الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R SM.2212 التقرير

(2011/06)

تأثير أنظمة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية على أنظمة الاتصالات العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) فوق MHz 80

السلسلة SM

إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات

تمهيـــد

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 الملحق 1 بالقرار 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	العنـــوان
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 التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بعد
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، 2012

© ITU 2012

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).

التقـــرير ITU-R SM.2212

تأثير أنظمة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية على أنظمة الاتصالات العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) فوق 80 MHz

(المسألة ITU-R 221-1/1)

(2011)

جـــدول المحتـــويات

الصفحة

1 مقدمة 4

2 خصائص إشعاع الترددات الراديوية من أنظمة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية (PLT) في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) 5

1.2 الإشعاع التداخلي الصادر عن أنظمة اتصالات PLT العاملة بالمودم 5

2.2 شدة مجال تداخل أنظمة PLT في حالة الاستقطاب الأفقي 6

3.2 شدة مجال تداخل أنظمة PLT في حالة الاستقطاب العمودي 7

4.2 التداخل الناجم عن أنظمة PLT في أنظمة تشكيل التردد (FM) وأنظمة الإذاعة السمعية الرقمية (DAB) 7

5.2 الاستنتاج 7

3 خصائص الأنظمة الراديوية ومعايير الحماية وتأثير أنظمة PLT على أنظمة الاتصالات الراديوية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) 8

1.3 الإذاعة 8

1.1.3 شدة المجال الدنيا الممكن استعمالها، فيما يتعلق بأنظمة PLT، في الأنظمة الإذاعية العاملة بترددات تفوق 80 MHz 8

2.1.3 الكثافات العُظمى لشدة مجال التداخل في نظام الاستقبال الإذاعي 10

2.3 خدمة الهواة وخدمة الهواة الساتلية 11

1.2.3 سويات ضوضاء الخلفية في النطاق 144-148 MHz 12

2.2.3 خصائص محطات الهواة في النطاق 144-148 MHz 12

3.2.3 متطلبات الحماية لمحطات الهواة الراديوية في النطاق 220-225 MHz 12

4.2.3 متطلبات الحماية لمحطات الهواة الراديوية في النطاق 420-450 MHz 12

5.2.3 خدمات أخرى عاملة في البيئة المنزلية بمتطلّبات مماثلة 13

3.3 الخدمة المتنقلة للطيران 13

4.3 الخدمة المتنقلة البحرية 16

5.3 خدمة الاستدلال الراديوي 16

6.3 الخدمة المتنقلة البرية 16

الصفحة

7.3 خدمة علم الفلك الراديوي 17
8.3 الخدمة المتنقلة الساتلية 17
1.8.3 نطاقات التردد 17
2.8.3 معيار الحماية 18
3.8.3 معلمات النظام 18
4.8.3 الحالة الخاصة بالنطاق 406,1-406 MHz 20
9.3 خدمة الملاحة الراديوية الساتلية 20
1.9.3 نطاقات التردد 20
2.9.3 معيار الحماية 20
3.9.3 مَعلمات النظام 21
10.3 أنظمة/تطبيقات أخرى للاتصالات الراديوية 21
1.10.3 أنظمة الاتصال اللاسلكية الخاصة بالمغروسات الطبية 21
4 الوسائل المحتملة لمنع التداخل أو إزالته 22
1.4 تدابير تكييف التوافق الكهرمغنطيسي (EMC) 22
2.4 التثليم الدائم 23
3.4 التثليم الدينامي 24
4.4 التثليم المقترن بالموقع الجغرافي 25
5.4 التحكم في قدرة الإرسال بحسب التوصية ITU-T G.9960 25
1.5.4 بناء قناع الإرسال للكثافة الطيفية للقدرة (PSD) 26
2.5.4 التبليغ عن قناع الإرسال PSD 27
3.5.4 سقف القناع PSD 27
4.5.4 المراجع 28
6.4 استنتاج بشأن منع التداخل أو إزالته 28
5 استنتاجات إجمالية 28
الملحق 1 – الاعتبارات الخاصة بالضوضاء والإشعاع والانتشار في نطاقات البث على الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) 29
A1 تحليل مفصَّل لتحويل الأسلوب في فرع التبديل 29
1.A1 مصفوفة انتثار مختلطةُ الأسلوب لخط إرسال متوازن محمَّل من جانب واحد بخط أبتر على التسلسل 29
1.1.A1 صياغات نظرية 29
2.1.A1 النتائج 32
3.1.A1 استنتاجات 38
الملحق 2 – تحليلات للتداخل المحتمل في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) 38
A2 التداخل في الأنظمة الراديوية VHF/UHF، الناجم عن توافقيات أنظمة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) بين 80 و200 MHz 38

الصفحة

1.A2 الأنظمة الراديوية المنزلية 38
1.1.A2 الاستنتاج 39
2.A2 الملاءمة بين الخدمة الراديوية للطيران وأجهزة PLT المنزلية في مدى التردد 30 MHz-380 MHz 40
1.2.A2 تحليل الملاءمة بخصوص التداخلات في الخدمة الراديوية للطيران 40
2.2.A2 حساب عتبة التداخل من أنظمة PLT بالنظر إلى متطلّبات الملاحة الجوية 41
3.2.A2 حساب كثافة تدفق القدرة التي تسببها الحدود الموضوعة لمعايير نظام PLT 43
4.2.A2 مقارنة عتبة التداخل المطلوبة لمستقبِل محمول جواً مع التداخل الناجم عن أنظمة PLT 45
5.2.A2 الاستنتاجات 46
3.A2 نموذج تجميعي لأنظمة PLT ممكن التطبيق على الاتصالات الراديوية للطيران وأنظمة الملاحة الراديوية 46
الملحق 3 – إشعاع الترددات الراديوية الصادر عن أنظمة PLT في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) 47
A3 إشعاع الترددات الراديوية الصادر عن أنظمة PLT في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) 47
1.A3 القياسات التي أجراها معهد التكنولوجيا الراديوية على مودمات PLT 47
1.1.A3 نظرة شاملة على القياسات 48
2.1.A3 أداء أنظمة PLT 48
3.1.A3 قياسات طيف الترددات 49
4.1.A3 الإشعاع التداخلي الصادر عن مودم PLT بلكين "Power line Gigabit" F5D4076-S v1 54
5.1.A3 شدة المجال في حالة استقطاب أفقي 55
6.1.A3 شدة المجال في حالة استقطاب عمودي 57
7.1.A3 التداخل الفعلي في استقبال بث FM وDAB 58
8.1.A3 الاستنتاج من قياسات المعهد IRT 59
2.A3 القياسات التي أجراها مركز بحوث الاتصالات (كندا) على مودمات نظام PLT 59
1.2.A3 طريقة المركز CRC في القياس ونتائج اختبار الإشعاع بالإيصال 59
2.2.A3 الاستنتاجات من قياسات المركز CRC 61
3.A3 القياسات التي أجرتها إذاعة CBS والإذاعة الوطنية العمومية على مودم PLT طراز"Gigabit"... 61
1.3.A3 طريقة القياس 62
2.3.A3 نتائج قياس الإشعاع الكهرمغنطيسي بالإيصال لمودم PLT طراز Belkin "Gigabit power line HD" نموذج F5D4076-S v2 62
3.3.A3 التداخل على مستقبِل FM من مودم PLT طراز "Belkin "Gigabit power line نموذج F5D4076-S v2 65
4.3.A3 الاستنتاجات من قياسات CBS/NPR 66

الصفحة

4.A3 قياسات هيئة الإذاعة البريطانية (BBC) للإشعاع الصادر عن شبكات PLT 66
1.4.A3 مقدّمة..... 66
2.4.A3 القياسات في حُجرة مستورة 67
3.4.A3 القياسات في المنزل A..... 69
4.4.A3 القياسات في المنزل B..... 71
5.4.A3 الاستنتاجات..... 73

1 مقدمة

يغطي هذا التقرير استعمال الطيف الراديوي ومتطلبات الحماية لخدمات الاتصالات الراديوية إزاء تأثير الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية (PLT) العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)، وذلك كجزء من الدراسات الخاصة بالتوافق بين أنظمة الاتصالات الراديوية وأنظمة الاتصالات ذات معدلات البيانات العالية التي تستخدم خطوط توزيع الطاقة الكهربائية أو الاتصالات الهاتفية (المسألة ITU-R 221/1). وهو يكمِّل التقرير ITU-R SM.2158 الذي قدّم معلومات وتوجيهات بشأن نطاقات التردد من نطاقات الموجات الكيلومترية (LF) حتى قرابة التردد 50 MHz.

وتُثبت التطورات الأخيرة في تكنولوجيا الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية (PLT) أن أنظمة PLT بإمكانها استعمال ترددات تفوق 80 MHz بكثير. وقد تُمكِّن التطورات التكنولوجية مستقبلاً أنظمة PLT من استعمال ترددات في نطاقات الموجات الديسيمترية (UHF).

وهنالك في الوقت الحاضر زمرتان رئيسيتان من تطبيقات الاتصالات PLT وهما:

- تطبيقات PLT للنفاذ (خارج المباني) التي تستهدف سوق "الميل الأخير" (أي km 1,2) الممتد ما بين المحطة الفرعية للإمداد بالطاقة الكهربائية ومكان المشترِك، ولذا يمكن اعتبارها وسيلة بديلة للنفاذ إلى العروة المحلية للاتصالات.
- تطبيقات PLT للنفاذ داخل المباني التي تستهدف توزيع الإشارات (الواردة مثلاً من تطبيقات PLT للنفاذ أو من الخط الرقمي للمشترك (DSL) أو حتى من مصادر بيانات داخل المنازل وبدون توصيل بشبكة نفاذ) عبر مقابس الخطوط الكهربائية داخل المباني.

وبحسب المعلومات المتيسِّرة، لا يُستعمَل حالياً داخل المباني إلاَّ الترددات التي تفوق 80 MHz في أنظمة PLT.

وقد تضمنت التوصية ITU-T G.9960 (2010/06) – المرسِلات-المستقبِلات الموحدة العاملة بين الشبكات المنزلية المبنية على خطوط سلكية عالية السرعة – مواصفةُ معمارية النظام وطبقته المادية، مواصفةً للطبقة المادية لأنظمة PLT تستعمل ترددات تصل حتى 100 MHz. وقد دمجت هذه الصيغة للتوصية ثلاث توصيات سابقة معتمَدة صادرة عن قطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) وهي: ITU-T G.9960 – التأسيس (2009)، وITU-T G.9960 – التعديل 1 (2009)، وITU-T G.9960 – التصويب 1 (2009). وبذلك عُدّلت خصائص النطاق الأساسي المعتمد على خطوط الإمداد بالكهرباء المحدَّد سقف التردد فيه بـ 100 MHz بحيث خُفّض الحد الأعلى للتردد من 100 MHz إلى 80 MHz. ولكن يُتوقّع أن يسمح المزيد من التعاون، بين قطاع الاتصالات الراديوية (ITU-R) وقطاع تقييس الاتصالات (ITU-T)، بإعادة النظر في هذا التحديد للتردد الوارد في التوصية ITU-T G.9960.

وجدير بالملاحظة أن في السوق أنظمة PLT للأماكن داخل المباني تتبع مواصفات غير ما وُضِع في التوصية ITU-T G.9960، وتستعمِل ترددات تصل حتى 300 MHz بل تتجاوز ذلك.

ويمكن لأنظمة PLT داخل المباني هذه أن توفّر معدلات إرسال تبلغ بضع مئات Mbit/s، عن طريق أسلاك الطاقة الكهربائية العادية داخل كل مبنى. وقد تحتاج إلى معدلات إرسال كهذه تطبيقاتٌ مثل عرض الأفلام العالية الاستبانة وممارسة الألعاب على الخط في المنزل. ويمكن أن يختلف تنفيذ أنظمة PLT وخصائصها التقنية اختلافاً كبيراً.

لكن الإشارات المرسلة عبر أنظمة PLT من شأنها أن تسبب تداخلاً في خدمات الاتصالات الراديوية، لأن خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية غير مصممة من أجل إرسال إشارات بيانات بمعدلات عالية.

ويشترط الرقم 12.15 من لوائح الراديو أنه "ينبغي أن تتخذ الإدارات جميع التدابير العملية اللازمة للتحقق من أن تشغيل الأجهزة والمنشآت الكهربائية من أي نوع، بما فيها شبكات توزيع الطاقة أو الاتصالات، ما عدا الأجهزة المعَدَّة للاستخدامات الصناعية والعلمية والطبية، لا يتسبب في تداخلات ضارة بخدمة اتصالات راديوية، وخاصة بخدمات الملاحة الراديوية وغيرها من خدمات السلامة المشغلة وفقاً لأحكام هذه اللوائح"[1].

ويحتوي تقرير قطاع الاتصالات الراديوية هذا في الفصل 3 معلومات عن خصائص الأنظمة الراديوية وعن معايير الحماية بخصوص عدد كبير من أنظمة الاتصال الممكن أن تتأثر والعاملة بترددات بين 80 و470 MHz. وفي الحسبان توسيع نطاق تقرير قطاع الاتصالات الراديوية هذا تدريجياً، بحيث يشمل في نهاية المطاف جميع أنظمة الاتصالات الراديوية المعنية بمدى الترددات المذكور. وربما صار من الضروري، تبعاً لتطور أنظمة PLT، النظر في التأثيرات الممكنة على أنظمة الاتصالات الراديوية العاملة بترددات تفوق 470 MHz.

2 خصائص إشعاع الترددات الراديوية من أنظمة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية (PLT) في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)

1.2 الإشعاع التداخلي الصادر عن أنظمة اتصالات PLT العاملة بالمودم

فيما يلي مثال على إشعاع تداخلي منبعث من خط إمداد بالطاقة الكهربائية، مُستعمَل للتوصيل بين مودِمَيْ PLT عالِيَيْ السرعة، يجري بينهما نقل بيانات بمعدل يصل إلى 250 Mbit/s. وقد أُجريت القياسات باعتماد هوائي مرجعي منصوب على مسافة ثلاثة (3) أمتار من خط كهرباء. وسُجِّلت القيم الذروية التالية لشدة المجال بعد قياسها في مدى ترددات 30-320 MHz في حالَتَيْ الاستقطاب الأفقي والعمودي:

- ضوضاء النظام الناجمة عن مستقبِل القياس (المرجع المنخفض لنظام القياس).
- الضوضاء البيئية.
- التداخل والمودمان في وضع الراحة.
- التداخل والمودمان أثناء نقل البيانات بمعدل يصل حتى 250 Mbit/s.

يمكن الاطِّلاع على تفاصيل إجراء الاختبار في الملحق 3. وقد أُدخلت الحدود المذكورة في الجدول 6 من المعيار EN 55022 (أبريل 2007)[2] في المخططات بصفة حدود مرجعية عليا. والقيم الحدية مذكورة كقيم شبه ذروية. وتكون القيم شبه الذروية عادة أخفض من القيم الذروية بمقدار يصل إلى 4 dB (انظر التقرير ITU-R SM.2158).

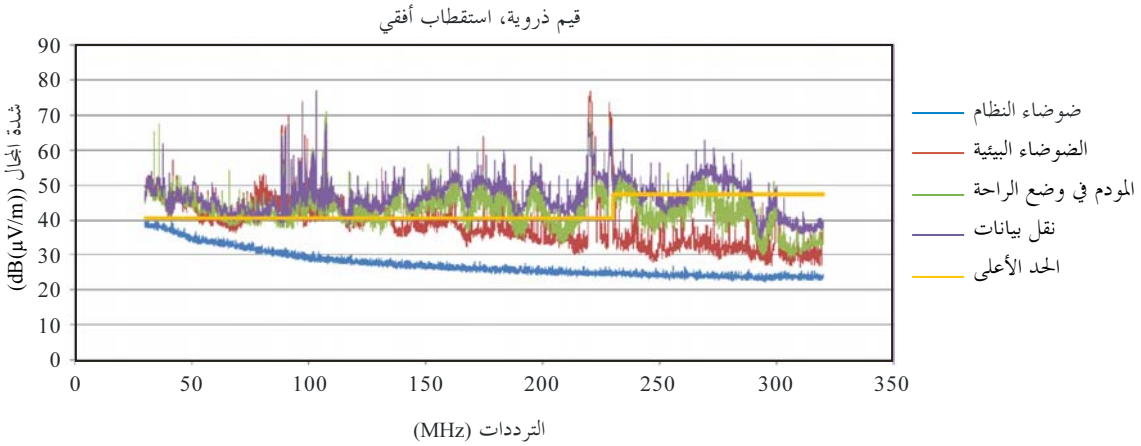
[1] **1.12.15** و**1.13.15** يتعين على الإدارات أن تستند بهذا الصدد إلى آخر توصيات قطاع الاتصالات الراديوية ذات الصلة."

