الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R SM.2452-0 التقرير

(2019/06)

قياسات لتقييم التعرض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية

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.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية 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، 2020

© ITU 2020
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.2452-0

قياسات لتقييم التعرّض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية

(2019)

جدول المحتويات

الصفحة

1 مقدمة 2

2 الإطار التنظيمي 2

1.2 المبادئ التوجيهية لعام 1998 الصادرة عن اللجنة ICNIRP بشأن المرسلات: المستويات المرجعية 2

2.2 عرض خرائط لشدة المجال المحسوبة في محيط المرسلات 5

3 دليل عملي لقياسات تقييم التعرّض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية 8

1.3 المعرفة الأساسية اللازمة لنجاح عملية قياسات تقييم المجالات الكهرمغناطيسية 8

2.3 أدوات القياس ذات السمات المحددة لتقييم المجالات الكهرمغناطيسية 10

3.3 تقليل عدد نقاط القياس في الفضاء 13

4.3 اختصار وقت الرصد والاستقراء إلى أقصى تعرّض 15

5.3 كيفية تقييم التعرّض الناجم عن خدمات محددة 15

4 المراجع 17

5 مسرد المصطلحات والمختصرات 18

1 مقدمة

يقتضي تزايد المنشآت اللاسلكية بجميع أنواعها حول العالم إجراء قياسات دقيقة. وتُعنون المسألة ITU-R 239/1 بالعنوان "قياسات لتقييم التعرّض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية". ويُعنون القرار 176 (المراجَع في دبي، 2018) لمؤتمر المندوبين المفوضين بالعنوان "مشاكل القياس والتقييم المتعلقة بالتعرّض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية". ويستفيض القسم 6.5 من (الطبعة لعام 2011) لكتيب قطاع الاتصالات الراديوية بشأن مراقبة الطيف في شرح قياس الإشعاع غير المؤين. وتُطبق حدود التعرّض للمجال الكهرمغناطيسي على الصعيد الوطني. وتعد حدود التعرّض مختلفة بالنسبة إلى اعامة الجمهور والعاملين الذين يرتادون مناطق قريبة من المنشآت اللاسلكية. وتعتبر اللجنة الدولية المعنية بالوقاية من الإشعاع غير المؤين (ICNIRP) ومعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) من أفرقة الخبراء المعنيين بتحديد مستويات السلامة عند التعرّض؛ وتُشجع الإدارات على اتباع المبادئ التوجيهية التي وضعتها أفرقة الخبراء هذه، أو الحدود التي وضعها خبراؤها. وينبغي تقييم الامتثال لحدود المجال الكهرمغناطيسي، مع مراعاة أن كثافة القدرة وشدة المجال مجمعة من مصادر مختلفة. وقد تحدث مستويات التعرّض بالقرب من المنشآت اللاسلكية في المجال القريب. وينبغي أيضاً قياس مستويات التعرّض في المناطق التي يستطيع الأشخاص الوصول إليها (العاملون أو الجمهور حسب الاقتضاء). وقد لا تُنقل المنشآت اللاسلكية بقدرتها النظرية العظمى في وقت القياس، ولذا ينبغي تحجيم القدرة لتعكس القدرة القصوى للمنشآت، عند تحديد الامتثال. وقد تدعو الحاجة إلى إجراء قياسات منفصلة لكل من المجالين E وH، لا سيما في المجال القريب حيث يكون السلوك مختلفاً عنه في المجال البعيد. ويمكن عرض نتائج القياسات بأشكال متنوعة بحسب الاستعمال المقصود والجمهور المحتمل. ولا يشمل نطاق هذا التقرير امتثال معدات المستعمل المحمولة، مثل سماعات الهاتف أو الحواسيب المحمولة الصغيرة، المعدة لكي تُستعمل بالقرب من الرأس أو الجسم.

وبالرغم من وضع حدود اللجنة الدولية المعنية بالحماية من الإشعاع غير المؤين (ICNIRP) لحماية الجمهور، فإن الشواغل إزاء تأثيرات المجال الكهرمغناطيسي تشجع على اتخاذ تدابير في بعض البلدان لمراقبة وضبط كثافة قدرة الانبعاثات وشدة مجالها. ومن الضروري تقاسم الممارسات الجيدة في مراقبة المجالات الكهرمغناطيسية التي توجه الإدارات للتحقق من الامتثال للحدود التي وضعتها اللجنة ICNIRP.

2 الإطار التنظيمي

1.2 المبادئ التوجيهية لعام 1998[1] الصادرة عن اللجنة ICNIRP بشأن المرسلات: المستويات المرجعية

باقتباس ما جاء في المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 1998، الصفحة 495: "إذا تجاوزت القيمة التي تم قياسها أو احتسابها المستوى المرجعي، فإن ذلك لا يعني بالضرورة أن التقييد الأساسي سيتم تجاوزه. ولكن، متى ما تمّ تجاوز المستوى المرجعي، فمن الضروري اختبار الامتثال للتقييد الأساسي ذي الصلة وتحديد ما إذا كان من الضروري إجراء قياسات وقائية إضافية".

ويقبل عدد من البلدان المستويات المرجعية الواردة في المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 1998 ومعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE C95.1-2005[2] وتُقارن عتبات البلدان بهذه المستويات المرجعية.

ويحدد الجدولان 6 و7 من المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 1998 عتبات التعرّض. وتحدد الجداول والأشكال التالية المستويات المرجعية للجنة ICNIRP عند ترددات مختلفة؛ وتمثل قيم التعرّض المبيّنة في الأشكال تعرّض عامة الجمهور والتعرّض في موقع العمل. وتحدد المبادئ التوجيهية فترة زمنية مدتها ست دقائق في المتوسط. وغالباً ما تُعزى التعرّضات دون النطاق 10 MHz (طول الموجة

---

1 تقوم اللجنة ICNIRP ومعهد IEEE بتنقيح حدود المجالات الكهرمغناطيسية الخاصة بهما. ويمكن أن تنطبق حدود تعرّض أخرى وفقاً للسياسات والإجراءات التي تضعها مختلف الهيئات التنظيمية الوطنية.

2 قيم التعرّض الواردة في الجدول 9 في التقرير IEEE C95.1-2005 مماثلة للمستوى الذي حددته اللجنة ICNIRP لعام 1998 (f_{MHz}/200 W/m^2)؛ وعند 10-400 MHz، تبلغ شدة المجال الكهربائي وفقاً للمعهد IEEE ولجنة الاتصالات الفيدرالية (FCC) 27,5 (V/m) بالمقارنة مع 28 (V/m) وفقاً للجنة ICNIRP لعام 1998. ويقدم المعهد IEEE معادلة إضافية فوق 100 GHz: 200 W/m^2/{(90xf_{GHz}-7,000)}.

30 متراً)، إلى ظروف المجال القريب؛ وتُستعمل المستويات المرجعية أساساً لشدة المجال الكهربائي (V/m). وتوفر التقييدات الأساسية بين النطاقين 10 MHz و300 GHz أيضاً على أساس كثافة القدرة (W/m^2). وتقل كثافة قدرة تعرّض عامة الجمهور بخمسة أضعاف عن حدود التعرّض في موقع العمل.

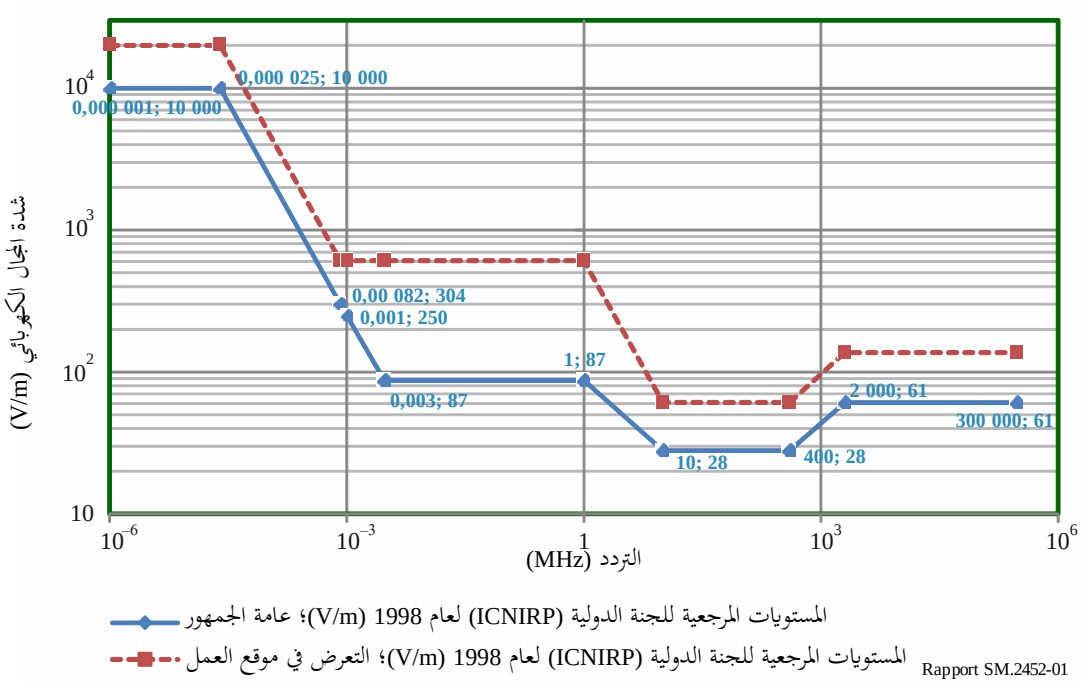
الجدول 1

المستويات المرجعية للتعرّض في موقع العمل وتعرّض عامة الجمهور
بحسب اللجنة الدولية المعنية بالحماية من الإشعاع غير المؤين (ICNIRP) لعام 1998

