيح كل نقطة تردد مقيسة بالعامل  $K$  الصحيح لا سيما للهوائيات ضيقة النطاق في القياسات التي أجريت في النطاق شبه العريض. وتذكر أن الهوائيات ضيقة النطاق لا ينبغي أن تُستعمل خارج مداها الترددي بسبب التغيرات في المخطط البياني للهوائي. وكما ذكر في الفقرة 3.3 فإن تطبيق عوامل التصحيح يعتمد على حالة القياس.

#### 2.5.4 التصحيح لمراعاة تأثير ضوضاء المعدات

الإشارات التي نقيسها هي في الواقع إشارات مركبة على ضوضاء المعدات. وطريقة التصحيح هي كما يلي: قس لفترة قصيرة دون مصدر موصول (هوائي منفعل)، لكن في وجود مضخمات منخفضة الضوضاء موصولة ومنهارة بشكل صحيح وبنفس ظروف القياس الأصلية. والآن انتق العينات ذات القيمة الأدنى بنفس الطريقة المتبعة أثناء القياس الأصلي وبنفس النسبة المئوية، واطرح هذه القيمة خطأً من قيمة السوية المتوسطة المقيسة.

#### 3.5.4 التصحيح لمراعاة تأثير قيم الـ 20% أو $x\%$

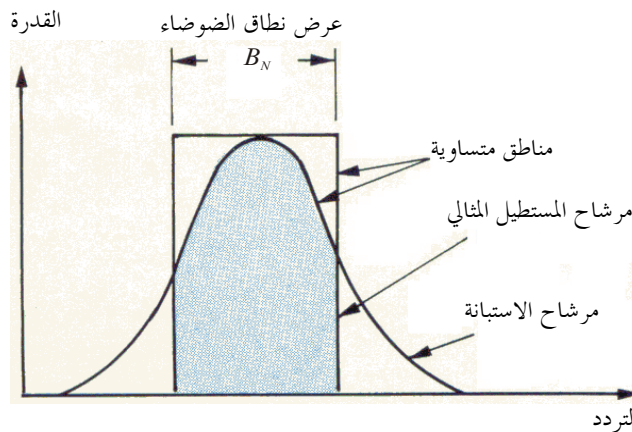
تنبذ مكونات الضوضاء غير المرغوبة، من قبيل الموجات الحاملة، بواسطة المرشاح بطريقة الـ 20%. إلا أن الضوضاء المرغوبة تُرشح بهذه الطريقة أيضاً. ويتعين تطبيق عامل تصحيح للتعويض عن الخطأ المدخل. ويمكن تحديد هذا الخطأ بواسطة مصدر ضوضاء غوسي والظروف الفعلية المزعم استعمالها في القياسات ومرشاحي IF والفيديو كليهما ونسبة  $x\%$  المثوية المرغوبة. وينبغي استعمال مصادر ضوضاء بديلة من أجل نمط ضوضاء معين.

#### 4.5.4 التصحيح لمراعاة تأثير شكل/عرض نطاق المرشاح

رغم أننا نود التحدث عن سويات ضوضاء في مراقبة الطيف، فإن الضوضاء يعبر عنها دوماً تقريباً بوحدات القدرة/عرض النطاق. ومثل هذا العبارة تستلزم مكاملة عرض نطاق المرشاح وتقديمه مبدئياً على شكل مستطيل.

### الشكل 3

#### البيان المستطيل لعرض نطاق مرشاح



1753-03

إذا أردنا مقارنة قياسات أجريت بتشغيلي RBW مختلفين، يتوجب علينا تطبيق عامل تصحيح على إحدى النتائج المساوية لنسبة تشغيلي RBW. فإذا أردنا تحويل القياسات التي أجريت بتشغيل  $RBW_1$  إلى قياسات أجريت بتشغيل  $RBW_2$ ، يجب تطبيق تصحيح:

$$10 \log(RBW_2/RBW_1)$$

على القيم المقيسة (dB).