[2] 2005 (modified)).CENELEC EN 55022:2006; Information technology equipment – Radio interference characteristics – Limits and

2.2 شدة مجال تداخل أنظمة PLT في حالة الاستقطاب الأفقي

الشـــكل 1

القيم الذروية بوحدة dB(µV/m) لشدة المجال المستقطبة أفقياً



Report SM.2212-01

يمثِّل الخط الأزرق في الشكل 1 أصغر شدة مجال يمكن قياسها، وهي تساوي ضوضاء نظام مستقبِل القياس. ويمثِّل الخط الأحمر مسار الضوضاء البيئية (ضوضاء سبَّبها الإنسان) في غياب المودمَيْن. وبما أن القياسات تمّت في مبنى المعهد IRT، حيث يعمل كثير من الأنظمة الكهربائية والإلكترونية، فقد كانت سوية الضوضاء البيئية عالية (الخط الأحمر)، وحتى مع تردد تحت MHz 150 تظل سوية الضوضاء هذه فوق خط القيمة الحدية العليا. والقيم الذروية لشدة المجال في مدى الترددات MHz 108-87,5 تُوائم إشارات تشكيل التردد (FM)، وتُوائم نظيراتها في مدى 220 وMHz 229 إشارات الإذاعة السمعية الرقمية (DAB) التي يمكن استقبالها في مبنى المعهد IRT.

عند تشغيل المودمَيْن تزداد شدة مجال التداخل، كما يدل عليه الخط الأخضر. وأثناء نقل البيانات، ترتفع أيضاً شدة مجال التداخل، كما يدل عليه الخط البنفسجي. وعندما يتجاوز التردد MHz 130 تتجاوز شدة مجال التداخل الناجمة عن المودمَيْن الضوضاء البيئية ببضع وحدات dB؛ وهذا يدل على صحة القيم المقيسة. فالقيم الذروية لتداخل المودم أثناء نقل البيانات، وكذلك في وضع الراحة، تفوق القيم الحدية التي وضعتها اللجنة الدولية الخاصة بالتداخل الراديوي (CISPR) بمقدار يصل إلى نحو dB 20. ويبيّن الجدول 1 ما يمكن تطبيقه من القيم الحدية التي وضعتها اللجنة CISPR.

الجـــدول 1

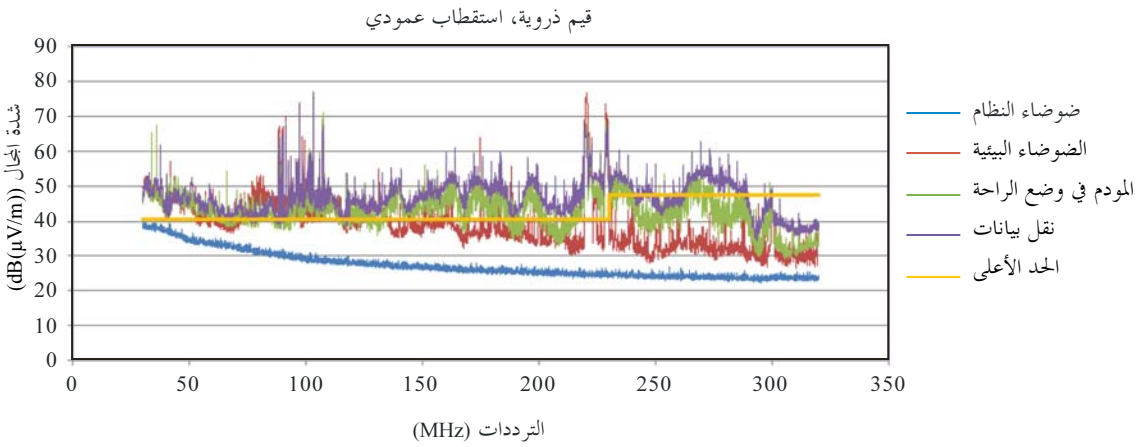
الإصدار 6 للوثيقة CISPR 22، حدود الإرسال الخاصة بتجهيزات تكنولوجيا المعلومات
(عرض النطاق kHz 120)

مدى التردد	الإرسالات المشَعَّة (شبه الذروية، الهوائي على مسافة m 10)	
	الصنف A (ليس مصمماً للاستعمال المنزلي)	الصنف B (مصمم للاستعمال المنزلي)
MHz 230-30	dB(µV/m) 40	dB(µV/m) 30
MHz 1 000-230	dB(µV/m) 47	dB(µV/m) 37

3.2 شدة مجال تداخل أنظمة PLT في حالة الاستقطاب العمودي

الشـــكل 2

القيم الذروية بوحدة dB(µV/m) لشدة المجال المستقطب عمودياً



Report SM.2212-02

تصلح القيم المذكورة في الشكل 1 أيضاً قيماً لشدة المجال في الشكل 2. ومع تردد MHz 220 وMHz 229 تظهر إشارات DAB أعلى لكونها مرسَلة في استقطاب عمودي. وكذلك فإن القيم الذروية لتداخل المودم أثناء نقل البيانات، كما في وضع الراحة، تفوق القيم الحدية في مدى الترددات بكامله.

4.2 التداخل الناجم عن أنظمة PLT في أنظمة تشكيل التردد (FM) وأنظمة الإذاعة السمعية الرقمية (DAB)

أجرى قسم البحث والتطوير التابع لهيئة الإذاعة البريطانية (BBC) قياسات طيفية للإشعاع الصادر عن مودمات خاصة بأنظمة PLT وعالية السرعة، مقارنة بالإشارات المطلوبة من مرسِلات نظام FM عاملة في النطاق II ومن مرسلات نظام DAB عاملة في النطاق III. وقد نُفِّذت هذه القياسات في موضعين تمثيليين داخل منزلَيْن، مع توثيق الإجراءات واختبارات المعايرة في شروط مختبرية. ويتبيّن من النتائج المحرزة الواردة في الملحق 3 أن الإشعاع الصادر عن مودمات PLT مماثل لشدة المجال المطلوبة للاستقبال المستعمَلة في طرائق تخطيط راسخة. إذ إن تجهيز PLT يرفع ضوضاء الخلفية إلى سوية تعني أن مساحات التغطية الجيدة سابقاً صارت تغطيتها في هذه الحالة حدودية. وبالفعل، تُخفَض نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) في هذه الحالة إلى ما يقرب من العتبة المقبولة، ويمكن أن تنحطّ جودة السماع سريعاً من *ضوضائي* إلى *غير مفهوم*، بمجرَّد تغيير طفيف في بعض العوامل، مثل موضع المستقبِل وظروف الانتشار التروبوسفيري.

5.2 الاستنتاج

تُبيّن القياسات الطيفية المجراة على مودمات PLT عالية السرعة حصول إشعاع تداخلي مع الترددات التي تصل حتى MHz 305، ما يشمل نطاق تشكيل التردد (FM) ونطاق الإذاعة السمعية الرقمية (DAB). وتبيِّن القياسات كذلك أن التداخل الذي تسببه المودمات أقوى مما يسمح به المعيار EN 55022 في مدى الترددات MHz 300-30. وبما أن معدّل البيانات يزداد في حالة نقلها بمودمات عالية السرعة، يُقدَّر أن تحصل أيضاً زيادة مناظرة في الإشعاع التداخلي في الترددات التي تفوق MHz 300.

3 خصائص الأنظمة الراديوية ومعايير الحماية وتأثير أنظمة PLT على أنظمة الاتصالات الراديوية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)

1.3 الإذاعة

1.1.3 شدة المجال الدنيا الممكن استعمالها، فيما يتعلق بأنظمة PLT، في الأنظمة الإذاعية العاملة بترددات تفوق 80 MHz

يقدم هذا القسم بعض المعلومات الأساسية عن شدة المجال الدنيا الممكن استعمالها في الأنظمة الإذاعية العاملة بترددات تفوق 80 MHz وتصل حتى 1 GHz تقريباً. ويرد في توصيات وتقارير متنوعة صادرة عن القطاع ITU-R مواصفات ومعلومات مفيدة يمكن استعمالها من أجل استخلاص متطلبات الحماية لاستقبال إذاعي موثوق. ويحتوي القسم التالي قائمةً بالقيم، مستمَدّةً من التوصيات ذات الصلة بقصد إعطاء نظرة شاملة سريعة على القيم ذات الصلة، الصالحة لمختلف الأنظمة الإذاعية العاملة بترددات تفوق 80 MHz.

في المادة 5 من لوائح الراديو، بالنسبة للإقليم 1، وُزّعت نطاقات الترددات التالية مما فوق 80 MHz من أجل الإذاعة:

الجـــدول 2

نطاقات الترددات من أجل الإذاعة

النطاق	الترددات
موجات مترية (VHF)	MHz 100-87,5 MHz 108-100
	MHz 223-174 MHz 230-223
موجات ديسيمترية (UHF)	MHz 790-470 MHz 862-790

التوصية ITU-R BS.412-9 – معايير التخطيط للإذاعة الصوتية للأرض العاملة بتشكيل التردد (FM) على الموجات المترية (VHF)

في حالة وجود تداخل من جهاز صناعي أو منزلي (بخصوص القيم الحدية للإشعاع الصادر عن هذه الأجهزة، راجع التوصية ITU-R SM.433*، التي تتضمّن توصيات اللجنة الدولية الخاصة بالتداخل الراديوي (CISPR)) تتطلّب خدمة صوتية FM مُرضِية ألا يقلّ متوسِّط شدة المجال (مَقيسةً على ارتفاع 10 m فوق مستوى الأرض) عن القيم المعروضة في الجدول 3:

الجـــدول 3

متوسِّط شدة المجال FM مَقيسةً من هوائي على ارتفاع 10 m
(المصدر: الجدول 1 في التوصية ITU-R BS.412-9)

المنطقة	الخدمات	
	بث صوتي غير مجسَّم dB(μV/m)	بث صوتي مجسم dB(μV/m)
ريفية	48	54
حضرية	60	66
مدينة كبيرة	70	74

* *ملاحظة من الأمانة* – أُلغيت التوصية ITU-R SM.433 في 2003/06/06 (RA-03).

كثيراً ما يجري استقبال البث الصوتي FM بواسطة جهاز محمول أو متنقل، مزوَّد بهوائي يقرب ارتفاعه من 1,5 m، لكن الخدمة مخططة من أجل هوائي ارتفاعه 10 m. ويتوقّع أن يكون لمستقبِل محمول مزوَّد بهوائي مُدمَج نفس الحساسية التي يتصف بها المستقبِل المفترض في التخطيط. ومن ثَمَّ يمكن الأخذ بنفس القيم المحددة لشدة المجال القابلة للاستعمال.

التوصية ITU-R BS.1660-3 – الأساس التقني لتخطيط الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض في نطاق الموجات المترية (VHF)

تشكل هذه التوصية الأساس التقني لتخطيط النظام A للإذاعة الصوتية الرقمية للأرض (T-DAB) في النطاق III للموجات المترية (VHF). ويعرض الجدول 4 القيم المناسبة مع إدخال تصحيح بنسبة مئوية يخص الموقع قدره 13 dB، وتصحيح 10 dB يخص كسب ارتفاع الهوائي. أما المتوسِّط الأدنى الوارد أدناه لشدة المجال المكافئة فيمثِّل شدة المجال الدنيا المطلوبة المستعملة في التخطيط. وتُطبّق القيم المبيَّنة في الجدول 4 على الاستقبال المتنقل.

الجـــدول 4

المتوسِّط الأدنى لشدة المجال المكافئة (dB(μV/m)) المطلوبة للنظام T-DAB مَقيسةً عند هوائي على ارتفاع 10 m
(المصدر: الجدول 1 في التوصية ITU-R BS.1660-3)

نطاق التردد	النطاق III
شدة المجال المكافئة الدنيا (dB(μV/m))	35
عامل التصحيح الخاص بالموقع بالنسبة المئوية (50% إلى 99%) (dB)	+13
عامل التصحيح الخاص بكسب ارتفاع الهوائي (dB)	+10
المتوسط الأدنى لشدة المجال المكافئة المطلوبة للتخطيط (dB(μV/m))	58

بالنسبة إلى أجهزة الاستقبال المحمولة التي تستعمل هوائياً داخل المباني، يمكن أن تُعتبَر القيمة 35 dB(μV/m) هي شدة المجال المكافئة الدنيا الواجب أخذها في الحسبان.

التوصية ITU-R BT.1368-8 – معايير تخطيط خدمات التلفزيون الرقمي للأرض في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)

الأرقام الواردة في الجدول 5 جرى حسابها بخصوص قناة رايس.

الجـــدول 5

شدد المجال الدنيا المطلوبة لنظام التلفزيون الرقمي للأرض DVB-T بتردد 8 MHz
(المصدر: الجدول 44 في التوصية ITU-R BT.1368-8)

التردد (MHz)	200			550			700		
فاصل الحراسة المتغيِّر للنظام 1/4	QPSK 2/3	16-QAM 2/3	64-QAM 2/3	QPSK 2/3	16-QAM 2/3	64-QAM 2/3	QPSK 2/3	16-QAM 2/3	64-QAM 2/3
شدة المجال الدنيا المطلوبة للاستقبال بجهاز ثابت، E_{min} (dB (μV/m))	27	33	39	33	39	45	35	41	47

بالنسبة إلى أجهزة الاستقبال المحمولة التي تَستعمل هوائياً داخل المباني، يمكن أن تُعتبَر القيم الواردة في الجدول 5 قيم شدة المجال المكافئة الدنيا الواجب أخذها في الحسبان.

2.1.3 الكثافات العُظمى لشدة مجال التداخل في نظام الاستقبال الإذاعي

في حالة استعمال هوائي خارجي، تكون الضوضاء الخارجية هي الضوضاء الرئيسية للمستقبِل. وفي حالة استعمال هوائي مُدمَج، تكون الضوضاء الخارجية هي العامل الرئيسي في مناطق الأعمال والمناطق السكنية. وحتى في المناطق الريفية تكون الضوضاء الخارجية كبيرة. أما السوية الدنيا للضوضاء الخارجية فهي مرهونة بفعل الإنسان، لكونها العامل السائد حين تخبو الضوضاء في الغلاف الجوي. وبما أن القيمة الدنيا للضوضاء الخارجية مرهونة بالضوضاء الاصطناعية، فإن متطلبات الحماية الخاصة بشدة المجال مرهونة أيضاً بهذه الضوضاء.

وفيما يخص تداخل الإرسالات غير المقصودة في النطاقات الإذاعية لترددات تفوق MHz 80 فإن التوصية ITU-R BS/BT.1895 *توصي*:

"**1** باستعمال القيمتين الواردتين في البندين *توصي* 2 و3 بوصفهما مبدأين توجيهيين ينبغي الارتكاز عليهما في إجراء دراسات توافق بشأن تأثير الإشعاعات والإرسالات الصادرة عن التطبيقات والخدمات الأخرى على الخدمات الإذاعية؛

2 بأنه ينبغي ألا يتجاوز التداخل الإجمالي عند المستقبِل الناجم عن جميع الإشعاعات والإرسالات التي ليس لها توزيع مقابل من الترددات في لوائح الراديو نسبة 1% من إجمالي قدرة ضوضاء نظام المستقبِل[3]؛

3 بأنه ينبغي ألا يتجاوز التداخل الإجمالي عند المستقبِل الناجم عن جميع مصادر إرسالات الترددات الراديوية الصادرة عن خدمات الاتصالات الراديوية التي لها توزيع مقابل من الترددات على أساس أولي مشترك نسبة 10% من إجمالي قدرة ضوضاء نظام المستقبِل."

وتوخياً لضبط انحطاط حساسية المستقبِل في حدود 1% أو dB 0,05، ينبغي أن يكون شرط حماية الخدمة الإذاعية أقل بمقدار dB 20 من قيمة E_n حيث E_n هي شدة المجال المكافئة للضوضاء الاصطناعية في عرض النطاق b. ويمكن فضلاً عن ذلك التعبير عن شرط الحماية على أساس أن تكون قيمة كثافة شدة المجال القصوى هي dB(μV/m/MHz)، حيث b = 1 MHz.

ويُعبَّر عن شرط الحماية بما يلي:

$$\text{كثافة شدة المجال القصوى} = g + h \log f \quad \text{dB(μV/m/MHz)} \qquad (1)$$

حيث:

$$g = c - 55{,}5$$
$$h = 20 - d$$

وحيث الثابتان c وd واردان في الجدول 1 في التوصية ITU-R P.372، وبالتالي يأخذ g وh القيم المعطاة في الجدول 6 التالي.

الجـــدول 6

قِيَم الثابتَين g وh

الفئة البيئية	g	h
مدينة	21,3	7,7–
سكنية	17,0	7,7–
ريفية	11,7	7,7–
ريفية هادئة	1,9–	8,6–

[3] باستثناء الإشعاع الصادر عن أجهزة PLT العاملة بترددات تحت MHz 30.

ويعرض الجدول 7 شرط الحماية لخدمة الإذاعة للأرض معبَّراً عنه بكثافة شدة المجال القصوى عند هوائي المستقبِل الإذاعي. وبما أن الضوضاء الخارجية في بيئة ريفية هادئة عند تردد أعلى من 30 MHz تفوقها ضوضاء خلفية المستقبِل، فقد أصبحت القيم المناسبة لبيئة ريفية هادئة عند تردد أعلى من 30 MHz تُشتَقّ من المعادلة (3-4) في التقرير ITU-R SM.2158 ومن معيار –20 dB للحماية. وعلى نحو مماثل، تفوق ضوضاء خلفية المستقبِل الضوضاء الاصطناعية عند تردد أعلى من 470 MHz. وعليه، فإن جميع القيم المناسبة لمثل هذه البيئة، في حالة تردد أعلى من 470 MHz، تُشتَقّ من المعادلة (3-4) في التقرير ITU-R SM.2158 ومن معيار –20 dB للحماية.