مدى التردد	شدة المجال الكهربائي (V/m) f: التردد		كثافة القدرة المكافئة للموجات المستوية (W/m^2)	
	تعرّض عامة الجمهور	التعرّض في موقع العمل	تعرّض عامة الجمهور	التعرّض في موقع العمل
Hz 25-1	10 000	20 000	لا تنطبق حدود كثافة القدرة	
kHz 0,82-0,025	250/f (kHz)	500/f (kHz)		
kHz 3-0,82	250/f (kHz)	610		
kHz 1 000-3	87	610		
MHz 10-1	$87/f^{1/2}$ (MHz)	610/f (MHz)		
MHz 400-10	28	61	2	10
MHz 2 000-400	$1.375f^{1/2}$ (MHz)	$3f^{1/2}$ (MHz)	f/200	f/40
GHz 300-2	61	137	10	50

الشكل 1[3]

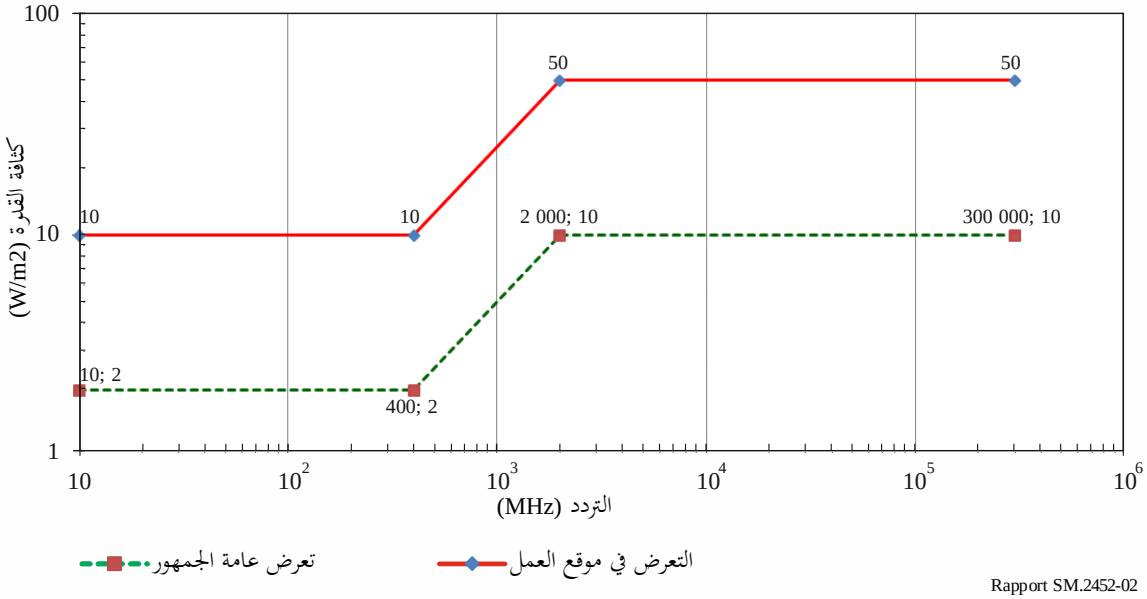
شدة المجال الكهربائي للتعرّض في موقع العمل وتعرّض عامة الجمهور
بحسب اللجنة الدولية المعنية بالحماية من الإشعاع غير المؤين (ICNIRP) لعام 1998



[3] انظر الفصل 9 من كتاب Mazar بعنوان "إدارة الطيف الراديوي: السياسات واللوائح والتقنيات" (Radio Spectrum Management: Policies, Regulations and Techniques)، (http://mazar.atwebpages.com/Downloads/Chapter9RF-EMF_HumanHazards_Mazar2019.pdf).

الشكل 2

المستويات المرجعية لكثافة القدرة بحسب اللجنة الدولية المعنية بالحماية من الإشعاع غير المؤين (ICNIRP) لعام 1998؛ فوق النطاق MHz 10 فقط



Rapport SM.2452-02

2.2 عرض خرائط لشدة المجال المحسوبة في محيط المرسلات

1.2.2 تعاريف، وحساب الفضاء الحر وبعض الافتراضات

p_t: قدرة المرسل (وات)

g_t: كسب هوائي المرسل (عددي)

e.i.r.p.[4]: القدرة المشعة المكافئة المتناحية (وات)

d: المسافة من المرسل (متر)

e: شدة المجال الكهربائي (FS) فلط/متر (V/M)

بالنسبة إلى خسارة انتشار في الفضاء الحر، تكونا $d = \frac{\sqrt{30\,eirp}}{e}$ و $e = \frac{\sqrt{30\,eirp}}{d}$

وكمثال، بصرف النظر عن المباني والحواجز، ومسافة سلامة للقدرة المشعة المكافئة المتناحية قدرها 60 kW، في ظروف انتشار الفضاء الحر، يبلغ كفافا السلامة 45 m لشدة مجال قدره 30 V/m (المستوى المرجعي لتعرّض عامة الجمهور عند 482 MHz)، و20 m لشدة مجال قدرها 66 V/m (المستوى المرجعي للتعرّض في مواقع العمل). وتقل المسافات المحسوبة عندما تؤخذ في الاعتبار خريطة التضاريس والمباني وخسارة الانتشار في الفضاء غير الحر.

وفي عمليات المحاكاة التالية، يأخذ نموذج الانتشار في الاعتبار التوهين الناجم عن المباني.

---

4 "جداء القدرة المقدمة إلى الهوائي في كسبه بالنسبة إلى هوائي متناحٍ (كسب متناحٍ أو مطلق)، في اتجاه معطى" لوائح الراديو، المجلد الأول، الحكم رقم **1.161**. والقدرة المشعة المكافئة المتناحية ليست بالضرورة جداء القدرة القصوى والكسب الأقصى؛ فهي القدرة المشعة نحو نقطة الدراسة. ويتم التحكم في قدرة المرسلات الخلوية ولا تُرسل دائماً عند المستوى الأقصى. وبالقرب من الهوائي الخلوي، تكون القدرة المشعة المكافئة المتناحية أسفله منخفضة، نظراً لأن الفص الجانبي في الارتفاع يتوهن كثيراً بالنسبة إلى احزمة الهوائي الرئيسية.

وباستثناء الوصلات من نقطة إلى نقطة، يفترض أن يبلغ ارتفاع المستقبل 1,5 m فوق مستوى سطح الأرض. وتوضح الأشكال قيم شدة المجال (V/m)؛ وعلى سبيل المثال، عند التردد 482 MHz: تكون شدة المجال 5 و15 و30 V/m (المستوى المرجعي لتعرّض عامة الجمهور بحسب اللجنة ICNIRP)، و45 و66 V/m (المستوى المرجعي للتعرّض في مواقع العمل).

وأجريت الحسابات على النحو التالي:

- ثلاثي الأبعاد: تُجرى تغطية ثلاثية الأبعاد على واجهات المباني لارتفاع هوائي مستقبِل يبدأ من 1 m إلى أعلى السقف. وتُستعمل أعلى قدرة مستقبلة على كل مبنى لتعطي المبنى بالكامل لون شدة المجال.
- ثنائي الأبعاد: الإجراء ثنائي الأبعاد مماثل للإجراء ثلاثي الأبعاد، ولكنه موضح في صورة علوية ثنائية الأبعاد.