لاستخلاص نتائج لا تعتمد على عرض النطاق، تُقيس القيم المقيسة مع سوية الضوضاء الحرارية التي يمكن حسابها كما يلي:

$$P_0 = k T_0 B$$

حيث:

$$k: \text{ ثابت بولتزمان} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ W/Hz}$$

$$T_0: \text{ درجة حرارة الوسط المحيط (K)}$$

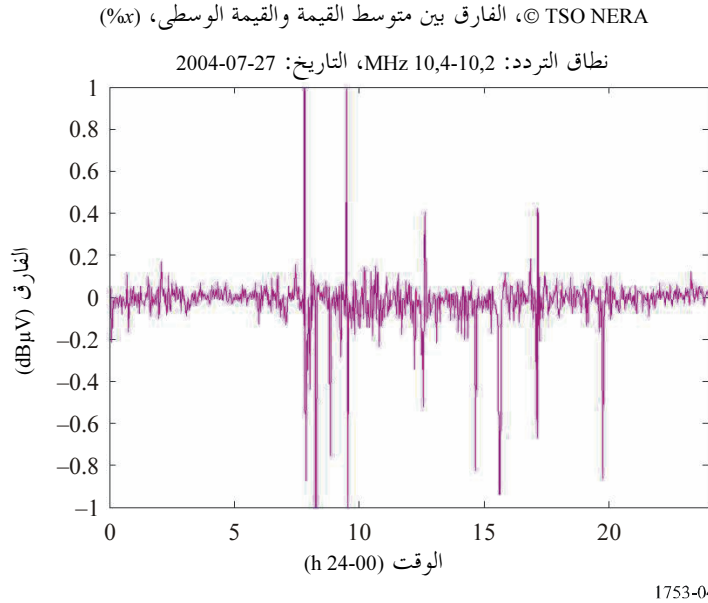
$$B: \text{ عرض النطاق المكافئ للضوضاء من مرشاح القياس}$$

#### 6.4 إقرار صلاحية النسبة المئوية المختارة %x

بالنسبة للنطاق الترددي HF، تمثل نسبة الـ 20% التي لها أدنى القيم هي قيمة عملية لتحديد سوية الضوضاء. أما بالنسبة للنطاقات الترددية الأخرى فينبغي التحقق من صحة قيمة الـ 20% هذه وتغييرها إلى قيمة أخرى إن لم تكن صحيحة. ويُفترض أن قيم %x تحوي عينات الضوضاء فقط. وفي هذه الحالة ينبغي أن تكون القيمة الوسطى مطابقة لمتوسط القيمة. وينطوي الاختبار العملي على الفارق بين متوسط القيمة والقيمة الوسطى الذي يتأثر جلياً بالإشارات اللاضوضائية.

#### الشكل 4

#### الفارق بين متوسط القيمة والقيمة الوسطى (انتقاء 20%)



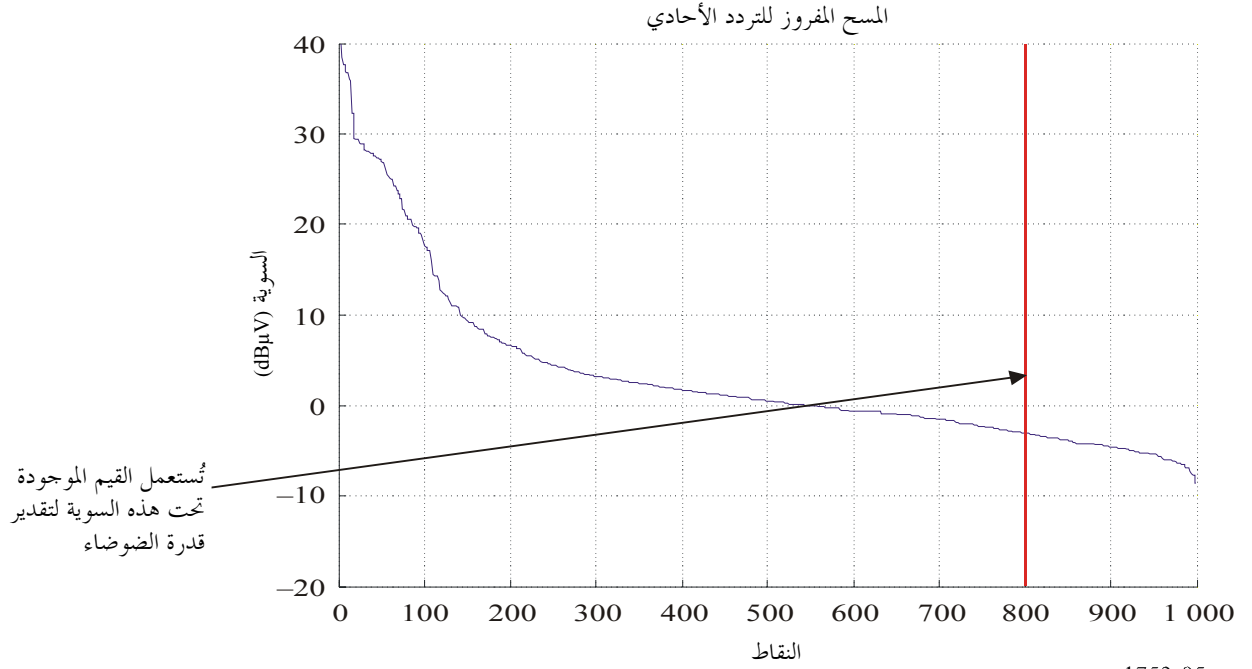
كمثال، يبين الشكل البياني أعلاه الفارق بين القيم المتوسطة والوسطى بنسبة 20% لكل المسوح. فترة الرصد هي 24 ساعة (من 00:00 إلى 23:59). وفي الفترة الزمنية الواقعة بين الساعة 07:00 والساعة 20:00، تتسبب عواصف رعديّة في ارتفاع كبير للميل ومن ثم في توزيع انتقاء 20% ومن ثم في حدوث فوارق كبيرة بين قيم القدرة الوسطى والمتوسطة.