الجـــدول 7

الكثافات القصوى لشدة مجال التداخل في نظام الاستقبال الإذاعي

نطاق الترددات الإذاعية[1]	الكثافة القصوى لشدة مجال التداخل (dB(μV/m/MHz[2] في بيئة:			
	مدينة	سكنية	ريفية	ريفية هادئة
72-47 MHz	8,4	4,1	1,2–	22,1–
88-76 MHz	6,8	2,5	2,8–	17,9–
108-88 MHz	6,3	2,0	3,3–	16,6–
230-174 MHz	4,0	0,3–	5,6–	10,7–
960-470 MHz	2,1–	2,1–	2,1–	2,1–
1 452-1 492 MHz	7,7	7,7	7,7	7,7

[1] نطاقات الترددات الإذاعية هذه لا تشمل التغيّرات الإقليمية المذكورة في المادة 5 من لوائح الراديو.

[2] هذه القيم مشتقَّة من التوصيتين ITU-R P.372 وITU-R BS/BT.1895، باستثناء حالة البيئة الريفية الهادئة مع إرسال بتردد أعلى من 30 MHz وجميع حالات الإرسال بتردد أعلى من 470 MHz التي تُشتقّ قيمها من ضوضاء خلفية المستقبِل، طبقاً لما جاء في التوصية ITU-R BS/BT.1895.

2.3 خدمة الهواة وخدمة الهواة الساتلية

نطاقات خدمة الهواة في المدى 80–450 MHz هي نطاق 144–148 MHz (منه 144–146 MHz للإقليم 1 بتعريف الاتحاد) و220–225 MHz في الإقليم 2 وأجزاء من 420–450 MHz في جميع الأقاليم. وإلى جانب كثافة استخدام هذه النطاقات في تغطية محلية نسبياً بتشكيل التردد (FM) والأساليب ذات الصلة، وهي تغطية معززة في أغلبية البلدان بشبكة واسعة من المكرِّرات، شاع استعمال هذه النطاقات عالمياً بكل معنى الكلمة من حيث استعمالها في تعزيز الاتصالات على مسافات بعيدة وبنسب إشارة إلى الضوضاء منخفضة جداً (بل سالبة أيضاً). فهذه التطبيقات الضعيفة الإشارة هي التي تستلزم الحماية من التداخل، وإن استفادت من الحماية اتصالات أخرى إلى جانبها.

والاتصالات الضعيفة الإشارة في خدمة الهواة على الموجات المترية (VHF) تَستعمِل بصورة منهجية أساليب انتشار عابرة، كالانتثار التروبوسفيري الموسع، والانتشار التروبوسفيري الموجَّه، والانتشار عبر الاستوائي في حالتَي تردد 144 و220 MHz، وكذلك الانعكاسات من الشفق القطبي، وذيول النيازك، والقمر، أساليب ترفضها عادة الخدمات الأخرى معتبرة إياها "غير موثوقة"، فهي من ثَمّ قلّما تلقى اهتمام المهنيين. ولكن بالمقابل يستعمل الهواة أساليب الانتشار هذه في الاتصالات على مسافات 1 000 km وأكثر، بينما تغطي الاتصالات المستفيدة من الانعكاس عن سطح القمر جميع الأقاليم التي حددها الاتحاد الدولي للاتصالات. ويُستعمَل في هذا النمط من التشغيل نطاق جانبي وَحِيد (SSB) وشفرة مورس استعمالاً شبيهاً باستعمال التردد في الموجات الديكامترية (HF)، ولكن يُستعمَل فيه بصورة أكثر انتظاماً إشارات ضعيفة للغاية وإشارات خابية، وكثيراً ما تكون فيه نسب الإشارة إلى الضوضاء منخفضة حتى 0 dB، كما تُستعمَل بروتوكولات خاصة من أجل التقاط المعلومات من كل أشكال التعزيز السريع الزوال. وفي الوقت الحاضر تمكّن أساليب رقمية جديدة من التواصل بنسب إشارة إلى ضوضاء تحت عتبة السمع بمقدار 10-20 dB.

وهذه الخصائص الفريدة تجعل الاتصال بإشارة ضعيفة على الموجات المترية (VHF) حساساً غايةَ الحساسية لأي زيادة في سوية ضوضاء الخلفية. فدرجة الحماية المطلوبة مماثلة لما يتطلبه علم الفلك الراديوي، وإن تكن قليلةً نسبياً محطات الهواة الواقعة في مناطقَ نائيةٍ نأيَ مراصد علم الفلك الراديوي.

1.2.3 سويات ضوضاء الخلفية في النطاق 144-148 MHz

أثبتت التوصية ITU-R P 372-10 أن ضوضاء الخلفية أثناء البث بهذه الترددات، في المناطق "الريفية الهادئة"، تطغى عليها الضوضاء السماوية، ولا سيّما من الشمس التي تبدو مصدراً شبيه النقطة، ومن المَجرَّة (درب التبّانة) التي تبدو شبه حزام عريض من البث القويّ. ويُستفاد من التوصية ITU-R P.372 أن عامل الضوضاء المتوسط لضوضاء المَجَرّة يتراوح من قرابة 0 dB بالنسبة إلى *kTb* في تردد 144 MHz، إلى –9 dB في تردد 432 MHz. ويُستفاد من المعادلة (2) الواردة في التوصية ITU-R P.372 أن هذه السويّات تطابق شدة مجال مقاديرها –23,4 dB(μV/m) و–27,4 dB(μV/m) و–32,4 dB(μV/m) للنطاقات 144 و225 و432 MHz على التوالي.

2.2.3 خصائص محطات الهواة في النطاق 144-148 MHz

شدة مجال الضوضاء لهذا النطاق، طبقاً لما ورد في التوصية ITU-R P.372، هي –23,4 dB(μV/m).

ويقتضي انحطاط ضوضاء الخلفية بمقدار 0,5 dB ألاَّ تكون شدة مجال الضوضاء الصادرة عن أنظمة PLT أقوى من –34 dB(μV/m).

فإذا افترضنا أن الهوائي منصوب خارج المبنى، وأن له في جهة تركيبات PLT كسباً فعلياً قدره 2 dBi (كسب الفَصِّ الجانبي)، وأنه مفصول عن تركيبات PLT مسافة 10 m، ثم راعينا خسارة بسبب الجدار قدرها 16 dB وعرض نطاق مرجعي قدره 120 kHz، عندئذ يجب ألاَّ تتجاوز شدة المجال لنظام PLT أساسي أو لتوافقيّاته مقدار 6 dB(μV/m) في عرض نطاق قيمته 120 kHz على مسافة 3 m.

3.2.3 متطلبات الحماية لمحطات الهواة الراديوية في النطاق 220-225 MHz

تبلغ شدة مجال الضوضاء لهذا النطاق، طبقاً لما ورد في التوصية ITU-R P.372، مقدار –27,4 dB(μV/m).

ويقتضي انحطاط ضوضاء الخلفية بمقدار 0,5 dB ألاَّ تكون شدة مجال الضوضاء الصادرة عن تركيبات PLT أقوى من –38 dB(μV/m).

فإذا افترضنا أن الهوائي منصوب خارج المبنى، وأن له في جهة تركيبات PLT كسباً فعلياً قدره 2 dBi (كسب الفَصِّ الجانبي)، وأنه مفصول عن تركيبات PLT مسافة 10 m، ثم راعينا خسارة بسبب الجدار قدرها 20 dB وعرض نطاق مرجعي قدره 120 kHz، عندئذ يجب ألاَّ تتجاوز شدة المجال لنظام PLT أساسي أو لتوافقيّاته مقدار 6 dB(μV/m) في عرض نطاق قيمته 120 kHz على مسافة 3 m.

4.2.3 متطلبات الحماية لمحطات الهواة الراديوية في النطاق 420-450 MHz

تبلغ شدة مجال الضوضاء لهذا النطاق، طبقاً لما ورد في التوصية ITU-R P.372، مقدار –32,4 dB(μV/m).

ويقتضي انحطاط ضوضاء الخلفية بمقدار 0,5 dB ألاَّ تكون شدة مجال الضوضاء الصادرة عن تركيبات PLT أقوى من –43 dB(μV/m).

فإذا افترضنا أن الهوائي منصوب خارج المبنى، وأن له في جهة تركيبات PLT كسباً فعلياً قدره 1 dBi (كسب الفَصِّ الجانبي)، وأنه مفصول عن تركيبات PLT مسافة 10 m، ثم راعينا خسارة بسبب الجدار قدرها 24 dB وعرض نطاق مرجعي قدره 120 kHz، عندئذ يجب ألاَّ تتجاوز شدة المجال لنظام PLT أساسي أو لتوافقيّاته مقدار 6 dB(μV/m) في عرض نطاق قيمته 120 kHz على مسافة 3 m.

5.2.3 خدمات أخرى عاملة في البيئة المنزلية بمتطلّبات مماثلة

إزاء تزايد نسبة المسنّين من السكان كَثر الطلب على استعمال الراديو من أجل المراقبة الطبية في البيئة المنزلية، وقد رسَّخت التوصية ITU-R RS.1346 استخدام النطاق MHz 406-401 لأنظمة الاتصال الخاصة بالمغروسات الطبية (MICS)، على أساس ثانوي، بلا حماية، وبشرط عدم تسبيب تداخل. وتقتضي المعايير لتحقيق ذلك أن تُستعمَل عتبة "إصغاء قبل التكلم" (LBT)، تُحدَّد بتطبيق الصيغة $(-150\ \text{dBm} + 10\log B + G)$، حيث تعني B عرض نطاق النظام وG الكسب المتناحي للهوائي. وبما أنه يؤخذ عادة بنسبة إشارة إلى الضوضاء (SNR) قيمتها 11 dB على اعتبارها توفّر السوية المقبولة الممكن عندها كشف الإشارة بصورة موثوقة، وإذا كان عرض النطاق المعتمَد هو 120 kHz، تصير العتبة LBT للنظام MICS مساوية لمقدار 16,6 dB(μV/m): إذ إن شدة مجال الضوضاء لا يمكن أن تتجاوز قرابة 5,5 dB(μV/m) مَقيسَةً في مبرمج النظام MICS (أي التجهيز الذي يقيم وصلة الاتصال) مع مراعاة انحطاط في النسبة SNR قدره 3 dB. وفيما إذا تجاوزت ضوضاء التركيبات PLT قيمة 10 dB(μV/m)، يحصل تجاوز للعتبة LBT لأن كشف الإشارة لا يتم بسهولة مع نسبة SNR بهذا المقدار، فلا يمكن إجراء أي إرسال من أجل استجواب الجهاز المغروس. ومن ثَمّ لا يخفى أن سويّات الحماية المطلوبة لخدمة الهواة لا تختلف عن تلك المطلوبة لخدمات هامة أخرى من الراجح وجودها في البيئة المنزلية.

ومن الأجهزة القصيرة المدى (SRD) الأخرى، المستعملة في البيئة المنزلية، أجهزة الإنذار بحصول اقتحام، ومكاشيفُ النار، وأجهزة الإنذار الشخصية. وثمة معيارٌ واسعُ نطاق الاستعمال دولياً هو EN300-220. ويتطلّب هذا المعيار بالفعل أن تكون سوية الضوضاء بمقدار 9 dB(μV/m) عند تردد 400 MHz، مَقيسَةً على مسافة 3 m في نطاق 120 kHz. وتنطبق هذه السويات أيضاً على التوافقيّات، وعلى نواتج التشكيل البيني الناشئة عن تشغيل الأنظمة PLT المنخفضة التردد.

وجدير بالملاحظة أن هذه السويات تنطبق أيضاً على التوافقيّات وعلى نواتج التشكيل البيني لأجهزة PLT المنخفضة التردد.

وهكذا يتبين أن متطلّبات خدمة الهواة لا تختلف عن متطلبات أجهزة أخرى من المرجَّح وجودها في البيئة المنزلية.

3.3 الخدمة المتنقلة للطيران

تتأثر الخدمة المتنقلة للطيران بالغ التأثر بالتداخل التراكمي الصادر عن وفرة كثيفة من مصادر إشعاع الترددات الراديوية الموجودة على سطح الأرض، لأن المسير الراديوي يتبع بطبيعته خط البصر. وتتفاقم هذه الحالة حين تكون تلك الوفرة الكثيفة من مصادر الإشعاع تحت مسير الهبوط/الإقلاع من مطارٍ ما.

الجـــدول 8

قيمة البدء الأعظمية المقبولة للتداخل بالنسبة إلى أنظمة مشتغلة في خدمات الطيران
سوية الإشارة الواجب حمايتها في هوائي المستقبِل

النظام		نطاق التردد	موقع المستقبِل	السوية الدنيا للإشارة المطلوبة		النسبة المطلوبة بين الإشارتين المرغوبة وغير المرغوبة (الملاحظة 1)	عرض نطاق المستقبِل	هامش الأمان للطيران	حد التعدد التكنولوجي	قيمة البدء الأعظمية المقبولة للتداخل
				(µV/m)	(dBm)	(dB)	(kHz)	(dB)	(dB)	(dBm/Hz)
VHF Comms	kHz 25	MHz 137-117,975	محمول جواً	75	–82	20	16	6	20	–170
		MHz 137-117,975	أرضي	20	–93	20	16	6	20	–181
	kHz 8,33	MHz 137-117,975	محمول جواً	75	–82	20	5,6	6	20	–165
		MHz 137-117,975	أرضي	20	–93	20	5,6	6	20	–177
	VDL النمط 2 و3	MHz 137-117,975	محمول جواً	75	–82	20	8	6	20	–167
		MHz 137-117,975	أرضي	20	–93	20	16	6	20	–181
	VDL النمط 4	MHz 137-108	محمول جواً	75	–81	20	5,56	6	20	–165
		MHz 137-108	أرضي	20	–93	20	6	6	20	–177

الملاحظة 1 – القيمة المأخوذ بها هنا كقيمة بدئية هي نسبة داخلية للنظام بين الإشارتين المرغوبة وغير المرغوبة (D/U) أو هي نسبة التداخل إلى الضوضاء *(I/N)* في حالة رادار.

ويحتوي الملحق 2.A2 دراسة تعالج موضوع الخدمة المتنقلة للطيران وخدمة الملاحة الراديوية للطيران وأنظمة PLT في مدى التردد 30 إلى 380 MHz.

الجـــدول 9

قيمة البدء الأعظمية المقبولة للتداخل بالنسبة إلى أنظمة عاملة في خدمات الاستدلال الراديوي المحمولة جواً سوية الإشارة الواجب حمايتها في هوائي المستقبِل

النظام	نطاق التردد	موقع المستقبِل	السوية الدنيا للإشارة المرغوبة		النسبة المطلوبة بين الإشارتين المرغوبة وغير المرغوبة (الملاحظة 1)	عرض نطاق المستقبِل	هامش الأمان للطيران	حد التعدد التكنولوجي	قيمة البدء الأعظمية المقبولة للتداخل
			(µV/m)	(dBm)	(dB)	(kHz)	(dB)	(dB)	(dBm/Hz)
معيِّن موقع في نظام الهبوط بالأجهزة (ILS)	MHz 112-108	محمول جواً	40	86–	20	30	6	20	177–
مبيِّن مسير الانحدار في نظام الهبوط بالأجهزة (ILS)	MHz 335,4-328,6	محمول جواً	400	76–	20	42	6	20	168–
نظام الزيادة الأرضي القاعدة (GBAS)	MHz 117,975-108	محمول جواً	215	72–	26	14	6	20	165–
مَنَار راديوي بمَوْجَاتٍ مِتْرِيةٍ في جميع الاتجاهاتَ (VOR)	MHz 117,975-108	محمول جواً	90	79–	20	36	6	20	171–
ملاحة راديوية للطيران	MHz 225-200								
تحديد راديوي للمواقع	MHz 220-216								
ملاحة راديوية للطيران	MHz 460-420								
تحديد راديوي للمواقع	MHz 450-430								

الملاحظة 1 – القيمة المأخوذ بها هنا كقيمة بدئية هي نسبة داخلية للنظام بين الإشارتين المرغوبة وغير المرغوبة (D/U) أو هي نسبة التداخل إلى الضوضاء *(I/N)* في حالة رادار.

4.3 الخدمة المتنقلة البحرية

المستقبِلات البحرية للموجات المترية (VHF) في النطاق 154–174 MHz

تنص التوصية ITU-R M.489-2 على ما يلي:

- ينبغي للحساسية المرجعية أن تكون مساوية للقيمة 2,0 µV (e.m.f.) أو أقل منها، من أجل قيمة مرجعية معينة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء في خَرج المستقبِل؛
- ينبغي أن تساوي انتقائية القنوات المتجاورة 70 dB على الأقل؛
- ينبغي لنسبة رفض الاستجابة الهامشية أن تساوي 70 dB على الأقل؛
- ينبغي أن تساوي نسبة نبذ التشكيل البيني للتردد الراديوي 65 dB على الأقل؛
- ينبغي لقدرة أي إرسال هامشي، تقاس عند طرفي الهوائي، ألاَّ تتجاوز 2,0 nW لأي تردد منفصل. وقد تُفرض قيم أدنى، في بعض البيئات الراديوية.