2.2.2 شدة المجال المحسوبة في محيط مرسلات التلفزيون الرقمي (DTV)

يشير التحليل التالي إلى القناة 22 في النطاقات الديسيمترية (UHF) (في الإقليم 1):

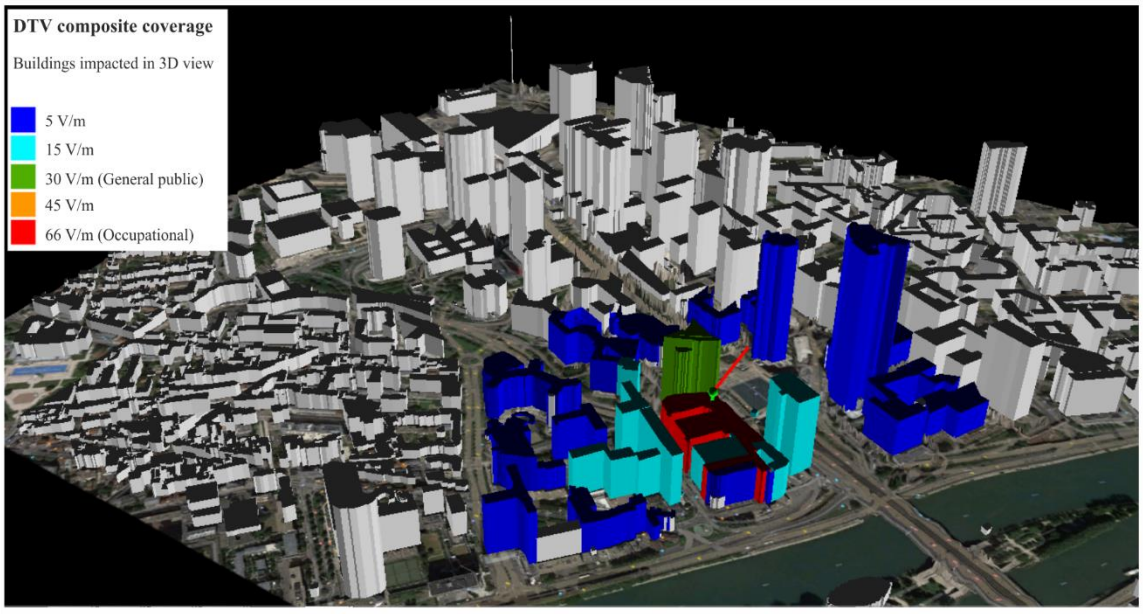
- 486-478 MHz (التردد الراديوي عند المركز 482 MHz)،
- مرسل بقدرة مشعة مكافئة متناحية قدرها 60 000 وات،
- 60 متر فوق مستوى سطح الأرض.

عند التردد 482 MHz، يكون المستوى المرجعي لشدة المجال الكهربائي لتعرّض عامة الجمهور بحسب اللجنة ICNIRP (انظر الجدول 1) قدره 30 V/m: $1{,}375 \times 482^{1/2}$ (MHz) = $1{,}375f^{1/2}$. ويبلغ المستوى المرجعي لشدة المجال الكهربائي للتعرّض في مواقع العمل بحسب اللجنة ICNIRP 66 V/m: $3 \times 482^{1/2}$ (MHz) = $3f^{1/2}$.

ويوضح الشكل التالي المباني المتأثرة في صورة ثلاثية الأبعاد.

الشكل 3

صورة ثلاثية الأبعاد لأكفة تعرّض عامة الجمهور والتعرّض في مواقع العمل في محيط مرسلات التلفزيون الرقمي



Report SM.2452-03

3.2.2 شدة المجال المحسوبة في محيط المرسلات المتنقلة البرية

تشير الأشكال التالية إلى إشارات الوصلة الهابطة فقط: من محطات القاعدة إلى الجهاز المتنقل. وبوجهٍ عام، قد تكون المخططات الخلوية غير اتجاهية في السمت، أو قطاعية (مثل ثلاثة من القطاعات 120°).

1.3.2.2 شدة المجال في محيط المرسلات الخلوية

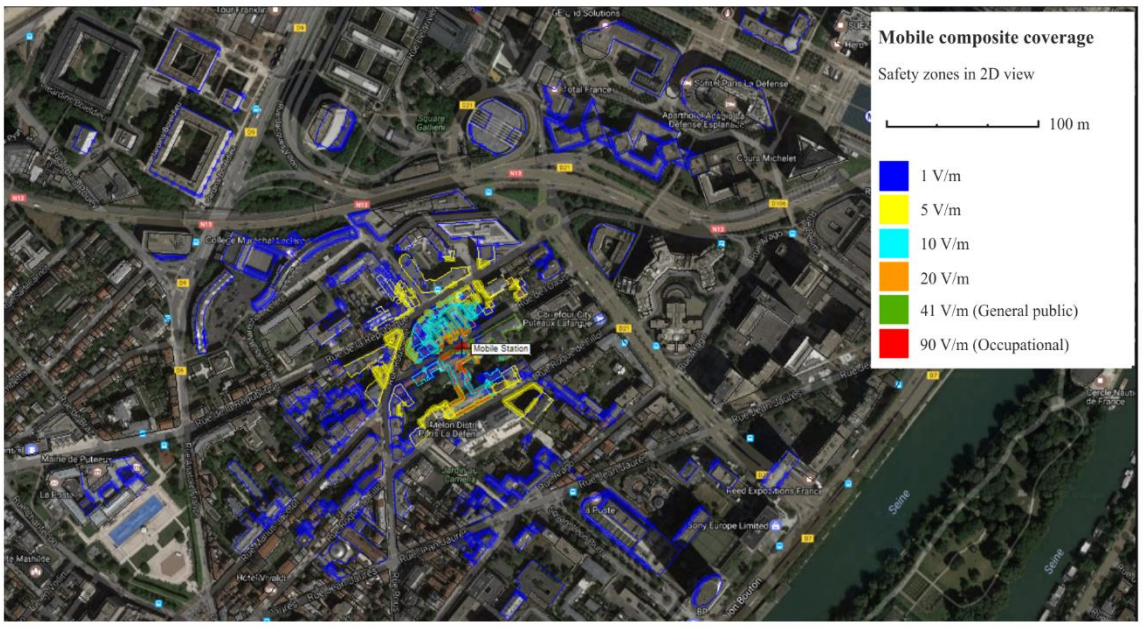
في حالة تردد 900 MHz، وعلى ارتفاع 30 m فوق السقف، بالنسبة قدرة قصوى للوصلة الهابطة قدرها 100 W وكسب هوائي (بما في ذلك الخسائر) قدره 17 dBi، فإن القدرة المشعة المكافئة المتناحية تساوي 5 kW، ويكون المستقبل على ارتفاع 1,5 m فوق مستوى سطح الأرض.

والمستوى المرجعي لشدة المجال لتعرّض عامة الجمهور بحسب اللجنة ICNIRP قدره 41 V/m (1,375$f^{1/2}$ = 1,375 × 30) والمستوى المرجعي لشدة المجال للتعرّض في مواقع العمل بحسب اللجنة ICNIRP قدره 90 V/m: (MHz) 3$f^{1/2}$؛ وتكون نطاقات شدة المجال قدرها 1 و5 و10 و20 و41 V/m (تعرّض عامة الجمهور) و90 V/m (التعرّض في مواقع العمل).

يبين الشكل 4 المباني المتأثرة.

الشكل 4

صورة ساتلية ثنائية الأبعاد لمسافات التعرّض الخلوي



3 دليل عملي لقياسات تقييم التعرّض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية

1.3 المعرفة الأساسية اللازمة لنجاح عملية قياسات تقييم المجالات الكهرمغناطيسية

تقدم المبادئ التوجيهية الحالية حدوداً لتأثيرات التحفيز الكهربائي والتدفئة الحرارية. فعند الترددات التي تقل عن 100 kHz، يُصف التأثير الرئيسي بقانون التحريض وقانون لابيك للتحفيز الكهربائي. وعند ترددات أعلى من 10 MHz، يكون التأثير الحراري هو التأثير الرئيسي. أما في مدى التردد بين 100 kHz و10 MHz، يمكن حدوث كلا التأثيرين. ويُلاحظ أنه يتعين تقييم كل من التأثيرين على حدة لأنه لا يمكن جمعهما معاً وتختلف طرق تقييمهما اختلافاً تاماً.

وتسمى طريقة التقييم المناسبة لتأثيرات التحفيز الكهربائي طريقة الذروة المرجحة ويرد وصفها في المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 2010. ولم يطبق طريقة التقييم هذه حتى الآن سوى أنظمة قياس المجال الكهرمغناطيسي المتخصصة للغاية. ولا تكون محللات الطيف الشائعة مناسبة لتقييم تأثير التحفيز الكهربائي. ويُلاحظ الاستعاضة عن المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 1998 بالمبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 2010، فيما يتعلق بتأثير التحفيز الكهربائي فقط.

وتوصف طريقة التقييم للتعرّض الناجم عن التأثير الحراري للمجالات الكهرمغناطيسية الخارجية بالمعادلتين (9) و(10) الواردتين في المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 1998. وتشير هاتان المعادلتان إلى قيمة جذر متوسط تربيع شدة المجال الكهربائي والمغناطيسي المرجح. وتنتج عن ذلك قيمة تعرّض مستعدلة. ويُسمح بقيم تعرّض حتى القيمة الأحادية. والاستجابة الترددية لمرشح الترجيح هي معكوس المستويات المرجعية، والتي تختلف باختلاف التردد. وقد يصل زمن تكامل كاشف جذر متوسط التربيع إلى 6 دقائق بالنسبة إلى الترددات التي تقل عن 10 GHz. وبالنسبة إلى الترددات الأعلى، يقل أقصى زمن تكامل مسموح به مع زيادة التردد. ويُلاحظ أنه يجوز استعمال أزمنة تكامل أقصر، ولكنها قد تؤدي إلى المبالغة في تقدير التعرّض الفعلي. وإذا كانت تقلبات المستوى في المجال الجاري تقييمه سريعة، مقارنة بزمن التكامل الفعلي، لن تحدث مبالغة في التقدير.

ويُلاحظ أنه في النطاقات فوق 10 MHz، تكون النسبة بين المستويات المرجعية للمجال الكهربائي والمغناطيسي ثابتة ويكون لها نفس قيمة مقاومة مجال الفضاء الحر. ويتوافق المستويان المرجعيان أيضاً مع المستوى المرجعي لكثافة القدرة. غير أنه في النطاقات التي تقل عن 10 MHz، لا يوجد مستوى مرجعي لكثافة القدرة وتكون النسبة بين المستويات المرجعية للمجال الكهربائي والمغناطيسي أصغر من مقاومة الفضاء الحر بالنسبة إلى المستويات المرجعية لعامة الجمهور.