يتمثل اختبار آخر في التحقق مما إذا كان المنحنى الموجود على الجانب الأيمن من نقطة الـ "20%" سلساً ومنخفض الميل. ويتطلب الاختباران كلاهما معايرة مسبقة ما. علاوة على ذلك، يتعين استعمال عدد مناسب من العينات في الحساب، فلا يمكن مثلاً استعمال عينة واحدة في هذا النمط من الاختبار.

### الشكل 5

#### مسح مختار عشوائياً مع قيم مفروزة



### 5 أساليب العرض

في النطاقات الترددية تحت 30 MHz، تتغير الضوضاء الراديوية تغيراً كبيراً على مدى اليوم. لذلك ينبغي أن تُعرض النتائج المحسوبة على مدى 24 ساعة.

ويرد أدناه مثال لنتائج قياس عند التردد 5 MHz (5,1-4,9 MHz). ويمكن رؤية القيم القصوى والمتوسطة والدنيا خلال 24 ساعة (محسوبة على النحو المبين في الفقرة 1.4.4) في الجانب الأيسر من الرسم البياني، بينما يظهر المخطط الطيفي الحاوي لكل المسوح خلال 24 ساعة في الجانب الأيمن.

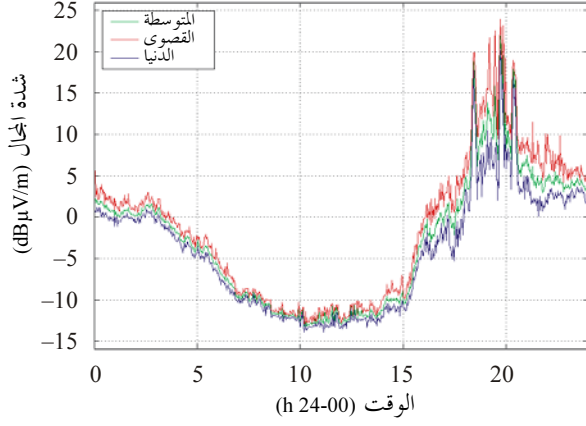
الشكل 6

القيم المتوسطة والقصى والدنيا والمخطط الطيفي خلال 24 ساعة

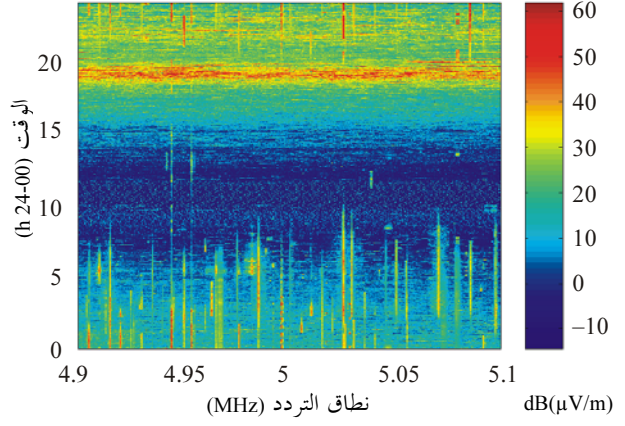
© TSO NERA، قيم سوية الضوضاء