النظام الأوتوماتي لتعرف الهوية (AIS) لمرسِلات السفن

تعمل مستقبِلات النظام الأوتوماتي لتعرف الهوية (AIS) بترددين هما 161,975 و162,025 MHz، عملاً على تحقيق مجموعة كبيرة من أَهداف السلامة والأمن في البحار وضعتها المنظمة البحرية الدولية (IMO)، ومنها إدارة حركة السفن على طول الممرات المائية المكتظّة، وتفادي التصادم، وتحسين استجابة مراكز البحث والإنقاذ (SAR) لنداءات الاستغاثة، وحماية البيئة البحرية من التلوث بالنفط، واستدامة بيئة مأمونة للسفن والمرافئ.

- السوية الدنيا لمواصفة حساسية المستقبِل في النظام AIS (مع مراعاة نسبة خطأ قدرها 20%) = –107 dBm؛
- تكون حساسية الاستقبال للمحطات القاعدية في النظام AIS عموماً بسوية –115 dBm أو أفضل.

5.3 خدمة الاستدلال الراديوي

تتأثر خدمات الاستدلال الراديوي المحمولة جواً بالغ التأثر بالتداخل التراكمي الصادر عن وفرة كثيفة من مصادر إشعاع الترددات الراديوية الموجودة على سطح الأرض، لأن المسير الراديوي يتبع بطبيعته خط البصر. وتتفاقم هذه الحالة حين تكون تلك الوفرة الكثيفة من مصادر الإشعاع تحت مسير الهبوط/الإقلاع من مطار ما.

6.3 الخدمة المتنقلة البرية

لا توجد معايير حماية عامة التطبيق تغطّي حالة التداخل الذي تسببه مصادرُ إشعاع غير مقصود مثل أنظمة PLT للخدمة المتنقلة البرية. ويحتاج الأمر إلى المزيد من الدراسة من أجل إقامة قاعدة لوضع متطلبات حماية تفي بها أنظمة PLT.

ولكن، على أي حال، لن تكون معايير الحماية من الإشعاعات الصادرة عن أنظمة PLT أقل صرامة من معايير الحماية التي وُضعت بخصوص دراسات التقاسم بين الخدمة المتنقلة البرية وغيرها من خدمات الاتصالات الراديوية الأولية والثانوية. ويمكن الوقوف على أمثلة من متطلبات الحماية التي وُضعت من أجل الخدمة المتنقلة البرية العاملة في مدى التردد المعني هنا وهو 80-470 MHz في التوصيتين التاليتين:

- التوصية ITU-R M.1808 – الخصائص التقنية والتشغيلية للأنظمة المتنقلة البرية التقليدية ومتعددة القنوات العاملة في توزيعات الخدمة المتنقلة دون 869 MHz لكي تُستخدم في دراسات التقاسم. تحتوي هذه التوصية اعتبارات بخصوص معايير التداخل ومعايير الأداء (في الفقرتين 1.2 و2.2 من الملحق 1)، ومجموعة كاملة من الخصائص التقنية بشأن النطاقَين 138-174 MHz و406,1-470 MHz؛

- التوصية ITU-R M.1824 – خصائص نظام البث التلفزيوني الخارجي، وتجميع الأخبار إلكترونياً، والإنتاج الميداني الإلكتروني في الخدمة المتنقلة لاستعمالها في دراسات التقاسم. تقدّم هذه التوصية خصائص نظام البث التلفزيوني الخارجي (TVOB) وتجميع الأخبار إلكترونياً (ENG) والإنتاج الميداني الإلكتروني (EFP) في الخدمة المتنقلة. وعلى وجه الخصوص، يعرض الجدولان 2 و3 الخصائص التقنية لأنظمة الاتصال الداخلي/الأجهزة اللاسلكية المحمولة ولأنظمة أنظمة الوصلات الصوتية على التوالي، وبعضها مندرج في إطار مدى التردد 80-470 MHz.

وإضافة إلى ذلك يحدد القرار (WRC-03) 646 أجزاء من النطاق 380-470 MHz يمكن استعمالها لأغراض حماية الجمهور والإغاثة في حالات الكوارث.

وتشتمل أنظمة الاتصالات الراديوية، العاملة بترددات فوق 470 MHz في الخدمة المتنقلة البرية، على أنظمة خلوية وأنظمة اتصالات متنقلة دولية (IMT). وفي بعض البلدان وُضِعت في الاستعمال أنظمة خلوية تعمل بترددات أقل من 470 MHz. وفي صدد الأنظمة الخلوية، ثمة معلومات عن متطلبات الحماية في التوصية ITU-R M.1823 – الخصائص التقنية والتشغيلية للأنظمة الخلوية الرقمية المتنقلة البرية لاستعمالها في دراسات التقاسم.

7.3 خدمة علم الفلك الراديوي

لخدمة علم الفلك الراديوي (RAS) توزيعات ترددات في ثلاثة نطاقات واقعة بين 80 و470 MHz على أساس أولي (كما هو مبيّن في الجدول 10)، وتنطبق عليها الحاشية المتعلقة بالرقم 149.5 من لوائح الراديو. ويُستعمل النطاقان 150 و410 MHz للرصد المتواصل فقط (أي بأسلوب القدرة الكلية)، ويُستعمَل النطاق 327 MHz بأسلوب الرصد المتواصل وأسلوب الخط الطيفي. وتَذكُر التوصية ITU-R RA.769 سويات عتبة التداخل الضارة بخدمة علم الفلك الراديوي، كما يذكر التقرير ITU-R RA.2131 قيم المجال الكهربائي المكافئة لها. ويعرض الجدول 10 أيضاً تلك القيم العتبية.

الجـــدول 10

عتبات تداخل المجال الكهربائي المكافئة بخصوص خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

نطاق الخدمة RAS (MHz)	عتبة كثافة تدفق القدرة $dB(W/m^2)$	عتبة كثافةُ تدفُّقِ القدرةِ الطيفيةَ $dB(W/m^2/Hz)$	عتبة المجال الكهربائي $dB(\mu V/m)$
153-150,05	–194 في 2,95 MHz	–259	–48,2 في 2,95 MHz
328,6-322	–189 في 6,6 MHz في أسلوب الرصد المتواصل 204 في 10 kHz في أسلوب الخط الطيفي	–258 في أسلوب الرصد المتواصل –244 في أسلوب الخط الطيفي	–43,2 في 6,6 MHz في أسلوب الرصد المتواصل –58,2 في 10 kHz في أسلوب الخط الطيفي
410-406,1	–189 في 3,9 MHz	–255	–43,2 في 3,9 MHz

8.3 الخدمة المتنقلة الساتلية

يأتي أدناه عرض مفصَّل للمواضيع التالية: نطاقات التردد تحت 470 MHz الموزعة على الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)، ومعيار الحماية، ومَعْلَمات النظام.

1.8.3 نطاقات التردد

هنالك تحت 470 MHz عدد من النطاقات الموزعة على الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS):

- النطاق 137-138 MHz موزع على الخدمة MSS للاتجاه من الفضاء إلى الأرض؛
- النطاق 148-150,05 MHz موزع على الخدمة MSS للاتجاه من الأرض إلى الفضاء؛

- النطاقان MHz 161,9875–161,9625 وMHz 162,0375–162,0125 موزعان على الخدمة MSS للاتجاه من الأرض إلى الفضاء (انظر الرقم 227A.5 من لوائح الراديو)؛
- النطاق MHz 322-235 موزع على الخدمة MSS (انظر الرقم 254.5 من لوائح الراديو)؛
- النطاق MHz 315-312 موزع على الخدمة MSS للاتجاه من الأرض إلى الفضاء؛
- النطاق MHz 399,9-335,4 موزع على الخدمة MSS (انظر الرقم 254.5 من لوائح الراديو)؛
- النطاق MHz 390-387 موزع على الخدمة MSS للاتجاه من الفضاء إلى الأرض؛
- النطاق MHz 400,05-399,9 موزع على الخدمة MSS للاتجاه من الأرض إلى الفضاء؛
- النطاق MHz 401-400,15 موزع على الخدمة MSS للاتجاه من الفضاء إلى الأرض؛
- النطاق MHz 406,1-406 موزع على الخدمة MSS للاتجاه من الأرض إلى الفضاء، ومقصور على منار راديوي منخفض القدرة للتحديد الساتلي لمواقع الطوارئ (انظر الرقم 266.5 من لوائح الراديو). ويحظر أيّ بث من شأنه تسبيب تداخل يضرّ بالاستعمالات المرخَّص بها للنطاق MHz 406,1-406 (انظر الرقم 267.5 من لوائح الراديو).

2.8.3 معيار الحماية

تضمن الممارسة الجيدة في هندسة الطيف استبقاء الإشعاع الصادر عن أجهزة PLT في أدنى السويات الممكن تحقيقها تقنياً. وعليه، فإن معيار $\Delta T/T$ بنسبة 1% بخصوص الإشعاع الذي تنتجه أجهزة PLT هو سوية يُسمَح بها للتداخل في مستقبِلات الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) (سواء المحمول منها في الفضاء أو المحمول جوّاً أو الأرضي). ويُعتبَر هذا المعيار مَناسباً على غرار ما ورد بخصوص الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) حيث توصي التوصية ITU-R S.1432-1 باعتماد هذه القيمة بخصوص مصادر للتداخل خلاف التداخل في الخدمة FSS أو في الخدمات على أساس أولي مشترك.

3.8.3 معلمات النظام

يمكن الاطّلاع على تفصيل معلمات النظام الخاصة بأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)، التي تعمل في نطاقات التردد MHz 138-137 وMHz 150,05-148 وMHz 400,05-399,9 وMHz 401-400,15، في الملحق 2 للتوصية ITU-R M.1184-2 – خصائص تقنية لأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية العاملة في نطاقات تردد دون GHz 3، مفيدة في إعداد معايير للتقاسم بين الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) وخدمات أخرى. وتيسيراً لاستعمال هذه المعايير، اختُصِرت في الجدولين 11 و12 التاليين معلمات النظام المناسبة المطلوبة لضمان حماية مستقبِلات الخدمة MSS من إشعاعات أنظمة PLT.

الجـــدول 11

خصائص مستقبِلات المحطات الأرضية المتنقلة العاملة في النطاق MHz 138-137

كسب هوائي محطة استقبال أرضية متنقلة (dBi)	5,7	0,5	3–	3
مخطط إشعاع الهوائي في محطة استقبال أرضية متنقلة	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات
حرارة الضوضاء (K) في محطة استقبال أرضية متنقلة	4 467	813	66	1 565
نطاق استعمال محطة استقبال أرضية متنقلة	نطاق العالم	نطاق العالم	نطاق العالم	نطاق العالم
استقطاب محطة استقبال أرضية متنقلة	دائري مُيامن	دائري مُيامن	دائري مُياسِر	دائري مُيامن

الجـــدول 12

خصائص المستقبِلات الساتلية للخدمة MSS العاملة في النطاق MHz 150,05-148

ارتفاع المستقبِل الساتلي (بالكيلومتر)	950	775	800	893	1 000
كسب هوائي المستقبِل الساتلي (dBi)	2–	0	0	5,6	6
مخطط إشعاع هوائي المستقبِل الساتلي	متساوي الدفق	حلقيّ	10 log (cos 2 θ)	10 log (cos 2 θ)	متساوي الدفق
حرارة الضوضاء في المستقبِل الساتلي (K)	309	400	1 000	1 480	940
استقطاب المستقبِل	خطي	خطي	دائري مُيامن	دائري مُيامن	خطي

فيما يخص التوزيعات على الخدمة المتنقلة الساتلية فوق MHz 200، يلزم أن تراقَب بعناية تأثيرات تجميع معيّنة من إشعاعات أنظمة PLT في النطاق MHz 406,1-406. إذ إن هذا هو التردد الذي تستعمله سواتل عمليات البحث والإنقاذ، فتنطبق عليه من ثَمّ أحكام الفقرتين 266.5 و267.5 من لوائح الراديو.

الجـــدول 13

خصائص المستقبِلات الساتلية للخدمة MSS العاملة في النطاق MHz 400,05-399,9

ارتفاع المستقبِل الساتلي	km 667
كسب هوائي المستقبِل الساتلي	dBi 7
مخطط إشعاع هوائي المستقبِل الساتلي	قلبيّ الشكل
حرارة الضوضاء في المستقبِل الساتلي	K 389
استقطاب المستقبِل	دائري مُيامن

الجـــدول 14

خصائص مستقبِلات المحطات الأرضية المتنقلة في النطاق MHz 401-400,15

كسب هوائي محطة استقبال أرضية متنقلة (dBi)	5,7	3	3	7
مخطط إشعاع الهوائي في محطة استقبال أرضية متنقلة	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات
حرارة الضوضاء في محطة استقبال أرضية متنقلة (K)	4 467	229	505	550
نطاق استعمال محطة استقبال أرضية متنقلة	على نطاق العالم	على نطاق العالم	على نطاق العالم	على نطاق العالم
استقطاب محطة استقبال أرضية متنقلة	دائري مُيامن	دائري مُيامن	دائري مُيامن	دائري مُياسِر

بخصوص التوزيع على الخدمة MSS في النطاق 454-456 MHz، اقتُطِفت الخصائص التالية من قاعدة بيانات الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) وهي مطابقة للأنظمة الموجودة العاملة في هذا النطاق:

- ارتفاع الساتل المستقبِل: 650 km؛
- كسب هوائي الساتل المستقبِل: 0 dBi؛
- مخطط إشعاع هوائي الساتل المستقبِل: شامل الاتجاهات؛
- حرارة ضوضاء الساتل المستقبِل: 590 K؛
- استقطاب الساتل المستقبِل: دائري مُياسِر.

لا توجد معلومات خاصة بالنطاق 459-460 MHz، ولكن يُرتأى أن الخصائص المذكورة في حالة النطاق 454-456 MHz تصلح أيضاً في حالة النطاق 459-460 MHz.

4.8.3 الحالة الخاصة بالنطاق 406-406,1 MHz

هذا النطاق موزع على الخدمة MSS للاتجاه من الأرض إلى الفضاء، ومقصور على منارات راديوية منخفضة القدرة للتحديد الساتلي لمواقع الطوارئ (انظر الرقم 266.5 من لوائح الراديو). ويحظر أيّ بث من شأنه تسبيب تداخل يضرّ بالاستعمالات المرخَّص بها للنطاق 406-406,1 MHz (انظر الرقم 267.5 من لوائح الراديو). ويجدر بالذكر استعماله في نظام البحث والإنقاذ المعتمد على الساتل العالمي التابع لشبكة Cospas-Sarsat. وكل المعلومات عن الأنظمة الساتلية المستعمِلة لهذا النطاق تحتويها التوصية ITU-R M.1478 – معايير الحماية لأدوات البحث والإنقاذ المعتمدة على ساتل Cospas-Sarsat العاملة في النطاق 406-406,1 MHz. ولا بد من التأكيد على هذه الحاجة الخاصة إلى ضمان بيئة خالية من التداخل لهذه الأنظمة لأنها تؤدي خدمة من أجل السلامة.

9.3 خدمة الملاحة الراديوية الساتلية

يأتي في الفقرات التالية بيان نطاقات التردد دون 470 MHz الموزَّعة على خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) وكذلك بيان معيار الحماية ومعْلَمات النظام.

1.9.3 نطاقات التردد

بالنسبة للنطاقات دون 470 MHz، هنالك نطاقان موزَّعان على خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) وهما:

- النطاق 149,9-150,05 MHz موزَّع على الخدمة RNSS؛
- النطاق 399,9-400,05 MHz موزَّع على الخدمة RNSS.

2.9.3 معيار الحماية

تضمن الممارسة الجيدة في هندسة الطيف استبقاء الإشعاعات الصادرة عن أجهزة PLT في أدنى السويات الممكن تحقيقها تقنياً. وعليه، يُعتبَر أن معيار $\Delta T/T$ بنسبة 1% بخصوص الإشعاع الذي تنتجه أجهزة PLT هو سوية يُسمَح بها للتداخل في مستقبِلات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) (سواء المحمول منها في الفضاء أو المحمول جوّاً أو الأرضي). ويُعتبَر هذا المعيار مناسباً على غرار ما ورد بخصوص الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) حيث توصي التوصية ITU-R S.1432-1 باعتماد هذه القيمة بخصوص مصادر للتداخل غير المسببة للتداخل في الخدمة FSS أو في الخدمات على أساس أولي مشترك.

3.9.3 مَعلمات النظام

بخصوص التوزيع على الخدمة RNSS في النطاق MHz 150,05-149,9، اقتُطِفت الخصائص التالية من قاعدة بيانات الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) وهي موافقة للأنظمة الموجودة العاملة في هذا النطاق:

- كسب هوائي المحطة الأرضية المستقبِلة في الخدمة RNSS: 0 dBi؛
- مخطط إشعاع هوائي المحطة الأرضية المستقبِلة في الخدمة RNSS: شامل الاتجاهات؛
- حرارة ضوضاء المحطة الأرضية المستقبِلة في الخدمة RNSS: 200 K؛
- نطاق استعمال المحطات الأرضية المستقبِلة في الخدمة RNSS: على نطاق العالم.