وفي المعيار IEC 62232، تُعرّف ثلاث مناطق مصدر في محيط الهوائي المرسل: الأولى والثانية والثالثة. وتُعرّف منطقة المصدر الأولى بأنها المجال القريب التفاعلي والجزء من المجال القريب الإشعاعي الذي لا تزال فيها مكونات القدرة التفاعلية كبيرة. وتُعرّف منطقة المصدر الثانية بأنها المجال القريب الإشعاعي الذي تكون فيه مكونات القدرة التفاعلية لا تُذكر بالفعل. أما منطقة المصدر الثالثة فهي منطقة المجال البعيد. وبالنسبة إلى المسافة الحدودية d_I بين المنطقة الأولى والثانية، ترد قيم الحدود المتحفظة الثلاثة التالية في الجدول 2.A من المعيار IEC 62232: λ وD و$D^2/4\lambda$. وفي هذه الحالة، λ هي طول موجة المجال المرسل وD البُعد الأكبر للهوائي المرسل. وتكون أعلى القيم الثلاث هي القيمة ذات الصلة للمسافة d_I، وهي تقدير متحفظ لأدنى مسافة تكون فيها مكونات القدرة التفاعلية لا تذكر. وبعبارة أخرى، بالنسبة إلى المسافات التي تزيد على d_I، يمكن افتراض أن نسبة حجم شدة المجال الكهربائي إلى حجم شدة المجال المغناطيسي، المقاسة عند نفس النقطة في الفضاء، هي مقاومة مجال الفضاء الحر.

وفي منطقتي المصدر الثانية والثالثة، لا يتعين تقييم سوى مكون المجال الكهربائي لأن التعرّض الناجم عن مكون المجال المغناطيسي هو نفسه الخاص بمدى التردد الأعلى من 10 MHz. ولا يكون التعرّض الناجم عن المجال المغناطيسي مختلفاً وأقل إلا في حالة القيم المرجعية لتعرّض عامة الجمهور وفي مدى التردد الأقل من 10 MHz. غير أنه يتعين تقييم مكوني المجالين في منطقة المصدر الأولى. وتكون القيمة الأعلى من قيمتي التعرّض هي القيمة ذات الصلة. وفي النطاق الأعلى من 1 GHz فقط، يجري تقييم مكون المجال المغناطيسي في الممارسة العملية لأن مسابير أو هوائيات مكون المجال المغناطيسي تكاد تكون متوافرة في مدى التردد هذا، كما أن ليست ضرورية لأنه يمكن افتراض منطقتي المصدر الثانية أو الثالثة في معظم الحالات.

ويُلاحظ أن المستويات المرجعية الواردة في الجدولين 6 و7 من المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 1998 تصف مدى التردد الكامل من التيار المستمر إلى التردد 300 GHz. وفي مدى التردد الأقل من 1 MHz فقط، تكون هذه المستويات المرجعية ذات صلة بالتأثيرات الحرارية. وتنص المعادلتان (9) و(10) من المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP بوضوح على ضرورة الاستعاضة عن المستويات المرجعية بين النطاقين 100 kHz و1 MHz بالمعلمتين c أو d. وسيؤدي استعمال المستويات المرجعية الواردة في الجدولين 6 و7 من المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لمدى التردد الأقل من 1 MHz لتقييم التعرّض الناجم عن التأثيرات الحرارية إلى المبالغة في تقدير التعرّض الفعلي. وفي أحدث أنظمة قياس المجال الكهرومغناطيسي، تتوفر منحنيات المستويات المرجعية للمبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP في نسخة بشأن "تأثيرات التحفيز غير الكهربائي فقط" ويمكن استعمالها لتقييم الامتثال، دون مبالغة في التقدير.

وتفترض المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP الاقتران الأقصى للمجال الخارجي مع الفرد المعرّض. وهذا يعني أن تقدير التعرّض لنقطة معينة في الفضاء يجب أن يكون مستقلاً عن الاستقطاب واتجاه الانتشار في المجال الخارجي. ويتم ذلك في الممارسة العملية عن طريق قياس قيم جذر متوسط التربيع لثلاثة مستشعرات متعامدة أو عناصر الهوائي وحساب القيمة المتناحية لجذر مجموع متوسطات التربيع من قيم جذر متوسط التربيع الثلاث هذه. وتُتاح المسابير المتناحية للترددات حتى 90 GHz. وتُتاح الهوائيات المتناحية للترددات حتى 6 GHz.

وتفترض المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP حساب متوسط شدة المجال الخارجي غير المضطرب على كامل جسم الفرد المعرض قبل مقارنته مع المستويات المرجعية، ولكن بشرط مهم يتمثل في عدم تجاوز التقييدات الأساسية على التعرّض الموضعي. وهذا يعني أن حساب المتوسط على حجم جسم الإنسان مسموح به من حيث المبدأ ولكنه يمكن أن يؤدي إلى التقدير بأقل من القيمة في بعض الحالات. وبالتالي، غالباً ما تستعمل الطريقة المتحفظة التالية في الممارسة العملية:

يتم قياس قيم التعرّض المحصور في المنطقة المعنية بأكملها دون وجود البشر وولا يُستعمل إلا متوسط معتدل أو لا يُستعمل متوسط على الإطلاق حول كل نقطة من نقاط القياس. ويُستعمل التعرّض الأقصى باعتباره التعرّض ذي الصلة للمنطقة المعنية. ومن الممارسات الجيدة استبعاد أي نقاط القياس التي تكون على مسافات أقل من 0,5 m من الكائنات الموصلة. والقيام بذلك يعني أنه يمكن تجنب المبالغة في التقدير الناجمة عن تأثيرات الاقتران بين هوائيات القياس والكائنات والناجمة عن إعادة الإشعاع الصادر من الكائنات.

وكملخص، يمكن صياغة طريقة تقييم مثالية للتعرّض الناجم عن تأثيرات التحفيز غير الكهربائي للمجالات المغناطيسية الخارجية في منطقة معينة صياغة واضحة:

- قم بقياس القيمة التربيعية والمتناحية والمرجحة لجذر متوسط تربيع شدة المجال الكهربائي و/أو المغناطيسي في أي موضع في منطقة معينة يُحتمل أن يتعرّض فيها البشر.
- لا تستعمل إلا متوسط معتدل أو لا تستعمل متوسط مكاني في محيط كل موضع.
- تأكد من أن البشر المعرضين غير موجودين أثناء عمليات القياس.
- استبعد من القياسات أي موضع تكون فيه المسافة إلى الكائنات التوصيلية أقل من 0,5 m.
- استعمل زمن تكامل جذر متوسط التربيع، لا يكون أطول من أقصى زمن تكامل مسموح به.
- قم بالقياس خلال فترة زمنية طويلة بما فيه الكفاية لضمان حدوث التعرّض الأقصى خلال هذه الفترة الزمنية.
- استعمل قيمة التعرّض الأقصى لجميع المواضع وعلى مدار فترة الرصد الكاملة كنتيجة التعرّض النهائي. وإذا كانت هذه النتيجة أقل من القيمة الأحادية، يعتبر التعرّض في المنطقة المعنية مسموحاً به.

وبالطبع، لا يمكن استعمال طريقة التقييم "المثالية" هذه في الممارسة العملية لأنه يجب تقييم عدد كبير جداً من النقاط في الفضاء والزمان، ولكنها تبين بوضوح الهدف من طرائق التقييم الحقيقية.

وهناك تأثير آخر، وهو تأثير السمع بالموجات الصغرية وفقاً لحدود التي وضعتها اللجنة ICNIRP، والذي يمكن أن يحدث عند ترددات أعلى من 100 kHz. ولا يمكن أن يكون هذا التأثير هو السائد إلا عندما يكون للإشارات الكهرمغناطيسية عامل قمة مرتفع للغاية. وفي هذه الحالة، يمكن أن يصبح غلاف إشارة الترددات الراديوية مسموعاً للبشر. وهذا هو السبب في أن المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 1998 تتضمن قيماً مرجعية إضافية لقيم الذروة في نطاق التردد هذا. وفي الممارسة العملية، لا يكون هذا التأثير ذا صلة إلا للإشارات التي تولدها أنظمة الرادار.

وستركز الأقسام التالية على تقييم الامتثال لتأثيرات التحفيز غير الكهربائي فقط لأن تقييم الحدود الأخرى للجنة دولية (ICNIRP) يختلف اختلافاً كبيراً عن تقييم التأثيرات الحرارية ولا يكون مناسباً لمعظم المرسلات اللاسلكية. وستبين الأقسام التالية بدلاً من ذلك الطريقة التي يمكن بها تقييم مثل هذه التعرّضات بثقة ودقة ومع ذلك بفعالية.