نطاق التردد: 5,1-4,9 MHz

التاريخ: 2004-07-17



© TSO NERA، المخطط الطيفي، التاريخ: 2004-07-17



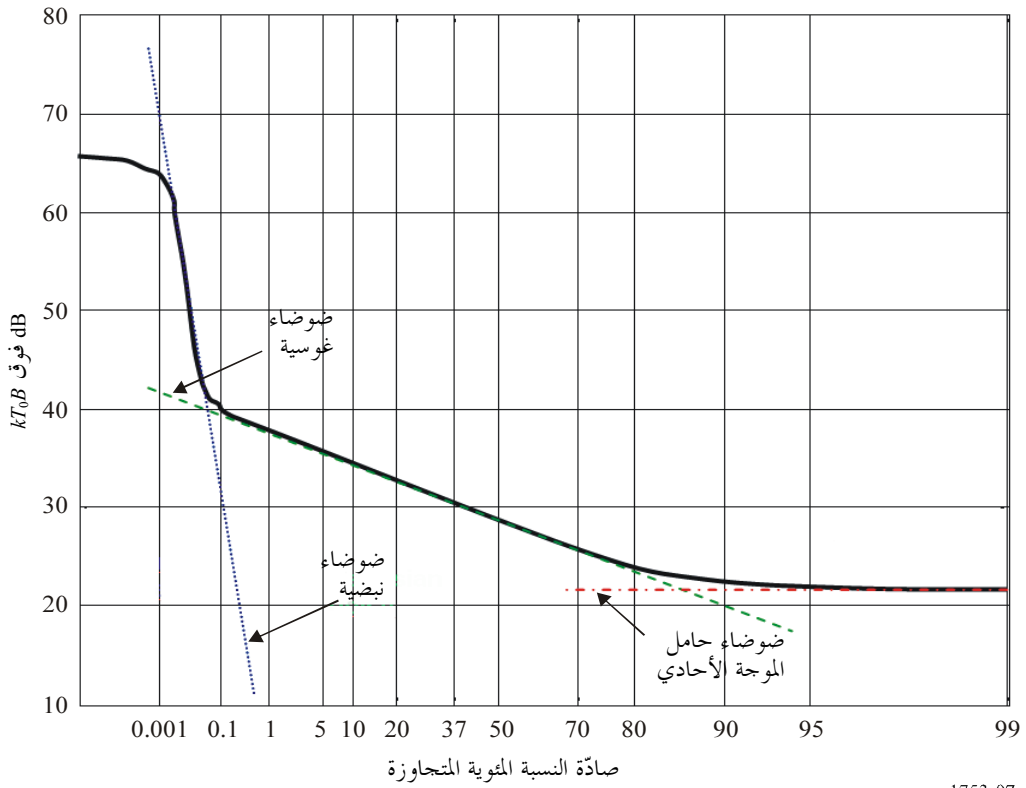
1753-06

في النطاق VHF/UHF تستقر سوية الضوضاء الراديوية إلى حد ما خلال أوقات اليوم ولكنها تعتمد بصفة أساسية على فئة موقع القياس (مثلاً مدينة/موقع تجاري، منطقة سكنية، منطقة ريفية). ولتكنيف كل العينات في قيمة مميزة واحدة، يُحبد استعمال المخطط البياني لما يدعى توزيع احتمال الاتساع (APD) الذي يظهر النسبة المئوية لعينات القياس التي تتجاوز اتساعاً معيناً.

يبين الشكل 7 نتائج قياس عند التردد 410 MHz في منطقة سكنية.

الشكل 7

## APD



وللمحور  $x$  في المخطط البياني APD مقايسة ريلي التي تسهّل فصل الأنماط المختلفة من الضوضاء: تبدو الضوضاء البيضاء كخط مستقيم منحدر (في وسط الشكل البياني). وتبيّن الحافة الصاعدة في الجانب الأيسر الضوضاء النبضية المتأتية من مصادر أحادية. ويعود الاستواء باتجاه الجانب الأيمن إلى حوامل الموجات الأحادية من مصادر قريبة.

سوية RMS الإجمالية هي القيمة 37%.