بخصوص التوزيع على الخدمة RNSS في النطاق MHz 400,05-399,9، اقتُطِفت الخصائص التالية من قاعدة بيانات الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) وهي مطابقة للأنظمة الموجودة العاملة في هذا النطاق:

- كسب هوائي المحطة الأرضية المستقبِلة في الخدمة RNSS: 0 dBi؛
- مخطط إشعاع هوائي المحطة الأرضية المستقبِلة في الخدمة RNSS: شامل الاتجاهات؛
- حرارة ضوضاء المحطة الأرضية المستقبِلة في الخدمة RNSS: 200 K؛
- نطاق استعمال المحطات الأرضية المستقبِلة في الخدمة RNSS: على نطاق العالم.

10.3 أنظمة/تطبيقات أخرى للاتصالات الراديوية

يتناول هذا القسم أنظمة/تطبيقات أخرى للاتصالات الراديوية لا يمكن أن تُنسَب مباشرة إلى خدمة معيّنة في الاتصالات الراديوية. ولذا يُحتمَل أن تُدرَج في صيغة معدَّلة لهذا التقرير، تصدر في المستقبَل عن قطاع الاتصالات الراديوية، فقرات عن أنظمة/تطبيقات أخرى، إلى جانب القسم الفرعي التالي المتعلق بأنظمة الاتصال اللاسلكية الخاصة بالمغروسات الطبية.

1.10.3 أنظمة الاتصال اللاسلكية الخاصة بالمغروسات الطبية

تعمل أنظمة الاتصال اللاسلكية الخاصة بالمغروسات الطبية ضمن النطاق MHz 406-401، وتُستعمَل لتطبيقات مثل مراقبة وبرمجة المغروسات الطبية، مثل منظم ضربات القلب كالناظمة القلبية والمنبهات العصبية وما شابه. ثم إنه، مع تزايد عدد المسنّين بين السكان، يتزايد تعقيد الطلب على خدمات الرعاية الصحية وتزداد تكاليفها، ومن ثَمّ تزداد أيضاً الاحتياجات إلى المراقبة الإلكترونية.

وبما أن هذا النطاق المستعمَل للمغروسات الطبية النَشِطة العاملة بقدرة فائقة الانخفاض (ULP-AMI) تتقاسمه على أساس أولي خدمات في الاتصالات الراديوية، تُستخدم له آلية نفاذ شاملة إلى القناة. ويُستعمَل من أجل المراقبة المنزلية مِرقاب (من نمط ULP-AMI-P) حيث تساوي عتبة الإصغاء قبل التكلم (LBT) شدةَ مجال قيمتُها +16 dB(μV/m) مقرونة بكسب هوائي قيمته 0 dBi. وتتغذى هذه المراقيب من الشبكة الكهربائية وتوضَع عادةً قريباً جداً من أجهزة أخرى موصولة بالشبكة الكهربائية، كالساعات والمصابيح بجوار السرير والأغطية الكهربائية، وما إلى ذلك. وبالطبع تنبعث من هذه الموصلات إشارات PLT. وحرصاً على تشغيل المراقيب المذكورة، فإن سوية الضوضاء الناجمة عن أنظمة PLT التي تُصنَع في المستقبَل لتعمل في نطاقات تردد قد تبلغ أو تتجاوز MHz 470، يجب ألاّ تزيد في النطاق MHz 406-401، عن +16 dB(μV/m) مَقيسَةً في عرض نطاق قدره kHz 300، أو أن تَقرُب من +12 dB(μV/m) مَقيسَةً في عرض نطاق قدره kHz 120.

4 الوسائل المحتملة لمنع التداخل أو إزالته

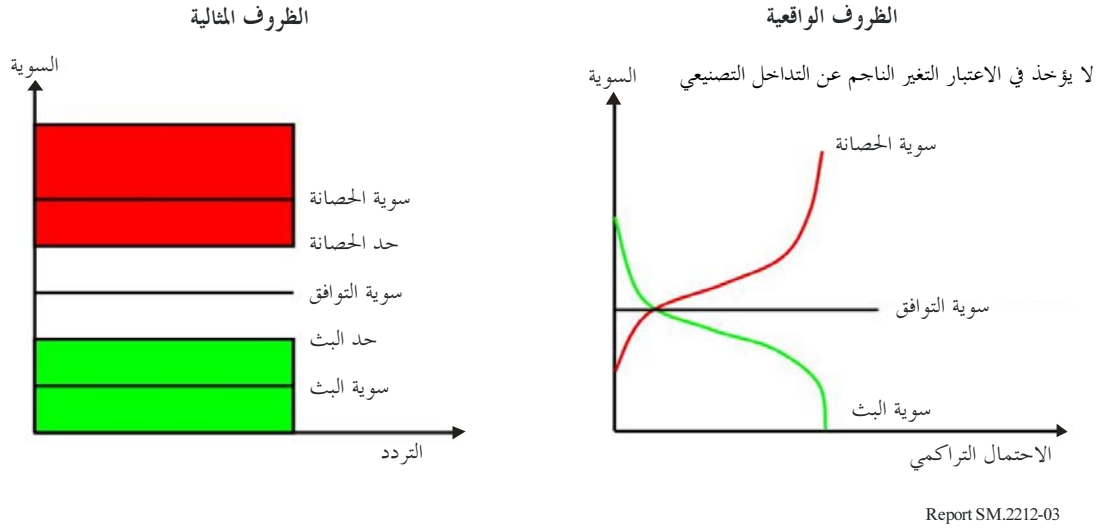
1.4 تدابير تكييف التوافق الكهرمغنطيسي (EMC)

يقتضي التوافق الكهرمغنطيسي (EMC)، بمفهومه الكلاسيكي، بثاً ثابتاً وحدود حصانة من إشارات التردد العالي. فمدى تشغيل جميع الأجهزة يحكمه ما تتصف به من حد للبث وعتبة حصانة ذاتية. والأجهزة التي تعمل ضمن هذا المدى لا تُحدِث أي تداخل في بيئتها المحيطة. لكن هذا المفهوم الكلاسيكي لضمان التوافق الكهرمغنطيسي، كما هو مبيَّن في الجانب الأيسر من الشكل 3، فيه عيب وهو أن بعض الموارد تُترَك بدون استعمال. زد على ذلك أن الأجهزة قد تحتاج إلى تدريع مُكلِف، حتى لو لم توجد إشارات تسبب شيئاً من التداخل. فجميع الترددات محجوبة بتدريع الجهاز، بصرف النظر عن مكان تشغيل الجهاز وزمانه. وباختصار، قد لا تسمح هذه الطريقة باستعمال الموارد كامل الاستعمال.

وفي بعض الحالات، يَحْدُث اضطراب في استقبال إشارة من مرسل منخفض القدرة، على الرغم من كون الأجهزة المحيطة تفي بمعايير التوافق الكهرمغنطيسي. هذه هي، للأسف، الظروف الحقيقية المبيَّنة على الجانب الأيمن من الشكل 3. وهذا الأمر غير مُرضٍ لا من الناحية الاقتصادية ولا من الناحية التقنية. ففي هذه الحالة، كان ينبغي اختيار حدود أدق.

الشـــكل 3

اعتبارات في التوافق الكهرمغنطيسي، بظروفها المثالية والواقعية



بما أن الأنظمة الراديوية (مثل أنظمة الاتصال المتنقلة البرية، والتلفزيون، والراديو التماثلي، والراديو الرقمي) تستقبل مقداراً كبيراً من اتساعات الإشارات، فأجهزتها هي، على العموم، الأشد حساسية في البيئة المنزلية وبيئة العمل المكتبي. ولذا فإن حماية الإشارة الراديوية تطغى على عملية التوافق الكهرمغنطيسي في مناطق إشارات التردد العالي. وقد ظل هذا التوافق يتحقق طيلة عقود بمجرد تعيين حدود للانبعاثات الكهرمغنطيسية التي يُنتجها الجهاز. وكانت هذه الطريقة فيما مضى كافية. إذ إن مصادر التداخل الكلاسيكية، كالآلات المحكومة بمبدِّل أو إمدادات الكهرباء المحكومة بقاطع واصل، تُنتج أحياناً انبعاثات في نطاق تردد عريض. ولم يكن بالإمكان معالجة الحالة بطريقة كبت انتقائية ومرنة معاً. ولذا كان الكبت مصمماً بتعيين حد أقصى للانبعاث الكهرمغنطيسي قيمته أقل من الحد الموضوع ببضع وحدات dB. ويتزايد الإقبال من جانب أخصائيي الاتصالات الراديوية على النظر في الحدود المعمول بها، لأنها صُمّمت في ظل بعض الظروف المتعلقة بمكان مصادر التداخل وزمانها واحتمال تكررها. أما اليوم فإن عدداً من مصادر التداخل الحديثة أكبر من ذي قبل يُنتِج انبعاثات مستمرة في نطاق تردد واسع، بدون أن يكون هنالك توزيع مناظر في لوائح الراديو، بحيث قد لا تكون الشروط المسبقة الأصلية صالحة بالضرورة.

ومن شأن أنظمة الاتصالات السلكية الحديثة، المعتمدة على تكنولوجيا تعدُّد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) (مثل خط رقمي لا تناظري للمشترك (ADSL) وخط رقمي عالي السرعة جداً للمشترك (VDSL) وأنظمة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية (PLT))، أن تدمج التدابير التكييفية للتوافق الكهرمغنطيسي في تصميمها. وهكذا تستطيع التحكم في انبعاثاتها الإشعاعية غير المرغوب فيها بمرونة كبيرة. وتستطيع التكنولوجيات الراديوية المعرفية أيضاً تكييف انبعاثاتها الطيفية وفقاً لمحيطها الفعلي.

مثال ذلك أن مودمات الاتصال عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية (PLT)، طبقاً لتوصيفها في الوثيقة ETSI TS 102578، تأخذ بالطريقة التكييفية. وخلافاً لمودمات PLT التقليدية التي تسبب تداخلات في الخدمات الراديوية، لا تسبب المودمات التي تأخذ بمفهوم "التثليم الذكيّ" تشويشاً على المستقبِلات الراديوية.

ثم إن مدى ترددات إرسالات مودم PLT يتراكب مع مدى ترددات الإذاعة الراديوية. وخطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية المستعملة في المنازل ليست مُدرّعة، بل هي مصنوعة بقدر ما من اللاتناظر. فإذا شُغِّل مستقبِل راديوي في جوار مكان ناشطٍ فيه خطُ اتصال PLT، يُحتمَل أن تتأثر سلباً جودة الاستقبال الراديوي. ومن شأن إقامة أنظمة اتصالات ضمن مدى تردد بعينه مع اقتران المسارات فيما بينها – ما يعمل بالإيصال وما يعمل بالإشعاع – أن يجعل حالات التداخل أمراً حتمياً.

وتستقبل الكبلات الكهربائية المركّبة في مبنىً ما إشارات من خدمات الإذاعة الراديوية، وذلك بفضل خواص الهوائي المستعمَل في شبكة التوزيع المنخفضة التوتر. فمودمات PLT المجهَّزة "بتثليم ذكيّ" (طبقاً لما جاء في الوثيقة ETSI TS 102 578) تكشف وجود هذه الخدمات الراديوية بأن تقيس طيف الإشارة على شبكة خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية. ثم تحلل هذه المودمات الطيف، فتستبعد الترددات الممكن أن تستقبلها أجهزة راديوية عاملة بالموجة القصيرة (SW). وتُسمّى هذه العملية "التثليم". وبفضل الإرسال التكييفي OFDM على عدد كبير من الموجات الحاملة، لا يسبب "التثليم الذكيّ" سوى انخفاض طفيف في معدّل بتات الإرسال، على اعتبار أن الخسارة مقصورة على الموجات الحاملة التي تنخفض فيها نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR). واستمرار التحليل المذكور يمكِّن النظام من تقليل التداخل إلى أدنى سوية، ومن استمثال الصبيب، تبعاً للظروف القائمة.

ويتحقَّق التوافق الكهرمغنطيسي في هذه الأنظمة التكييفية بطريقة مختلفة: فبدلاً من وضع قيود جامدة، تستطيع الأجهزة العاملة بأسلوب"التثليم الذكيّ" الامتثال للتوافق الكهرمغنطيسي وتحسينه. وبحسب تعريف مفردات اللغة الكهرتقنية الدولية (IEV)، يكون المنتج متوافقاً من حيث الكهرمغنطيسية إذا عمل بصورة مُرضية في بيئته الكهرمغنطيسية بدون إدخال اضطرابات كهرمغنطيسية غير مقبولة في أي شيء آخر.

2.4 التثليم الدائم

تم بوجه عام قبول التثليم الدائم بخصوص نطاقات خدمة الهواة.

والنطاق FM بالغ الأهمية عند المستمعين، باعتباره الوسيلة الأولية للاستماع إلى الإذاعة الراديوية، بحيث يُجنّب أي خطر تداخل من أي نظام اتصال عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية. ومن ثَمّ يكون الخيار المفضَّل هو بوضوح أن تُجعَل ذروة مدى التردد لأنظمة PLT عند 80 MHz، كما سبق أن نصحت به لجنة الدراسات 15 في قطاع تقييس الاتصالات. وإلاَّ فيجب الأخذ بخيار التثليم الدائم لكامل النطاق من 87,5 إلى 108 MHz.

وفيما يخص الإذاعة السمعية الرقمية (DAB)، حيث تكون شِددُ المجال التي تصادَف عادة أخفض من سوية استقبال FM، تزداد الشكوك بخصوص موثوقية كشف إشارات الإذاعة DAB من التداخلات على طول أسلاك الإمداد بالطاقة الكهربائية، ومن ثم بخصوص موثوقية حماية الخدمات. وعليه، يُوصى بالتثليم الدائم في صدد نطاقات الإذاعة السمعية الرقمية.

3.4 التثليم الدينامي

لقد اقتُرِح معيار التثليم الدينامي، المعيار ETSI TS 102578 (بشأن الإذاعة على موجات ديكامترية (HF))، نموذجاً يُستعمَل للبث بترددات أعلى من 30 MHz، واقتُرح معه بعض التغييرات/التمديدات. إلاَّ أن هذا المعيار تم وضعه بإشراف وتعاون وثيقَيْن مع الهيئات المذيعة على الموجات الديكامترية (HF)، وقُبِلَ فقط كتسوية لحل مشكلات معيّنة تعترض تعايش الإذاعة على هذه الموجات مع الأنظمة PLT. ويلاحظ أيضاً أنه لم يكنَ ممكناً قبول هذا المعيار إلاَّ بعد إقامة الدليل على هذه التقنية بواسطة التشغيل، وإن بشكل محدود تماماً، إذ لم يتيسّر للاختبار سوى نموذج أول لنظام واحد.

وليس من الواضح مطلقاً أن يكون من الميسور تطبيق هذه التقنية على الإذاعة على الموجات المترية (VHF)؛ إذ هنالك كثير من أوجه الاختلاف يلي ذكرها:

- يُستعمل نطاق FM للخدمات المنزلية، الشكل الشائع من الإذاعة الراديوية التي يُستمَع إليها في أغلبية البيوت، ولفترات طويلة؛
- توقّعات المستمعين من حيث الجودة هي في هذه الحالة أكبر بكثير – إذ إن الإذاعة بتشكيل التردد (FM) تحقق بسهولة جودة استقبال أفضل بكثير جداً من استقبال الإذاعة على الموجات القصيرة بتشكيل اتساعي (AM)، وقريبة جداً من الجودة السمعية التي يتّصف بها القرص CD، وذلك في بيئة منزلية عادية – ولذا لن يتسامح المستمعون جداً بأي عيوب تشوب جودة الاستقبال؛
- تختلف الإذاعة FM اختلافاً كبيراً من الناحية التقنية عن الإذاعة AM؛
- طول موجة إشارة النطاق FM قريب أو أقصر من الأطوال المألوفة في شبكة أسلاك الإمداد بالكهرباء (خلافاً لحالة الإذاعة على الموجات الديكامترية HF)، مما يزيد من كفاءة إشعاع التداخل من أنظمة PLT في البيئة.

وليس من الواضح مطلقاً أن طريقة التثليم الدينامي يمكن أن تنجح بالضرورة، لا سيما من حيث استشعار وافٍ وموثوق لوجود إذاعات تحتاج إلى حماية بالتثليم. ويلاحظ أنه كثيراً ما يمكن في البيئة الحضرية استقبالُ نحو 30 من إرسالات FM. ولكن يتعيّن عندئذ، عملياً، تثليم كامل النطاق، نظراً لأن المفترض في عرض الثلم ألا يقل عن 800 kHz.

ومن ثَمّ ليس من المؤكد ما إذا كان ذلك يستحق العناء المبذول، في ضوء العائد المحتمل في قدرة النظام PLT. وفي كثير من البلدان الأوروبية (بل في أغلبها) يُستعمَل نطاق FM بكثافة شديدة، ويتعين على هيئات التنظيم معالجة الطلب المستمر على مزيد من الترددات لمزيد من الخدمات الإذاعية بتشكيل التردد (FM). وقد ازدحمت فعلاً ترددات محطات FM في حدود ما هو مقبول، وهي لا تُصمَّم على أساس تجنب التداخل في نفس القناة فحسب بل تصمّم أيضاً على أساس مراعاة استعمال القناة المجاورة ضمن حدود ±400 kHz.