2.3 أدوات القياس ذات السمات المحددة لتقييم المجالات الكهرمغناطيسية

1.2.3 أجهزة المراقبة الشخصية

تُصمم أجهزة المراقبة الشخصية للمجال الكهرمغناطيسي بحيث تُحمل على أجسام الأشخاص المحتمل أن يتعرّضوا لمجالات كهرمغناطيسية عالية. وتُطلق أجهزة المراقبة تنبيهاً صوتياً أو بصرياً أو اهتزازياً بمجرد تجاوز قيمة عتبة معينة للتعرّض الفعلي. وأثناء قياسات التعرّض للمجالات الكهرمغناطيسية، من المرجح أن يتعرّض أيضاً الشخص الذي يجري القياسات لمجالات مغناطيسية عالية. ولذا، من المفيد حمل جهاز المراقبة الشخصي أثناء القياسات. ويبين الشكل 5 معدات أجهزة المراقبة الشخصية للأشخاص العاملين بالقرب من الهوائي.

الشكل 5

جهاز المراقبة الشخصي للتعرّض في مواقع العمل

Report SM.2452-05

2.2.3 العدادات عريضة النطاق

تقيس العدادات عريضة النطاق ذات "المسابر المشكّلة" التعرّض للمجال الكهرمغناطيسي بطريقة مباشرة لأنها تعرض القيمة التربيعية والمتناحية والمرجحة لجذر متوسط تربيع شدة المجال الكهربائي. ويمكن ضبط زمن تكامل جذر متوسط التربيع من حوالي 100 ميللي ثانية إلى حوالي 10 دقائق. وتتاح المسابر المشكّلة للترددات التي تصل إلى 50 GHz ولعدة معايير بما في ذلك المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP لعام 1998 و2005-IEEE C95.1.

وتستطيع العدادات عريضة النطاق لقياس المجال الكهرمغناطيسي قياس قيم تعرّض أكبر بكثير من القيمة الأحادية. وهذا يعني أن إلكترونيات هذه العدادات يجب ألا تتأثر بمستويات شدة المجال العالية. وهذا يعني أيضاً أن الشخص الذي ينفذ القياسات يجب أن يكون قادراً على قراءة نتائج القياس من مسافة آمنة. وبالتالي، عادةً ما يكون للعدادات عريضة النطاق لقياس المجال الكهرمغناطيسي رابط بصري ويمكنها عرض نتائجها على عداد آخر يعمل كوحدة تحكم أو على جهاز حاسوب مشترك.

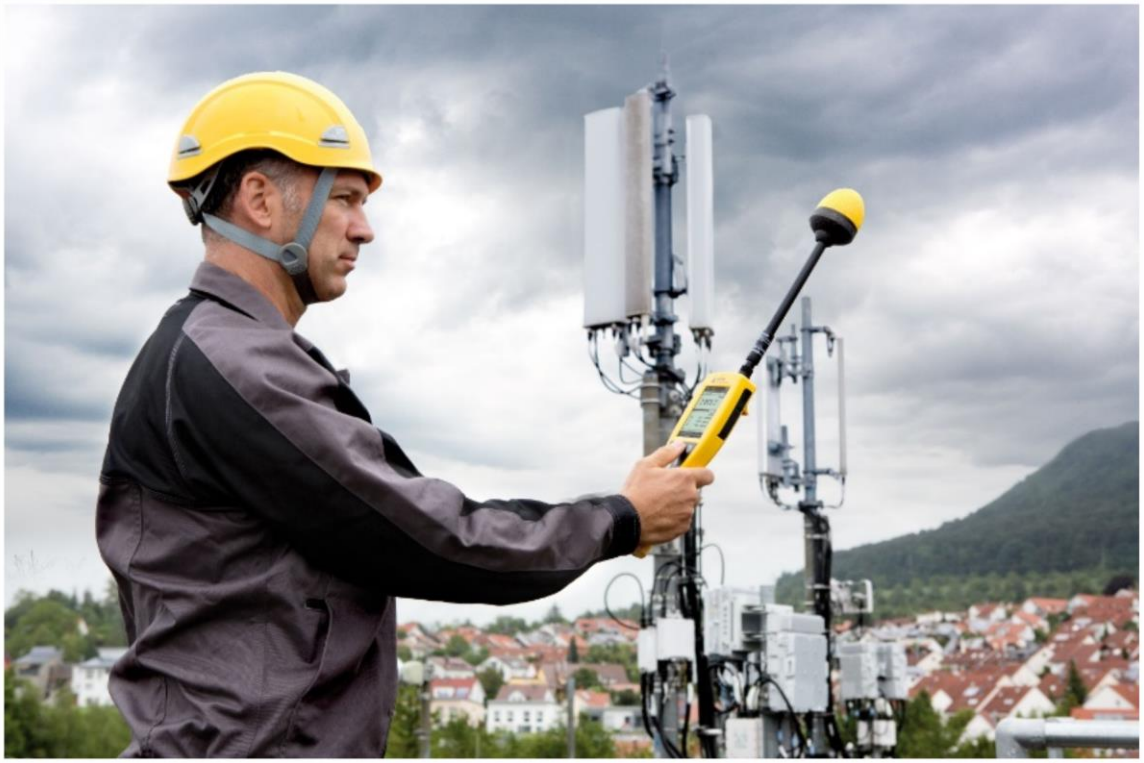
وتتضمن بعض السمات المفيدة جداً للعدادات عريضة النطاق أنه يشكّل رسماً بيانياً يعرض قيم التعرّض بمرور الوقت، وويتيح حساب المتوسط المكاني ووظيفة مهلة الانتظار القصوى.

وإذا كان يتعين تقييم التعرّض الناجم عن جميع المرسلات ذات الصلة، فإن عداد النطاق العريض ذي المسبار المشكل يكفي لإجراء جميع القياسات اللازمة في معظم الحالات. وفي حالة استعمال ثنائيات المساري ككاشفات في المسابر بدلاً من المزدوجات الحرارية، يجب توضيح أن الإشارات التي تتضمن عوامل قمة عالية يمكن أن تؤدي إلى حالات عدم يقين كبيرة في القياسات، إذا كانت قيم جذر متوسط التربيع المقاسة أكبر من نطاق المسابير الفعلي لجذر متوسط التربيع. وحتى إذا كان يتعين تقييم التعرّض لعدة مرسلات بشكل منفصل، فإن العدادات عريضة النطاق مفيدة للغاية للحصول على نظرة سريعة على الهيكل المكاني والزماني لقيم التعرّض الكلية. وبعد معرفة النقاط الساخنة المحلية والهياكل الزمنية عند النقاط الساخنة، يمكن اتباع إجراء قياس انتقائي بفعالية أكبر بكثير.

وتتاح للعدادات عريضة النطاق أيضاً مسابير متناحية عريضة النطاق باستجابة ترددية ثابتة: مجال مغناطيسي يصل إلى 1 GHz ومجال كهربائي يصل إلى 90 GHz.

الشكل 6

عداد نطاق عريض مزود بمسبار متناح



Report SM.2452-06

3.2.3 عدادات التردد الانتقائية

يعتبر القياس الانتقائي للتردد ضرورياً إذا كان يتعين تقييم التعرّض الناجم عن عدة مرسلات بشكل منفصل. وتكون العدادات الانتقائية للمجالات الكهرمغناطيسية إما محللات طيف منتظمة وإما عدادات انتقائية مخصصة غير مزودة بالسمات الإضافية لمحللات الطيف العادية. وتتضمن السمات المفيدة لقياسات المجالات الكهرمغناطيسية ما يلي:

- يدوية وتعمل ببطارية؛
- لا تتأثر بمستويات شدة المجال العالية؛
- يمكن التحكم فيها عن بُعد (الكهربائية أو البصرية)؛
- تدعم بشكل مباشر الهوائيات المتناحية؛
- مزودة بكاشف جذر متوسط التربيع مزود بزمن تكامل قابل للتشكيل ووظيفة مهلة الانتظار القصوى في جميع أوضاع القياس؛
- تحسب تلقائياً قيمة جذر مجموع متوسطات التربيع؛
- تعرض النتائج في وحدات شدة المجال والتعرّض؛
- تقيس كل خدمة بإعدادات مخصصة؛
- مزودة بمزيلات التشكيل لنظام الاتصالات المتنقلة العالمية (UMTS) ونظام تكنولوجيا التطور طويل الأجل (LTE)؛
- تتيح خيارات لقدرة القناة؛
- يمكن أن تتبع معايرة العدادات والهوائيات؛

- ذات مدى تردد لا يقل عن 9 kHz إلى 6 GHz، ويفضل أن يكون من 9 kHz إلى 18 GHz أو 40 GHz، لتغطية نطاقات الاتصالات اللاسلكية الجديدة. ويعد التوسع الإضافي بواسطة الخلاطات الخارجية مفيداً للأنظمة اللاسلكية مثل الأجهزة قصيرة النطاق من 60 إلى 66 GHz، وأجهزة الاتصال اللاسلكي بشبكة جيغابت (WiGig)، ورادارات السيارات والماسحات الضوئية.

ويبين الشكل 7 عدادات المراقبة انتقائية الترددات، التي تستعمل هوائيات متناحية.

الشكل 7

العدادات انتقائية الترددات للمجالات الكهرمغناطيسية

عداد مخصص انتقائي الترددات للمجالات الكهرمغناطيسية، مزود بهوائي متناح

محلل طيف محمول مزود بهوائيات متناحية من 9 KHz إلى 6 GHz

Report SM.2452-07

3.3 تقليل عدد نقاط القياس في الفضاء

قد يختلف تعرّض البشر الناجم عن المجالات الكهرمغناطيسية اختلافاً كبيراً جداً بين النقاط المختلفة في الفضاء. ويكون للمسافة إلى الهوائيات المرسلة ومخططها الاتجاهي تاثير كبير على مستوى التعرّض حتى في ظل ظروف الفضاء الحر. وفي السيناريوهات الحقيقية، يمكن أن يكون للحواجز والكائنات العاكسة تأثير إضافي كبير على مستوى التعرّض عند نقاط مختلفة في الفضاء. ومن المفيد جداً الحصول على نظرة عامة على جميع المرسلات ذات الصلة المحتملة والبيئة الكهرمغناطيسية قبل بدء حملة القياس.

وتتمثل إحدى طرق الحصول على النظرة العامة المنشودة في الفحص البصري للمنطقة المعنية. وينبغي على الأقل اكتشاف جميع هوائيات المرسلات المرئية وتقييم مدى أهميتها المحتملة عن طريق تقدير قدرتها المرسلة ومخططاتها الاتجاهية. كما ينبغي تحديد الحواجز والعاكسات الأكثر صلة. وباستعمال هذه المعلومات، يمكن تحديد المساحات الأصغر المحتمل أن تحتوي على مواضع أعلى تعرّض. وعلى وجه الخصوص، فإن المناطق ذات خط بصر داخل الفصوص الرئيسية من المخططات الاتجاهية لهوائيات المرسلات قد تكون مرشحة محتملة لمثل هذه المناطق الساخنة. وبالنسبة إلى القياسات الداخلية، من المهم ملاحظة أن النوافذ يمكن أن توهن المجال الكهرمغناطيسي بشكلٍ كبير. وبالتالي، ينبغي أن تظل النوافذ مفتوحة أثناء القياسات الداخلية، إن أمكن.

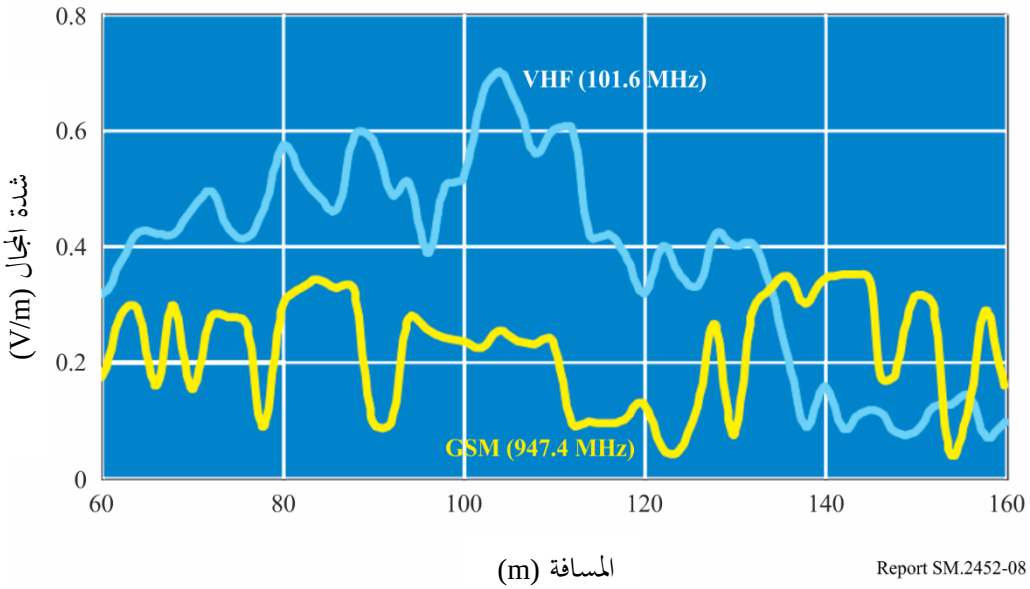
وتتمثل الطريقة الثانية للحصول على النظرة العامة المنشودة في إجراء قياسات لتعرّض سريع باستعمال عدادات عريض النطاق مزودة بمسابير مشكّلة. وفي حالة استعمال مسابير ثابتة التردد لهذا الغرض، يجب توضيح أن أقصى قيم لشدة المجال المكاني ترتبط بالفعل ارتباطاً وثيقاً بأقصى تعرّض مكاني، ولكنهما غير متطابقين. وإذا كان لا يتعين إلا قياس التعرّض الناجم عن مرسل واحد، وإذا كان من الواضح أن هذا المرسل لا يتسبب في التعرّض الإجمالي، فإن العدادات انتقائية الترددات إلزامية للقياس السريع اللازم للحصول

على نظرة عامة. ولا يتعين إلا تقييم المناطق ذات قيم التعرّض العالية بمزيد من التفصيل في خطوة ثانية. ويبين تحريك مسبار العداد عريض النطاق بسرعة ثابتة على خطوط مستقيمة في منطقة نقطة ساخنة معروفة ومشاهدة قيم التعرّض المسجلة على الرسوم البيانية بمرور الوقت الاستبانة في الفضاء اللازمة لإيجاد الحدود القصوى المحلية في منطقة النقطة الساخنة هذه في خطوة ثانية.

ويوضح الشكل 8 إشارة بتشكيل التردد مقاسة عند التردد 101,6 MHz، ووصلة هابطة للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM) عند التردد 947,4 MHz.

الشكل 8

توزيع شدة المجال في غرفة معينة



وبمجرد التعرف على مناطق النقاط الساخنة، يجب إيجاد التعرّض الأقصى المحلي في هذه المناطق. وتجدر ملاحظة أن حساب المتوسط المكاني على أحجام معتدلة مسموح به، بالإحالة إلى اللجنة ICNIRP. وقد يؤدي تجنب حساب المتوسط المكاني تماماً إلى مبالغة كبيرة في تقدير التعرّض الفعلي. ومن السهل إيجاد حد أقصى محلي بمسابير أو هوائيات متناحية. وتتمثل أسرع طريقة في مسح منطقة النقاط الساخنة عن طريق حركة عشوائية للمسبار أو الهوائي في هذه المنطقة واستعمال وظيفة مهلة الانتظار القصوى أثناء المسح. ويمكن حساب المتوسط المكاني المعتدل في نفس الإجراء عن طريق ضبط زمن تكامل جذر متوسط التربيع، يتناسب مع حجم التكامل المنشود والسرعة الفعلية للحركة. ويطلق على الطريقة الثانية اسم طريقة الشبكة: تُعرَّف شبكة من النقاط في منطقة النقاط الساخنة باستبانة مكانية كافية ويُقاس التعرّض عند كل نقطة في الشبكة. ويمكن دمج طريقة الشبكة مع حساب المتوسط المكاني المعتدل أيضاً. وبالنسبة إلى شبكة صغيرة تتكون من 3 أو 6 نقاط، تعد هذه الشبكة بديلاً مفيداً، مما يتيح تجنب تأثير الشخص الذي يقوم بالقياس. وبالنسبة إلى الشبكات الكبيرة، تستغرق هذه الطريقة وقتاً طويلاً.

وبالنسبة إلى الترددات الأعلى من 6 GHz، لا تتوافر الهوائيات المتناحية حتى الآن. وبالتالي، تُستعمل العدادات عريضة النطاق المزودة بمسابر متناحية أو محللات الطيف المزودة بهوائيات ثنائية المخاريط أو اتجاهية في مدى التردد. ويستغرق إيجاد حد أقصى محلي للتعرّض باستعمال الهوائيات ثنائية المخاريط أو الاتجاهية وقتاً أطول مقارنة بالمسابر أو الهوائيات المتناحية. وفي الممارسة العملية، تستعمل طريقة التقليب في أغلب الأحيان مع هذه الهوائيات: يتم تغيير موضع الهوائي واتجاهه واستقطابه عشوائياً داخل المنطقة المعنية عن طريق تحريك الهوائي يدوياً. ويتم الحصول على الحد الأقصى المحلي باستعمال وظيفة مهلة الانتظار القصوى في العدد القادر على الانتقاء أو محلل الطيف أثناء عملية التقليب. وتستغرق طريقة الشبكة المزودة بهوائيات اتجاهية وقتاً كبيراً لأنه سيتعين، عند كل نقطة من نقاط الشبكة، تغيير استقطاب الهوائي واتجاهه عدة مرات لضمان التقاط قيمة تعرّض بالاقتران الأقصى للمجال مع الهوائي لكل نقطة.

4.3 اختصار وقت الرصد والاستقراء إلى أقصى تعرّض

قد تختلف القدرة المشعة لبعض المرسلات اختلافاً كبيراً بمرور الوقت. وتعتمد القدرة المرسلة اعتماداً كبيراً على حمولة الحركة الفعلية وسلوك المستعمل، خاصة بالنسبة إلى محطات القاعدة للخدمات الخلوية المتنقلة. وحتى خلال فترة رصد تبلغ 24 ساعة، قد لا يتم بلوغ القدرة القصوى لأن حمولة الحركة قد تعتمد أيضاً على يوم الأسبوع أو حتى الموسم. ومن الضروري تقليل وقت الرصد إلى قيمة معقولة في القياسات العملية. ولذلك، من الممارسات الشائعة قياس التعرّض الناجم عن بعض مكونات الإشارة، التي تُرسل بقدرة لا تعتمد على حمولة الحركة أو سلوك المستعمل. وفي خطوة ثانية، يُستنبط التعرّض استقرائياً من التعرّض الذي كان ليحدث عند استعمال القدرة القصوى للمرسل. ولكن الاستقراء ليس ضرورياً إذا كانت قدرة المرسل ثابتة إلى حد ما بمرور الوقت. وفي هذه الحالة، تكون فترات الرصد القصيرة كافية لتقييم التعرّض الأقصى.