ومسألة عرض الثلم بالغة الأهمية، فقد ارتُئيَ أن عرض ثلم بمقدار 200 kHz يكون مُرضياً. لكن المسوِّغ المنطقي لهذا الرأي يبدو مغلوطاً لأنه يستند إلى تطبيق قاعدة Carson على بث FM غير مجسَّم بحيث ينتج عنه العرض المقترح بمقدار 200 kHz. ومع ذلك فهو مناسب من حيث إنه يشير إلى مكان هبوط غالبية الطاقة المرسَلة (في حالة الإذاعة غير المجسَّمة)، ومن ثم إلى المقدار الأدنى لعرض نطاق مستقبِل يمرر غالبية الإشارة (وبالتالي يعطي مقادير من التشوّه محدودة بصورة معقولة بسبب تشذيب الطيف). لكن هذا الطرح يُغفِل أنَ الإذاعات FM جميعها تقريباً تبث بصوت مجسَّم، مع قدر إضافي من تشوير نظام البيانات الراديوية (RDS)، حيث تتجاوز ترددات النطاق الأساسي 15 kHz بكثير، وهي في الواقع أقرب إلى 60 kHz. وعليه، من الضروري جداً أن يمتد ثلم نظام PLT إلى أبعد من عرض القناة الفعلية FM، تماثلية كانت أم رقمية، وأن يشمل القنوات المجاورة.

وما هو أهم من ذلك أن الطرح المذكور يتجاهل العامل الأساسي وهو قابلية المستقبِلات للتداخل، والتي تتوقف إلى حد كبير على تفاصيل تصميم المستقبِل – حيث التصاميم الواجب أن تؤخَذ في الحسبان هي ملايين المستقبِلات العاملة حالياً في خدمة المستمعين داخل بيوتهم. فلا شيء غير الاختبار يمكّن من إقرار الخصائص الضرورية للثلم، ولا سيما عرضه بكامل العمق، وشكل الجانبين الذي لا يقل أهمية عن العرض، اختبار يُجرى على مجموعة واسعة مختارة من المستقبِلات (وهو بالفعل نوع من قياس نسبة الحماية في حالات مختلفة من تخالف الترددات). ويجدر بالذكر هنا أن كلاهما روعيَ في تصميم

المستقبلات HF في المعيار TS 102578. ومن جهة أخرى يستلزم امتداد الثلم من مجموعة موجات حاملة فرعية PLT ملاصقة (أي غَير مثلَّمة)، واقعة على أحد جانبي موجة حاملة مكتشَفة تابعة لمحطة FM، إلى المجموعة الثانية من الموجات الحاملة الفرعية PLT الملاصقة الواقعة على الجانب الآخر، مقدار 400 kHz على الجانب الأول و400 kHz على الجانب الثاني. وهكذا يستلزم الثلم في الموجات الحاملة الفرعية PLT بكامل العمق عرضاً مقداره 800 kHz أي ±400 kHz انطلاقاً من كل موجة حاملة FM مكتشَفة على كلا الجانبين، مع جوانب منحدرة إضافية. ومن ذلك يُستنتَج أن الأمر يؤول بالتأكيد، في كثير من المواقع الحضرية، إلى تثليم النطاق بكامله على أي حال.

وإذا أريدَ تطبيق التثليم الديناميِ من أجل حماية خدمات الاتصالات الراديوية، خلاف الخدمات الإذاعية، يجب الاعتراف بأن التقنية لا تكون مُجدية إلاَّ إذا أُجري الاستشعار في موقع حدوث التداخل الضار. فإذا كان يُتوقَّع أن يحصل الاستقبال خارج المباني، فلا فائدة من استشعار الإشارات داخل المباني، لأن النتائج لن تكون تعبيراً عن التداخل التراكمي الممكن استقباله في بيئة التشغيل. وإضافة إلى ذلك، إذا كان من الممكن داخل المباني استقبال الإشارات المقصود استقبالها خارج المباني، فهذا يعني أن شبكة الأسلاك الناقلة للكهرباء تؤدي دور هوائي فعال، وبالتالي فإن من شأنها الإسهام في زيادة سويات التداخل خارج المبنى.

4.4 التثليم المقترن بالموقع الجغرافي

تتطلب هذه التقنية وجود قاعدة بيانات للخدمات تعتبر الإدارة الوطنية أنها محمية ويمكن استقبالها في أي موقع معين. ومن قَبيل التبسيط، يمكن أن يكون استعمال هذه التقنية بناء على منطقة الامتياز لهيئات إذاعة تجارية أو على منطقة خدمة مرتقبة في حالات أخرى. لكن التغطية الفعلية تتجاوز عادة منطقة الامتياز أو منطقة الخدمة، فتجد الإدارة الوطنية نفسها في مأزق يتمثل في تقييد خيار المستمعين لصالح استعمال أنظمة PLT. إذ من شأن هذه الحالة أن تثير مصاعب قانونية بشأن شرعية تقييد النفاذ إلى خدمات سبق أن كان ممكناً استقبالها.

وتبرز أيضاً مشكلات أخرى حين نحكم على هذه الفكرة بحسب الظاهر. فلا بد أن يضطلع كيان ما بمسؤولية إنشاء واستدامة قاعدة بيانات المواقع الجغرافية. ولكن حتى بصرف النظر عن توقع قيام مصاعب قانونية عند ارتكاب أخطاء تؤثر على التغطية وعلى الربحية التجارية، فإن الاقتراح يستدعي الكثير من الوقت والمال. إذ مَن هي الجهة التي يترتب عليها تنفيذ العمل ودفع تكاليفه؟ ثم إن هذه التقنية تؤول إلى رفض إتاحة الطيف من أجل توسيع عروض الخدمة الإذاعية. ومن ثَمّ ينبغي لمزوِّدي الخدمة PLT أن يدفعوا المبالغ المناسبة لقاء الطيف الذي يُحجز لاستعمالاتهم.

وتنطبق أيضاً، في حالة نطاق FM، التعليقات المتقدمة بشأن عرض الثلم ومقدار الطيف الممكن إعادة توزيعه على نحو مفيد لاستعمالات أنظمة PLT.

5.4 التحكم في قدرة الإرسال بحسب التوصية ITU-T G.9960

فيما يخص إنشاء الشبكات المنزلية، تعيِّن التوصيتان ITU-T G.9960/G.9961 (a.k.a. G.hn) {1، 2} أدوات متنوعة للتحكم في قدرة إرسال الأنظمة PLT لجهاز واحد G.hn (عقدة) داخل الشبكة (ميدان). وتمكّن هذه الأدوات عقدة ما من تلبية متطلبات لوائح مختلفة (مثل لوائح اللجنة الدولية الخاصة بالتداخل الراديوي (CISPR)، ولوائح لجنة المكوِّنات الإلكترونية (CENELEC))، كما تمكّن من الوفاء بمتطلبات استهلاك القدرة (كالتي حددتها مدوَّنة السلوك الأوروبية). ويوضح هذا القسم إجراء تحديد قناع الإرسال للكثافة الطيفية للقدرة الذي ينطبق على جميع العقد في الميدان، كما يوضح آلية التحكم بصورة مستقلة في قدرة الإرسال لعقدة ما.

وفي الوقت الحاضر، وُضِع الحد الأعلى المُجدي للتردد عند 80 MHz طبقاً للتوصية ITU-T G.9960 (اتساقاً مع التقرير ITU-R SM.2158). لكن مجموعة الأدوات الموفَّرة في التوصية ITU-T 9960 قابلة للتطبيق أيضاً لمنع أو إزالة التداخل، فيما لو استعملت أنظمة PLT ترددات أعلى من 80 MHz.

1.5.4 بناء قناع الإرسال للكثافة الطيفية للقدرة (PSD)

في ميدان G.hn ما تخضع جميع العقد لقناع إرسال مكوَّن من الكثافة الطيفية (TxPSD) تضعه عقدة الميدان الرئيسة (رئيسة الميدان). وبعدئذ لا يُسمَح لأي عقدة، في أي وقت، أن ترسل إشارات تفوق هذا القناع. ويرد وصف هذا القناع TxPSD في البند 5.1.7 {1}، وهو مبني من المكوِّنات التالية:

1) القناع PSD الحدي (LPM، البند 5.1.7 {1}): القناع PSD معرَّف في صدد كل تخطيط للنطاقات (مثلاً: 100 MHz نطاق أساسي لخط كهربائي)

- القناع PSD الحدي (LPM) محدَّد في متن التوصية (انظر مثلاً الشكل 7-32 في البند 3.2.2.7 {1} بخصوص نطاق أساسي بقيمة 100 MHz لخط كهربائي)؛
- LPM يعرِّف الحد المطلق للقناع PSD الذي يعبِّر عن الحد الأقصى المسموح به (أي الأقصى لجميع اللوائح الإقليمية)؛
- القناع الحدي LPM يوفِّر الإرشاد لتصميم جهاز يمكن وضعه في الاستعمال في جميع الأقاليم.

2) القناع PSD الإقليمي (RPM، البند 5.1.7 {1}): هو قناع PSD معرَّف بخصوص كل تخطيط للنطاقات لكل إقليم:

- يجوز تحديد القناع الإقليمي (RPM) في ملحقات منفصلة لكي يعبِّر عن اللوائح الإقليمية المختلفة. ولم يحصل حتى الآن تعريف أي قناع إقليمي (نُظِر في القناع RPM الخاص بأمريكا الشمالية، لكنه لم يُدرَج في مشروع القرار النهائي)؛
- إذا لم يوجد RPM في إقليم معيّن، يُستعمَل القناع LPM بمثابة RPM لهذا الإقليم.

3) قناع الموجة الحاملة الفرعية (SM، البند 1.5.1.7 {1}): هو نطاقات مقنّعة مُعرَّفة بخصوص قناع معيّن LPM أو RPM:

- يدل القناع SM على تثليم تردد. وتستطيع عقدة الميدان الرئيسة أن تحدد نطاقات مقنَّعة يصل عددها حتى 32 نطاقاً (البند 5.5.8.8 {2}). وتُذاع هذه المعلومات على جميع العقد برسالة MAP (رسالة دورية ترسلها رئيسة الميدان للدلالة على مخطط النفاذ إلى الوسائط)، ويمكن تغييرها دينامياً.

4) قناع القَولبة PSD (PSM، البند 2.5.1.7 {1}): هو نقاط عتبية للقناع PSD معرَّفة بخصوص قناع LPM أو RPM معيّن:

- تستطيع رئيسة الميدان أن تحدد النقاط العتبية للقناع PSD بعدد يصل حتى 32 نقطة (البند 5.5.8.8 {2}). وتُذاع هذه المعلومات على جميع العقد برسالة MAP، ويمكن تغييرها دينامياً.

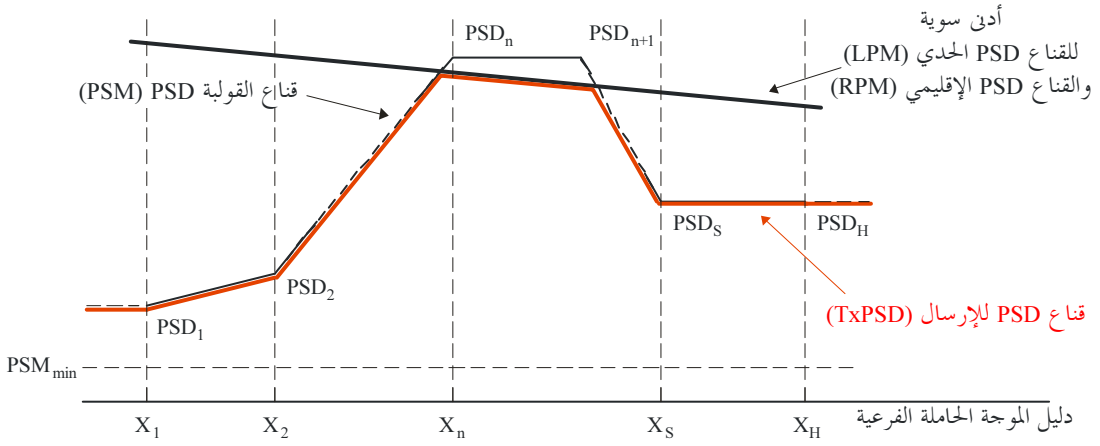
5) نطاقات الخدمة الدولية لراديو الهواة (البند 3.5.1.7 {1}):

- تحدد في الملحق D {1} عدة نطاقات لراديو الهواة ضمن المدى 0 إلى 100 MHz. وتستطيع رئيسة الميدان تثليم واحد أو أكثر من هذه النطاقات (البند 5.5.8.8 {2}). وتُذاع هذه المعلومات على جميع العقد برسالة MAP، ويمكن تغييرها دينامياً.

القناع PSD للإرسال (TxPSD) مبني من العناصر الخمسة التالية كما هو محدد في البند 2.5.1.7 {1} وفي الشكل 4.

الشـــكل 4

بنية القناع PSD للإرسال (TxPSD)



* قناع الموجة الحاملة الفرعية (SM) غير معروض في هذا الشكل

Report SM.2212-04

2.5.4 التبليغ عن قناع الإرسال PSD

تُعلِن عقدة الميدان الرئيسة دورياً عن القناع TxPSD لكي تَعرف جميع عقد الميدان (حتى العقد الجديدة الموشكة على الانضمام إلى الميدان) القناع TxPSD، قبل أن تنطلق في إرسال أي إشارة على الخط. بل تستطيع العقدة الرئيسة تغيير هذه المعلومة دينامياً (الفقرة 5.8.8 {2}). ويمكن استعمال هذه الوظيفة لتنفيذ التثليم الدينامي.

تكتشف العقدة الجديدة الرسالة MAP الصادرة عن رئيسة الميدان وتفك تشفيرها لتعرف القناع الذي أصبح ينطبق على الميدان. وتخضع لهذا القناع طالما ظلت في الميدان. ويُسمح للعقدة أن ترسِل بقدرة أخفض من القدرة المحددة بهذا القناع.

وتستطيع رئيسة الميدان أن تغيِّر بعض المكوِّنات إذا لزم الأمر (تشغيل أو توقيف النطاقات SM (قناع الموجة الحاملة الفرعية) وPSM (قناع القولبة) ونطاقات الهواة HAM). إذ إن الشبكة المنزلية G.hn تحدد وسيلة لمزامنة جميع العقد داخل الميدان مع قناع TxPSD جديد.

3.5.4 سقف القناع PSD

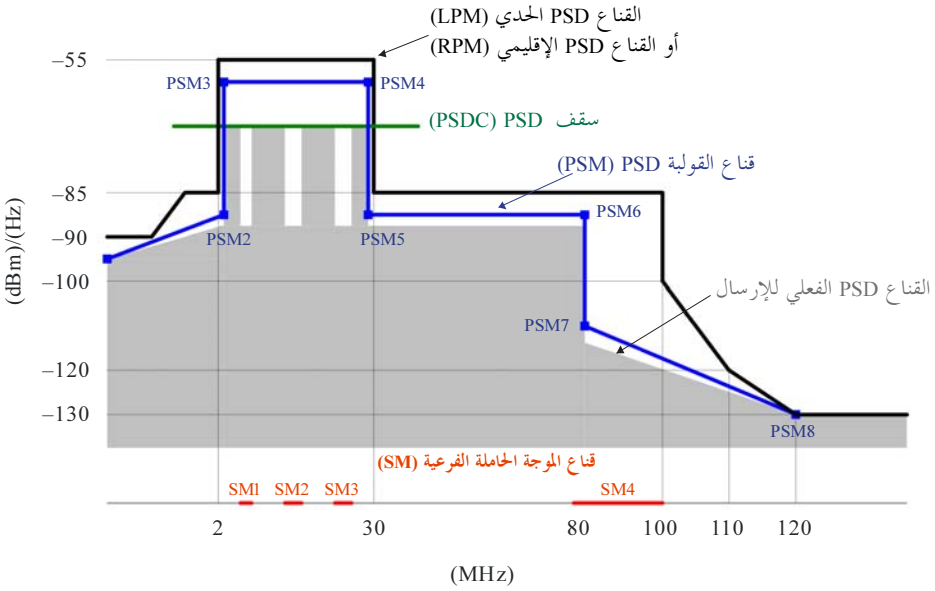
سقف القناع PSD (PSDC، البند 4.5.1.7 {1}) يدل على السقف الممكن أن تبلغه قيمة PSD في تطبيقه على الإشارات المرسلة بين العقد. ففي حين ينطبق القناع TxPSD على جميع عقد الميدان، ينطبق السقف PSDC على عقدة بمفردها. فيمكن تطبيق قيم مختلفة بخصوص كل توصيل، ويمكن أن تتغير القيمة مع الوقت تكيّفاً مع قناة متغيِّرة. وتُحمَل هذه القيمة في رأسية الرتل المادّيّ (المجال APSDC-M، البند 11.2.2.3.2.1.7 {1}) لكي يعرف المستقبِل أعلى سوية لإرسال الإشارة التي يستقبلها.

وفي أثناء عملية تقدير القناة، يُبلِّغ المستقبِلُ المرسِلَ القيمةَ المُثلى للسقف PSDC (الجدول 8-93 في البند 3.7.11.8 {2}). ويمكن استعمال هذه الآلية لتخفيض قدرة الإرسال و/أو تخفيض قدرة الاستقبال إلى الحد الأدنى، ما يقلل الاستهلاك الكلي للقدرة على نطاق الشبكة كما يقلل أيضاً التداخل في الشبكات الأخرى.