5.3 كيفية تقييم التعرّض الناجم عن خدمات محددة

باستعمال العدادات عريضة النطاق والمسابر المشكّلة، يمكن تقييم إجمالي التعرّض الحالي بسهولة. ولكن إذا كانت هناك حاجة إلى تقييم التعرّض الناجم عن عدة مرسلات بشكل منفصل، فإن تقنية القياس الانتقائي ضرورية. وتوضح الأقسام الفرعية التالية كيفية تقييم التعرّض الناجم عن خدمات محددة باستعمال تقنية القياس الانتقائي. وتوصف عملية الاستقراء حسب الاقتضاء.

1.5.3 نهج عام للخدمات التي لا يكون فيها الاستقراء موضع اهتمام

لا يعتبر الاستقراء ضرورياً للأنظمة التي ترسل بقدرة ثابتة إلى حد ما. ومن الأمثلة على هذه الخدمات الإذاعة بتشكيل التردد، والإذاعة الرقمية والتلفزيون الرقمي للأرض. ويمكن تقييم هذه المرسلات بسهولة جداً. ويمكن استعمال مقياس انتقائي التردد لمثل هذه التقييمات. وكذلك، إذا كانت القدرة المشعة المكافئة المتناحية المرسلة غير ثابتة في المتوسط، يمكن تطبيق القياس التالي، ولكن لن ينتج عنه سوى التعرّض الفعلي، وليس التعرّض الأقصى.

وتتمثل الخطوة الأولى في تحديد مرشح انتقاء مناسب لالتقاط حوالي 100 في المائة من قدرة القناة المعنية وأقل قدرة ممكنة من القنوات المجاورة.

وقد يؤدي استعمال مراشيح الانتقاء الغوسية في أوضاع الطيف إلى حالات عدم يقين كبيرة في القياسات إذا قيست الأنظمة ذات تباعد ضيق بين القنوات. ويمكن تجنب حالات عدم اليقين الإضافية هذه باستعمال خيارات قدرة القناة أو أوضاع المستقبل بمراشيح ملائمة للقنوات.

وتتناول الخطوة التالية زمن التكامل الملائم لكاشف جذر متوسط التربيع. ويجب اختيار زمن تكامل طويل بما فيه الكفاية للحد من تقلبات القدرة المكتشفة إلى قيمة لا تُذكر، ولكن ينبغي ألا تكون أطول بكثير، من أجل تسريع عملية القياس. ويجب أيضاً أن يكون زمن التكامل أقصر من أقصى زمن تكامل مسموح به لحدود التعرّض ذات الصلة. وأخيراً، يجب أن يكون زمن التكامل طويلاً بما فيه الكفاية لاحتواء 100 عيّنة على الأقل.

2.5.3 نُهج خاصة بخدمات محددة

1.2.5.3 محطات القاعدة في النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM)

إن الشبكة الخلوية في النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM) هي إحدى الخدمات التي تعتمد فيها القدرة المرسلة اعتماداً كبيراً على حمولة الحركة وسلوك المستعمل. وكما هو الحال مع كل خدمة، يمكن تقييم التعرّض الفعلي بالنهج العام الموضح في الأقسام السابقة. ولكن غالباً ما يتعين على المنظمين أو المشغلين تقييم أقصى تعرّض ناجم عن المحطة القاعدة.

ويُرسل فاصل زمني واحد على الأقل من الفواصل الزمنية الثماني لأي من أرتال النظام GSM بالقدرة القصوى على قناة التحكم في البث (BCCH) لإحدى خلايا النظام GSM. ويمكن أن ترسل فواصل زمنية أخرى نفس القدرة أو قدرة أقل. وقد تستعمل بعض الفواصل الزمنية تشكيل الإبراق بالزحزحة الدنيا الغوسي (GMSK) وبعض معدلات البيانات المحسنة لتشكيل معدلات

المعطيات المحسنة للتطور العالمي (EDGE) لنظام GSM. وتتقلب قدرة الفواصل الزمنية لتشكيل معدلات EDGE حول متوسط قدرة الفاصل الزمني لأن هذا النمط من التشكيل يولد ضوضاء شبيهة بالإشارات. ويجب أن يكون زمن تكامل جذر متوسط التربيع في قياسات قناة BCCH أقل من طول الفاصل الزمني (577 µs) من أجل ضمان إمكانية الحصول على أقصى قدرة لفاصل زمني فردي دون توهين. ولا ينبغي أن يكون زمن التكامل أقصر بكثير لأنه يجب تقليل تقلبات القدرة الناجمة عن تشكيل معدلات EDGE بحيث تكون لا تُذكر. وفي هذه الحالة، يتوافق الحد الأقصى لقيم جذر متوسط التربيع بمرور القوت مع أقصى قدرة مرسلة لقناة BCCH. وهناك خلية أيضاً تُرسل على قنوات الحركة (TCH) بترددات مختلفة. ويمكن الآن استقراء أقصى تعرّض ممكن ناجم عن جميع القنوات لإحدى خلايا النظام GSM. ويكون ذلك أقصى تعرّض ممكن ناجم عن قناة BCCH مضروباً في إجمالي عدد قنوات التردد للخلية التي يمكن تشغيلها في وقت واحد. ويكون التعرّض الناجم عن جميع الخلايا التي يمكن استقبالها في موقع معين هو مجموع كل قيم التعرّض المحدد للخلية.

2.2.5.3 محطات القاعدة في نظام الاتصالات المتنقلة العالمية (UMTS)

إن الشبكة الخلوية في نظام الاتصالات المتنقلة العالمية (UMTS) هي أيضاً إحدى الخدمات التي تعتمد فيها القدرة المرسلة اعتماداً كبيراً على حمولة الحركة وسلوك المستعمل. والإجراء التالي هو أحدث إجراء متاح، إذا كان الاستقراء إلى أقصى تعرّض ممكن مطلوباً:

والنظام UMTS هو أحد أنظمة النفاذ المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA). ويمكن إرسال ما يصل إلى 512 قناة بيانات في كل خلية. وتُنشر القنوات المختلفة ذات معدل بيانات منخفض نسبياً بواسطة شفرات مختلفة لتوجيه القنوات على عرض نطاق مرتفع نسبياً لقناة تردد في النظام UMTS. ونظراً لأن الخلايا المختلفة تستعمل شفرات خلط مختلفة، يمكن أيضاً فصل الإشارات الصادرة عن خلايا مختلفة باستعمال نفس قناة التردد. وتوجد في كل خلية قناة دليلية مشتركة أولية (P-CPICH) وتُرسل بقدرة ثابتة. ويمكن لمقدم الخدمة أن يضبط نسبة أقصى قدرة للخلية لتقابل قدرة القناة P-CPICH. وعادة ما تقع نسبة القدرة في المدى من 8 إلى 15. وبالتالي، فإن قياس التعرّض الناجم عن قناة P-CPICH لخلية محددة وضربها في نسبة القدرة لهذه الخلية ينتج عنه أقصى تعرّض ممكن ناجم عن هذه الخلية. والتعرّض الناجم عن جميع الخلايا هو مجموع كل قيم التعرّض للخلايا المحددة.

3.2.5.3 محطات القاعدة في نظام تكنولوجيا التطور طويل الأجل (LTE)

إن الشبكة الخلوية في نظام تكنولوجيا التطور طويل الأجل (LTE) هي أيضاً إحدى الخدمات التي تعتمد فيها القدرة المرسلة اعتماداً كبيراً على حمولة الحركة وسلوك المستعمل. والإجراء التالي هو أحدث إجراء متاح، إذا كان الاستقراء إلى أقصى تعرّض ممكن مطلوباً:

والنظام LTE عبارة عن أحد أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM). ويمكن أن يستعمل الإرسال المزدوج بتقسيم التردد (FDD) أو الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن (TDD). وهناك إشارة أو إشارتان أو أربع إشارات مرجعية خاصة بالخلايا ومدمجة في شبكة موارد رتل تكنولوجيا LTE. وعدد الإشارات المرجعية هو نفس عدد الهوائيات المرسلة. ولا تُرسل كل إشارة مرجعية إلا عبر الهوائي المرتبط بها وبقدرة ثابتة. ويُلاحظ أن القدرة المرسلة للرموز القائمة على الحركة موزعة بالتساوي على جميع الهوائيات المستعملة.