وفي الشكل 5 إيضاح للعلاقة بين القناع TxPSD والسقف PSDC.

الشـــكل 5

قناع الإرسال PSD وسقف PSD



Report SM.2212-05

4.5.4 المراجع

{1} التوصية ITU-T G.9960 (2010)، أجهزة الإرسال-الاستقبال السلكية الموحدة عالية السرعة في الشبكات المنزلية – مواصفات معمارية النظام والطبقة المادية.

{2} التوصية ITU-T G.9961 (2010)، طبقة وصلة البيانات (DLL) للمرسلات-المستقبِلات السلكية الموحدة للشبكات المنزلية عالية السرعة.

6.4 استنتاج بشأن منع التداخل أو إزالته

ينبغي السعي لإقامة البرهان على جدوى وفعالية تقنيات تخفيف التداخل بخصوص خدمات معيّنة في نطاقات معيّنة. لأنه، إذا طُبِّقت هذه التقنيات بدون ما يكفي من تقييم وحماية، وأُدخلت إلى السوق صيغة لتجهيزات PLT محددة على نحو غير وافٍ، فقد تجد الإدارات الوطنية نفسها بلا حيلة في مواجهة ردود فعل وشكاوى واسعة الانتشار.

5 استنتاجات إجمالية

يبيِّن هذا التقرير إمكانات التداخل في خدمات مختلفة للاتصالات الراديوية بوجود إشعاعات صادرة من أنظمة وأجهزة PLT. وهو يصف خصائص إشعاع الترددات الراديوية الصادرة من أنظمة PLT، وخصائص معايير الحماية لأنظمة الاتصالات الراديوية التي تتأثر بأنظمة PLT. ويبحث، إضافة إلى ذلك، في الطرائق الممكنة للتخفيف من التداخل الذي يسببه إشعاع أنظمة PLT.

الملحق 1

الاعتبارات الخاصة بالضوضاء والإشعاع والانتشار في نطاقات البث على الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)

A1 تحليل مفصَّل لتحويل الأسلوب في فرع التبديل

فروع التبديل هي مصابيح سقفية ومفاتيح فصل ووصل جدارية، مألوفة في التمديدات الكهربائية المنزلية، تكون غير متوازنة إلى حد بعيد عند مدى الترددات الراديوية، فتحوِّل إشارات الأسلوب التفاضلي إلى إشارات الأسلوب الشائع أو تيارات هوائيات تسبب الإشعاعات الصادرة عن خطوط الإمداد بالكهرباء. لكن هذه الوقائع، على الرغم من كونها معروفة جيداً في أوساط المعنيين بالاتصالات الراديوية، يبدو أنها مهملة إلى حدٍ ما في أوساط المعنيين بأنظمة PLT. وقد بيَّن التقرير ITU-R SM.2158 في البند 3.4.1.2 منه أن الأسلوب التفاضلي والأسلوب الشائع مقترنان بقوة في مدى طيفي واسع، وليس فقط عند تردد الطنين، وذلك بناء على التحليل النظري الذي يُنمذِج خطاً أبتر مركَّباً على التسلسل كمزحزِح لطور غير متوازن. ولكن، على الرغم من أن الآلية المادية الأساسية لأسلوب التحويل ممثّلة جيداً في نموذج مزحزِح الطور، يبقى من المستحسَن إجراء تحليلات أعمّ. ثم إنه، حين يُحرَّك المفتاح الجداري للفصل، يُشكل فرع التبديل خطاً أبتر مفتوحاً مركَّباً على التسلسل، لا يمكن نمذجته كمزحزِح للطور. وبدلاً من ذلك جرت في الدراسة السابقة نمذجة فرع تبديل منتهٍ ببُصَيْلة نور بارد، منخفضة المقاومة إلى بضعِ أوَمات، كخط أبتر مركَّب على التسلسل. ولذا من المستحسن إجراء دراسة عامة على الخطوط البتراء المركبة على التسلسل، تعالج كلتا الحالتين، الأبتر القصير والأبتر المفتوح.

وفيما يلي تحليل عام لهذه الخطوط البتراء المركبة على التسلسل، مبني على دراسة حديثة[4].

1.A1 مصفوفة انتشار مختلطةُ الأسلوب لخط إرسال متوازن محمَّل من جانب واحد بخط أبتر على التسلسل

1.1.A1 صياغات نظرية

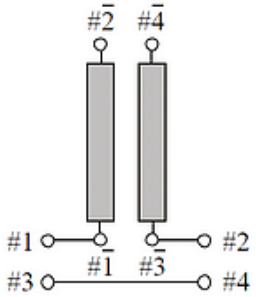
أجريَ تحليل نظري على دارتَيّ خطين أبترين مركَّبين على التسلسل من جانب واحد، فيهما خط أبتر مفتوح أو أبتر قصير قوامه خط إرسال متوازن موصَّل على التسلسل مع أحد طرفي خط إرسال آخر متوازن، كما هو مبيّن في الشكل 6. وقد اشتُقَّت مصفوفتاهما المختلطتا الأسلوب بحيث تُظهِران الخصائص المتميِّزة لتحويل الأسلوب.

فأنظمة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالكهرباء (PLT) تُدخِل إشارات التردد الراديوي في الأسلوب الفردي لخطوط الإمداد بالطاقة داخل المنزل. وبما أن دارات فروع التبديل المكوَّنة من مصابيح سقفية ومفاتيح جدارية أحادية القطب تشكل خطوطاً بتراء موصَّلة على التسلسل وأحادية الطرف، فقد أصبحت النظرية مفيدة في التنبؤ بمشكلات التوافق الكهرمغنطيسي التي تسببها أنظمة PLT التي تستعمل نطاقات الموجات الديكامترية (HF) و/أو نطاقات الموجات المترية (VHF).

[4] KITAGAWA, M. and OHIRA, T. [July 2010] Mixed-mode scattering matrix of a balanced transmission line unilaterally loaded with a stub in series − Pencil-and-paper formulation. IEICE Tech. Rep. MW.

الشـــكل 6

خط إرسال متوازن محمَّل من جانب واحد بخط أبتر على التسلسل

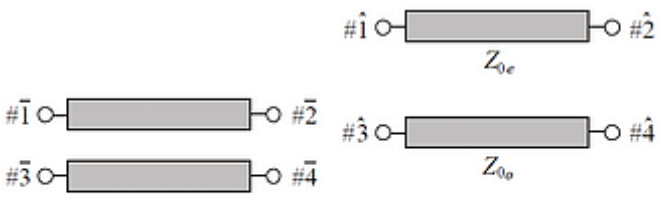


(a) أبتر قصير، على التسلسل (b) أبتر مفتوح، على التسلسل

Report SM.2212-06

الشـــكل 7

خط إرسال متوازن يشكل خطاً أبتر



(a) خطان مقرونان (b) الأسلوبان الزوجي والفردي

Report SM.2212-07

هنالك موصلان لخط إرسال متوازن مقرونان في الشكل 7 (a) بينما هما خط أبتر في الشكل 6. والأسلوبان الزوجي والفردي مفكوك اقترانهما ويمكن معاملة كل منهما بصورة مستقلة، كما هو مبيَّن في الشكل 7 (b). ومصفوفتا المعاوقة للأسلوب الزوجي والأسلوب الفردي هما، من اليسار إلى اليمين:

$$\hat{\mathbf{Z}}_e = \frac{Z_{0e}}{j \sin \phi_e} \begin{bmatrix} \cos \phi_e & 1 \\ 1 & \cos \phi_e \end{bmatrix}, \; \hat{\mathbf{Z}}_o = \frac{Z_{0o}}{j \sin \phi_o} \begin{bmatrix} \cos \phi_o & 1 \\ 1 & \cos \phi_o \end{bmatrix}$$

حيث Z_{0e} وZ_{0o} يدلان على خصائص معاوقة الأسلوب الزوجي ومعاوقة الأسلوب الفردي؛ ويدل ϕ_e وϕ_o على تناوب طور الأسلوب الزوجي والأسلوب الفردي عبر الخط الأبتر، أي $\beta_e l = \phi_e$ و$\beta_e l = \phi_o$ بخصوص خط إرسال بدون خسارة طوله l. ولكن في حالة خط إرسال مع خسارة يُستبدل بهما $\phi_e = \beta_e l(1 - j\alpha_e/\beta_e)$ و$\phi_o = \beta_o l(1 - j\alpha_o/\beta_o)$ مع ثابتَيْ الانتشار التاليين: $\gamma_e = \alpha_e + j\beta_e$ و$\gamma_o = \alpha_o + j\beta_o$.

ثم يكون توصيل التوتر والتيار في مطرافَيْ الأسلوبين في الشكل 7 (b) كما يلي:

$$\begin{bmatrix} \hat{v}_1 \\ \hat{v}_2 \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{Z}}_e \begin{bmatrix} \hat{i}_1 \\ \hat{i}_2 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \hat{v}_3 \\ \hat{v}_4 \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{Z}}_o \begin{bmatrix} \hat{i}_3 \\ \hat{i}_4 \end{bmatrix}$$

وتكون صيغة مصفوفة التحويل بين زوج مطرافَيْ دخل (أو خرج) ماديين في الشكل 7 (b) ومطرافَيْ الأسلوبين المناظرين في الشكل 7 (b) كما يلي:

$$\mathbf{C}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

وصيغة مصفوفة التحويل بين جميع المطاريف المادية وجميع المطاريف الأسلوبية كما يلي:

$$\mathbf{C}_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

وصيغة مصفوفة المعاوقة للمطاريف الأسلوبية لخط الإرسال كما في الشكل 7 (b) هي:

$$\hat{\mathbf{Z}}_{\mathrm{TL}} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{Z}}_e & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{Z}}_o \end{bmatrix}$$

وعليه تُحسَب مصفوفة المعاوقة للمطرافين الماديين لخط الإرسال في الشكل 7 (a) كما يلي:

$$\mathbf{Z}_{\mathrm{TL}}=\mathbf{C}_4\hat{\mathbf{Z}}_{\mathrm{TL}}\mathbf{C}_4=\begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} & z_{14} \\ z_{12} & z_{11} & z_{14} & z_{13} \\ z_{13} & z_{14} & z_{11} & z_{12} \\ z_{14} & z_{13} & z_{12} & z_{11} \end{bmatrix}, \quad \begin{aligned} z_{11} &= -\tfrac{j}{2}(Z_{0e}\cot\phi_e+Z_{0o}\cot\phi_o) \\ z_{12} &= -\tfrac{j}{2}(Z_{0e}\operatorname{cosec}\phi_e+Z_{0o}\operatorname{cosec}\phi_o) \\ z_{13} &= -\tfrac{j}{2}(Zo_e\cot\phi_e-Zo_o\cot\phi_o) \\ z_{14} &= -\tfrac{j}{2}(Z_{0e}\operatorname{cosec}\phi_e-Z_{0o}\operatorname{cosec}\phi_o) \end{aligned}$$

وفي حالة خط أبتر قصير كما في الشكل 6 (a) تكون شروط المطرافين كما يلي:

$$\bar{v}_4=\bar{v}_2,\ \bar{i}_4=-\bar{i}_2$$

وعليه تتمثل توترات وتيارات الدخل والخرج في العلاقة التالية:

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_3 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} z_{11}-\star & z_{13}+\star \\ z_{13}+\star & z_{11}-\star \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \bar{i}_1 \\ \bar{i}_3 \end{bmatrix},\ \star=-\frac{jZ_{0o}}{2\cos\phi_o\sin\phi_o}$$

ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بمصفوفة المعاوقة كما يلي:

$$\mathbf{Z}_{ss}=-\frac{j}{2}\begin{bmatrix} Z_{0e}\cot\phi_e-Z_{0o}\tan\phi_o & Z_{0e}\cot\phi_e+Z_{0o}\tan\phi_o \\ Z_{0e}\cot\phi_e+Z_{0o}\tan\phi_o & Z_{0e}\cot\phi_e-Z_{0o}\tan\phi_o \end{bmatrix}$$

وفي حالة خط أبتر مفتوح كما في الشكل 6 (b)، يتمثل شرط المطراف في العلاقة التالية:

$$\bar{i}_2=\bar{i}_4=0$$

وعليه تتمثل توترات وتيارات الدخل والخرج في العلاقة التالية:

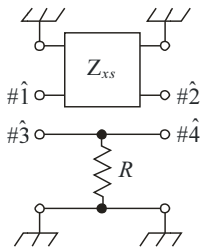
$$\begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_3 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} z_{11} & z_{13} \\ z_{13} & z_{11} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \bar{i}_1 \\ \bar{i}_3 \end{bmatrix}$$

ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بمصفوفة المعاوقة كما يلي:

$$\mathbf{Z}_{os}=-\frac{j}{2}\begin{bmatrix} Z_{0e}\cot\phi_e+Z_{0o}\cot\phi_o & Z_{0e}\cot\phi_e-Z_{0o}\cot\phi_o \\ Z_{0e}\cot\phi_e-Z_{0o}\cot\phi_o & Z_{0e}\cot\phi_e+Z_{0o}\cot\phi_o \end{bmatrix}$$

الشـــكل 8

تحليل حالة المقاومة التقديرية لتفريعة نحو الأرض



Report SM.2212-08

لتحليل خط إرسال محمَّل من جانب واحد بخط أبتر مركب على نحو التسلسل كما في الشكل 6، يؤرَّض الموصل الآخر عبر المقاومة R كما هو مبيّن في الشكل 8. وعندئذ تتمثل مصفوفة المعاوقة للموصل في العلاقة التالية:

$$\mathbf{R}=\begin{bmatrix} R & R \\ R & R \end{bmatrix}$$

وتتمثل مصفوفة المعاوقة لكامل الدارة المعروضة في الشكل 8 في العلاقة التالية:

$$\mathbf{Z}_{xs4} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{xs} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R} \end{bmatrix}$$

حيث $o = x$ في حالة أبتر مفتوح و $s = x$ في حالة أبتر قصير. وتصبح مصفوفة المعاوقة في الأسلوب المختلط كما يلي:

$$\hat{\mathbf{Z}}_{xs} = \mathbf{C}_4 \mathbf{Z}_{xs4} \mathbf{C}_4 = \begin{bmatrix} \hat{z}_{11} & \hat{z}_{12} & \hat{z}_{13} & \hat{z}_{14} \\ \hat{z}_{12} & \hat{z}_{11} & \hat{z}_{14} & \hat{z}_{13} \\ \hat{z}_{13} & \hat{z}_{14} & \hat{z}_{11} & \hat{z}_{12} \\ \hat{z}_{14} & \hat{z}_{13} & \hat{z}_{12} & \hat{z}_{11} \end{bmatrix}$$

وتُحسب مصفوفة الانتثار للأسلوب المختلط، لدارة أبتر مركَّبٍ على التسلسل كما في الشكل 6، مع أخذ الحد كما يلي:

$$\hat{\mathbf{S}} = \lim_{R \to \infty} \frac{\hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} \hat{\mathbf{Z}}_{xs} \hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} - \mathbf{1}_4}{\hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} \hat{\mathbf{Z}}_{xs} \hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} + \mathbf{1}_4} = \begin{bmatrix} \hat{s}_{11} & \hat{s}_{12} & \hat{s}_{13} & \hat{s}_{14} \\ \hat{s}_{12} & \hat{s}_{11} & \hat{s}_{14} & \hat{s}_{13} \\ \hat{s}_{13} & \hat{s}_{14} & \hat{s}_{33} & \hat{s}_{34} \\ \hat{s}_{14} & \hat{s}_{13} & \hat{s}_{34} & \hat{s}_{33} \end{bmatrix}$$

حيث:

$$\hat{\mathbf{W}}_0 = \begin{bmatrix} W_e & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_o & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_o \end{bmatrix}$$

وحيث يدلّ W_e وW_o على المعاوقتَيْن المرجعيّتين للأسلوبين الزوجي والفردي بترتيب التوالي، و$\mathbf{1}_4$ هي مصفوفة الهوية رباعية الأبعاد.