ويُقاس متوسط قيمة التعرّض الناجم عن عناصر مورد واحد يرسل إشارات مرجعية خاصة بالخلايا في خطوة أولى لكل هوائي وخلية على حدة. ويتم حساب المجموع على جميع الهوائيات التي تستعملها خلية محددة في خطوة ثانية. وفي خطوة ثالثة، يتم ضرب هذا المجموع في عامل استقراء، لينتج أقصى تعرّض ممكن ناجم عن الخلية المحددة. ويكون التعرّض الناجم عن جميع الخلايا التي يمكن استقبالها في موقع معين هو مجموع كل قيم التعرّض المحدد للخلية.

ووفقاً للمعيار IEC 62232، فإن عامل الاستقراء للخلايا في الإرسال المزدوج بتقسيم التردد هو عدد الموجات الحاملة الفرعية مقسوماً على "عامل التعزيز". ولا يعتمد عدد الموجات الحاملة الفرعية إلا على عرض نطاق الخلية (72، أو 180، أو 300، أو 600، أو 900، أو 1 200 موجة حاملة فرعية لعرض نطاق قدره 1,4، أو 3، أو 5، أو 10، أو 15 أو 20 MHz). وقد يعتمد "عامل التعزيز" على إعدادات الخلية ويتعين طلبه من مقدم الخدمة في حالة الشك. ويعتبر "عامل التعزيز" الصحيح وفقاً للمعيار IEC 62232 مماثلاً لعدد الهوائيات في كثير من الحالات.

وبالنسبة إلى أي خلية في الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن، يكون عامل الاستقراء هو نفسه الخاص بالخلية في حالة الإرسال المزدوج بتقسيم التردد، ولكن يُضرب في عامل تصحيح، تحدده نسبة الوقت المستعمل للوصلة الهابطة في رتل ما إلى طول الأرتال. ويمكن قياس النسبة الفعلية بالتقريب في وضع "النطاق" الخاص بالعداد الانتقائي أو يمكن حسابها بالضبط إذا عُرف تشكيل الوصلة الصاعدة–الوصلة الهابطة، وتشكيل الرتل الفرعي الخاص وطول البادئة الدورية للخلية المحددة. والمدى المحتمل لعامل التصحيح قدره 140/34 إلى 120/106. وفي حالة الشك، أو إذا كان مقدم الخدمة لا يضمن عدم تغيير تشكيل الوصلة الصاعدة–الوصلة الهابطة، ينبغي استعمال أقصى عامل تصحيح.

4.2.5.3 نقاط النفاذ إلى شكبات واي فاي (Wi-Fi)

إن شبكات Wi-Fi عبارة عن تطبيق تعتمد فيه القدرة المرسلة اعتماداً كبيراً على حمولة الحركة وسلوك المستعمل. وتنبعث إشارة التردد الراديوي لنظام تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) في شكل رشقات، بحيث تكون جميع الموجات الحاملة للقنوات نشطة في أوقات معينة، حسب الحركة. ونتيجة لذلك، يكون أصعب سيناريو لتقييم التعرّض هو وضع الخمول، حيث لا يتم إرسال إلا سلسلة من المنارات التي لا تتجاوز مدتها 0,5 ms كل عشر ميللي ثانية تقريباً. ويمكن استقراء أقصى تعرّض عن طريق إجراء القياس التالي.

وتُقاس قدرة قناة إشارة الشبكة Wi-Fi بشكل مستمر بزمن تكامل جذر متوسط تربيع أقل من 0,5 ms. وتُحدد أقصى قدرة للقناة بمرور الوقت. وينبغي تحويل أقصى قدرة للقناة إلى شدة المجال المقابلة. ويمكن مقارنة شدة المجال هذه بحد التعرّض. وإذا كانت دورة عمل نظام Wi-Fi مقيدة بقيم أقل من 100 في المائة، يجب تعديل أقصى تعرّض وفقاً لدورة العمل.

4 المراجع

الفصل 6.5 من كتيب الاتحاد الدولي للاتصالات عن مراقبة الطيف.

المسألة 7/2 لقطاع تنمية الاتصالات – الاستراتيجيات والسياسات المتعلقة بالتعرّض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

- K.52: إرشادات بشأن الالتزام بحدود التعرض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية (منشآت الاتصالات والأجهزة اليدوية)
- K.61: إرشادات بشأن القياس والتنبؤ الرقمي بالمجالات الكهرمغناطيسية لغرض تقيد منشآت الاتصالات بالقيم الحدية لتعرض الإنسان للمجالات الكهرمغناطيسية
- K.70: تقنيات التخفيف للحد من تعرض الإنسان للمجالات الكهرمغناطيسية بالقرب من محطات الاتصالات الراديوية
- K.83: رصد سويات المجال الكهرمغناطيسي
- K.90: تقنيات التقييم وإجراءات العمل من أجل الامتثال لحدود تعرض موظفي شركات التشغيل للمجالات الكهرمغناطيسية لترددات الطاقة
- K.91: مبادئ إرشادية لتقدير وتقييم ومراقبة التعرض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية للتردد الراديوي
- K Suppl.1: ITU-T K.91 – دليل بشأن المجالات الكهرمغناطيسية والصحة
- K Suppl.4: ITU-T K.91 – اعتبارات المجال الكهرمغناطيسي في المدن الذكية المستدامة
- K.100: قياس المجالات الكهرمغناطيسية للترددات الراديوية لتحديد امتثالها لحدود التعرض البشري لهذه المجالات عندما توضع محطة قاعدة في الخدمة
- K.113: إعداد خرائط لمستويات المجالات الكهرمغناطيسية في الترددات الراديوية
- K.122: مستويات التعرّض في المحيط القريب من هوائيات الاتصالات الراديوية

- K Suppl.9: تكنولوجيا الجيل الخامس والتعرّض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية للتردد الراديوي
- K Suppl.13: مستويات التعرّض للمجالات الكهرمغناطيسية للترددات الراديوية من الأجهزة المتنقلة
- K Suppl.14: أثر حدود التعرّض للمجالات الكهرمغناطيسية للترددات الراديوية الأكثر صرامة من الحدود الموصى بها في المبادئ التوجيهية للجنة الدولية للحماية من الإشعاع غير المؤين (ICNIRP) أو حدود معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE)
- K Suppl.16: تقييم الامتثال للمجالات الكهرمغناطيسية للشبكات اللاسلكية من الجيل الخامس

المبادئ التوجيهية للجنة الدولية المعنية بالحماية من الإشعاع غير المؤين (ICNIRP)

ICNIRP مبادئ توجيهية للحد من التعرّض للمجالات الكهربائية والمغناطيسية والكهرمغناطيسية المتغيرة مع الوقت (حتى 300 GHz)، المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP، الفيزياء الصحية، المجلد 74، الصفحات 494-522، 1998.

ICNIRP مبادئ توجيهية للحد من التعرّض للمجالات الكهربائية والمغناطيسية المتغيرة مع الوقت (من 1 Hz إلى 100 kHz)، المبادئ التوجيهية للجنة ICNIRP، الفيزياء الصحية، المجلد 99، الصفحات 818-836، 2010.

معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE)

IEEE Std C95.1-2005: معيار معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات بشأن مستويات السلامة فيما يتعلق بالتعرّض البشري للمجالات الكهرمغناطيسية للترددات الراديوية، من 3 kHz إلى 300 GHz.

اللجنة الكهرتقنية الدولية (IEC)

المعيار IEC 62232:2017: تحديد شدة مجال التردد الراديوي وكثافة القدرة والمعدل SAR على مقربة من المحطات القاعدة للاتصالات الراديوية لأغراض تقييم التعرّض البشري.

5 مسرد المصطلحات والمختصرات

2D ثنائي الأبعاد *(Two dimensions)*

3D ثلاثي الأبعاد *(Three dimensions)*

AGL فوق مستوى سطح الأرض *(Above ground level)*

BCCH قناة التحكم في البث *(Broadcast control channel)*

DTM خريطة تضاريس رقمية *(Digital terrain mapping)*

DTV التلفزيون الرقمي *(Digital TV)*

e.i.r.p. القدرة المشعة المكافئة المتناحية *(Equivalent isotropically radiated power)*

EMF المجال الكهرمغناطيسي *(Electromagnetic field)*

FDD الإرسال المزدوج بتقسيم التردد *(Frequency division duplex)*

FS شدة المجال *(Field-strength)*

ICNIRP اللجنة الدولية المعنية بالحماية من الإشعاع غير المؤين
(International commission on non-ionizing radiation protection)

IEC	اللجنة الكهرتقنية الدولية *(International Electrotechnical Commission)*
IEEE	معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات *(Institute of Electrical and Electronics Engineers)*
IMT	الاتصالات المتنقلة الدولية *(International mobile communications)*
LTE	التطور طويل الأجل *(Long-term evolution)*
OFDM	تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد *(Orthogonal frequency division multiplexing)*
P-CPICH	قناة دليلية مشتركة أولية *(Primary common pilot channel)*
RF	تردد راديوي *(Radio frequency)*
RMS	جذر متوسط التربيع *(Root mean square)*
RSS	جذر مجموع متوسطات التربيع *(Root of sum of squares)*
TDD	الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن *(Time division duplex)*
UMTS	نظام الاتصالات المتنقلة العالمية *(Universal Mobile Telecommunications System)*
WiGig	جيغابت لاسلكية *(Wireless gigabit)*
WHO	منظمة الصحة العالمية *(World Health Organization)*

_____