2.1.A1 النتائج

تكون عناصر مصفوفة الانتثار للأسلوب المختلط لخط إرسال، محمّل من جانب واحد بأبتر قصير مركّب على التسلسل، كما يلي:

$$\hat{s}_{11} = \frac{(W_e^2 - W_o^2) Z_{0o} \sin\phi_e \sin\phi_o + 2jW_o (Z_{0e} Z_{0o} \cos\phi_e \sin\phi_o - W_e^2 \sin\phi_e \cos\phi_o)}{[2Z_{0e} \cos\phi_e + j(W_o + W_e) \sin\phi_e][2W_e W_o \cos\phi_o + j(W_o + W_e) Z_{0o} \sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{12} = \frac{2W_e [2W_o Z_{0e} \cos\phi_e \cos\phi_o + j(Z_{0e} Z_{0o} \cos\phi_e \sin\phi_o + W_o^2 \sin\phi_e \cos\phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos\phi_e + j(W_o + W_e) \sin\phi_e][2W_e W_o \cos\phi_o + j(W_o + W_e) Z_{0o} \sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{13} = \frac{2j\sqrt{W_e W_o} (Z_{0e} Z_{0o} \cos\phi_e \sin\phi_o - W_e W_o \sin\phi_e \cos\phi_o)}{[2Z_{0e} \cos\phi_e + j(W_o + W_e) \sin\phi_e][2W_e W_o \cos\phi_o + j(W_o + W_e) Z_{0o} \sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{14} = \frac{2\sqrt{W_e W_o} [(W_o + W_e) Z_{0o} \sin\phi_e \sin\phi_o - j(Z_{0e} Z_{0o} \cos\phi_e \sin\phi_o + W_e W_o \sin\phi_e \cos\phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos\phi_e + j(W_o + W_e) \sin\phi_e][2W_e W_o \cos\phi_o + j(W_o + W_e) Z_{0o} \sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{33} = \frac{-(W_e^2 - W_o^2) Z_{0o} \sin\phi_e \sin\phi_o + 2jW_e (Z_{0e} Z_{0o} \cos\phi_e \sin\phi_o - W_o^2 \sin\phi_e \cos\phi_o)}{[2Z_{0e} \cos\phi_e + j(W_o + W_e) \sin\phi_e][2W_e W_o \cos\phi_o + j(W_o + W_e) Z_{0o} \sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{34} = \frac{2W_o [2W_e Z_{0e} \cos\phi_e \cos\phi_o + j(Z_{0e} Z_{0o} \cos\phi_e \sin\phi_o + W_e^2 \sin\phi_e \cos\phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos\phi_e + j(W_o + W_e) \sin\phi_e][2W_e W_o \cos\phi_o + j(W_o + W_e) Z_{0o} \sin\phi_o]}$$

حيث:

$s_{22} = s_{11}$ انعكاسا الأسلوب الزوجي

$s_{21} = s_{12}$ إرسالا الأسلوب الزوجي

$s_{42} = s_{24} = s_{31} = s_{13}$	تحويلات الأسلوب باتجاه الخلف
$s_{32} = s_{23} = s_{41} = s_{14}$	تحويلات الأسلوب باتجاه الأمام
$s_{44} = s_{33}$	انعكاسا الأسلوب الفردي
$s_{43} = s_{34}$	إرسالا الأسلوب الفردي
Z_{0o} و Z_{0e}	يدلان على المعاوقتين المميزتين للأسلوبين الزوجي والفردي
ϕ_o و ϕ_e	يدلان على دورانِ طورَي الأسلوبين، الزوجي والفردي
W_o و W_e	هما المعاوقتان المرجعيتان لمنفَذَيْ الأسلوبين الزوجي والفردي، على التوالي. وهما التعبيران الأعمّ.

ونحصل على مصفوفة الانتشار، للأسلوب المختلط لخط أبتر مفتوح مركّب على نحو التسلسل، بإحلال $\phi_o + \pi/2$ محل ϕ_o في العبارات الواردة أعلاه، بينما يبقى ϕ_e على حاله. أما العبارات العامة عن أبتر مفتوح، مركّب على التسلسل، فقد أُغفِلت توخّياً للإيجاز.

وفيما يلي اختيرت المعاوقتان المرجعيّتان بحيث تساويان المعاوقتين المميِّزَتَين، يعني $Z_{0e} = W_e$ و $Z_{0o} = W_o$، لكي لا يحدث انعكاس خاطئ في السطوح البينية، ولا طنين مصطنع.

وعندئذ تكون عناصر مصفوفة الانتشار، للأسلوب المختلط لخط أبتر قصير مركّب على نحو التسلسل، كما يلي:

$$\hat{s}_{11} = \frac{(Z_{0e}^2 - Z_{0o}^2)\sin\phi_e \sin\phi_o + 2jZ_{0e}(Z_{0o}\cos\phi_e \sin\phi_c - Z_{0e}\sin\phi_e\cos\phi_o)}{[2Z_{0e}\cos\phi_e + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_e][2Z_{0e}\cos\phi_o + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{12} = \frac{2Z_{0e}[2Z_{0e}\cos\phi_e\cos\phi_o + j(Z_{0e}\cos\phi_e\sin\phi_o + Z_{0o}\sin\phi_e\cos\phi_o)]}{[2Z_{0e}\cos\phi_e + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_e][2Z_{0e}\cos\phi_o + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{13} = \frac{2j\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}Z_{0e}\sin(\phi_o - \phi_e)}{[2Z_{0e}\cos\phi_e + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_e][2Z_{0e}\cos\phi_o + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{14} = \frac{2\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}[(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_e\sin\phi_o - jZ_{0e}\sin(\phi_e+\phi_o)]}{[2Z_{0e}\cos\phi_e + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_e][2Z_{0e}\cos\phi_o + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{33} = \frac{-(Z_{0e}^2 - Z_{0o}^2)\sin\phi_e\sin\phi_o + 2jZ_{0e}(Z_{0e}\cos\phi_e\sin\phi_o - Z_{0o}\sin\phi_e\cos\phi_o)}{[2Z_{0e}\cos\phi_e + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_e][2Z_{0e}\cos\phi_o + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_o]}$$

$$\hat{s}_{34} = \frac{2Z_{0e}[2Z_{0e}\cos\phi_e\cos\phi_o + j(Z_{0o}\cos\phi_e\sin\phi_o + Z_{0e}\sin\phi_e\cos\phi_o)]}{[2Z_{0e}\cos\phi_e + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_e][2Z_{0e}\cos\phi_o + j(Z_{0o}+Z_{0e})\sin\phi_o]}$$

وتكون العبارات الواردة أعلاه على ما يكفي من التعميم حين يُستعمَل نفس الخطين الموصلين لأبتر ولخطوط الإرسال من حوله.

ويمكن دمج خسائر خط الإرسال بوصفه الجزء المتخيَّل من دوران الطور. مثلاً، يمكن دمج خسارة الأسلوب الزوجي بوصفه $\phi_e = \beta_e l(1 - j\alpha_e/\beta_e)$، إذا كان ثابتُ الانتشار لهذا الأسلوب يُعطى بالمعادلة: $\gamma_e = \alpha_e + j\beta_e$.

الحالة الأبسط

إذا استبقينا $Z_{0o} = Z_{0e}$ و $\phi_o = \phi_e$، تصبح عناصر مصفوفة الانتشار لأبتر قصير مركَّب على نحو التسلسل، كما يلي:

$$\hat{s}_{11} = \hat{s}_{13} = \hat{s}_{33} = 0,$$
$$\hat{s}_{12} = e^{-j\phi}\cos\phi,$$
$$\hat{s}_{14} = -je^{-j\phi}\sin\phi$$

وهذا تكرار للوصف الوارد في الفقرة 3.4.1.2 من التقرير ITU-R SM.2158، المبني على النموذج البسيط لمزحزِح الطور. وبما أن $Z_{DM}/2 = Z_{0e}$ و $2Z_{CM} = Z_{0e}$، فالشروط المذكورة أعلاه تتطابق مع $Z_{DM}/4 = Z_{CM}$.

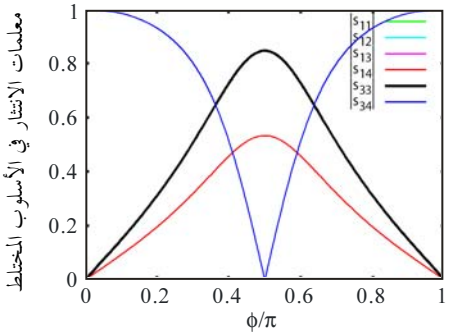
النتائج الرقمية

فيما يلي أمثلة رقمية متنوعة حُسبت باستعمال التعابير العامة لكلا الأبترَيْن المركَّبَيْن على التسلسل، القصير والمفتوح، بقصد دراسة تأثيرات المعاوقتَيْن المميِّزَتين، وتشتُّت الأسلوب (فرق سرعة الطور بين الأسلوب الزوجي والأسلوب الفردي)، و/أو خسارة الأسلوب. وفي الأشكال 9 إلى 14 يمثِّل المحور الأفقي دوران الطور في الأسلوب الفردي ϕ_o مقسوماً على π. وفي وسط (0,5) المحور الأفقي $\phi_o = \pi/2$. وحين يكون طول الأبتر l يساوي ربع طول الموجة في الأسلوب الفردي عند تردد f_0، فعندئذ يكون $\beta_o l = \phi_o = \pi f/2f_0$. وعليه يُعتبَر المحور الأفقي $f/2f_0$؛ ويُقيَّس التردد f بمقدار $2f_0$، ويمثِّل وسَط المحور (0,5) بالعلاقة $f = f_0$.

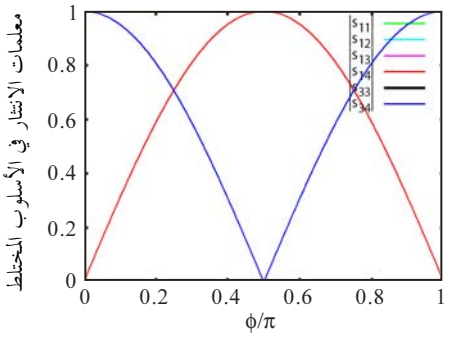
والمحور العمودي هو محور القيمة المطلقة لعناصر مصفوفة الانتثار في الأسلوب المختلط. وفيما يخص تحويلات الأسلوب في الخط الأبتر، يقتصر الأمر على $s_{31} = s_{13}$ (المنحنيات الحُمْر) التي تمثل الانتثارات باتجاه الأمام المشتركة بين الأسلوبين، و$s_{41} = s_{14}$ (المنحنيات القرمزية) التي تمثل الانتثارات باتجاه الخلف المشتركة بين الأسلوبين. وتمثِّل عناصر أخرى الانعكاسات والإرسالات داخل الأسلوب الواحد.

الشـــكل 9

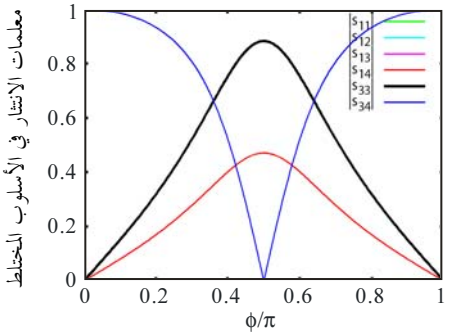
أبتر قصير مركَّب على التسلسل
(بدون خسارة) بمعاوقات مميِّزة مختلفة
لاحظ أن $|s_{12}|=|s_{34}|$,$|s_{11}|=|s_{33}|$,$s_{13}=0$ على اعتبار $\phi_e=\phi_o$



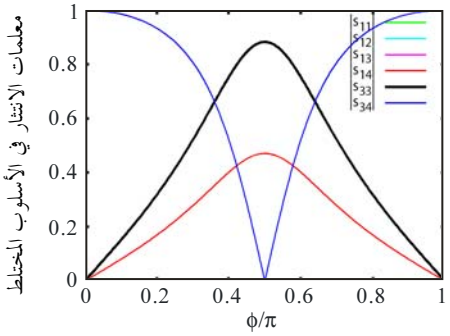
$Z_{0e}= Z_{0o}$, $\phi_e = \phi_o = \phi$



$Z_{0e}= 4\,Z_{0o}$, $\phi_e = \phi_o = \phi$



$Z_{0e}= 12\,Z_{0o}$, $\phi_e = \phi_o = \phi$

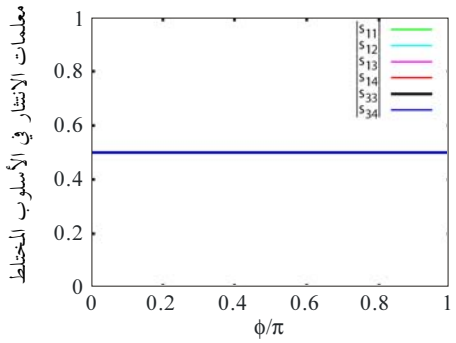


$Z_{0e}= 16\,Z_{0o}$, $\phi_e = \phi_o = \phi$

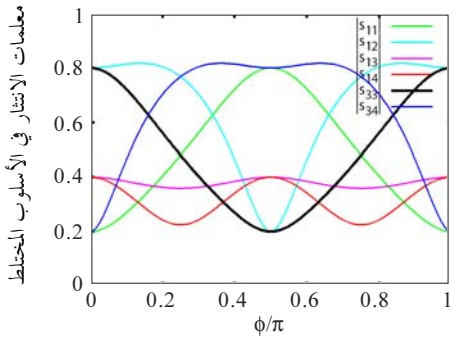
Report SM.2212-09

الشـــكل 10

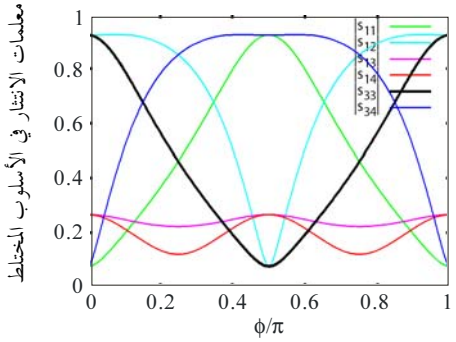
أبتر مفتوح مركَّب على التسلسل
(بدون خسارة) بمعاوقات مميِّزة مختلفة



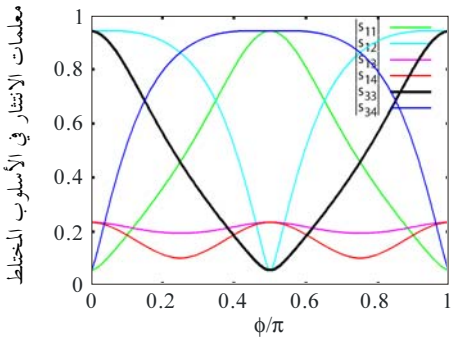
(كلها منحطة) $Z_{0e}= Z_{0o}$, $\phi_e = \phi_o = \phi$



$Z_{0e}= 4\,Z_{0o}$, $\phi_e = \phi_o = \phi$



$Z_{0e}= 12\,Z_{0o}$, $\phi_e = \phi_o = \phi$

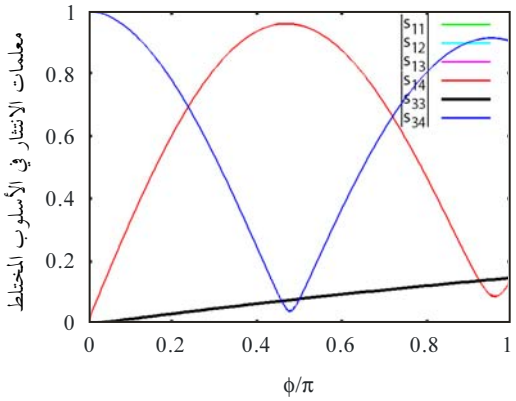


$Z_{0e}= 16\,Z_{0o}$, $\phi_e = \phi_o = \phi$

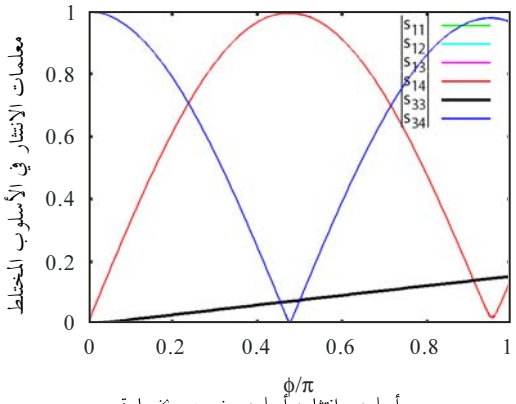
Report SM.2212-10

الشـــكل 11

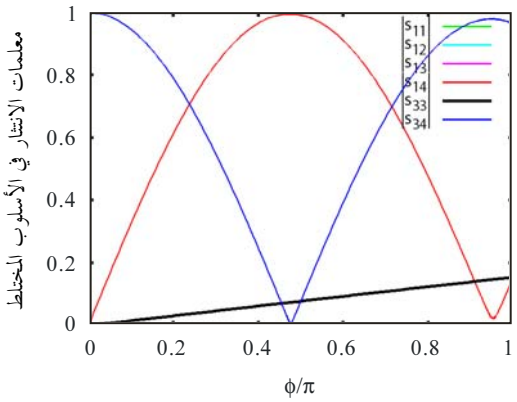
أبتر قصير مركب على التسلسل مع تشتت أسلوب و/أو خسارة ($Z_{0e}=Z_{0o}$)



أسلوب زوجي بخسارة $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0.05$



أسلوب انتشار، أسلوب زوجي بخسارة
$\phi_e = 1.1\phi_o = 1.1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0.05$

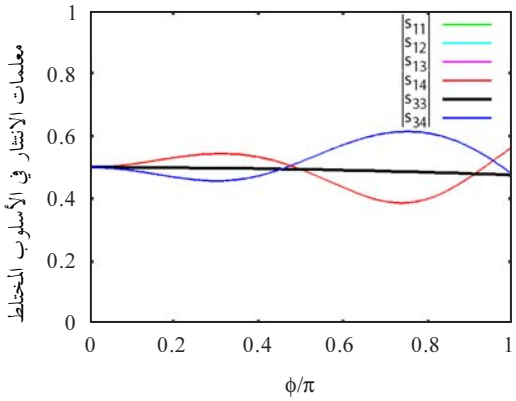


أسلوب انتشار $\phi_e = 1.1\phi_o = 1.1\phi$

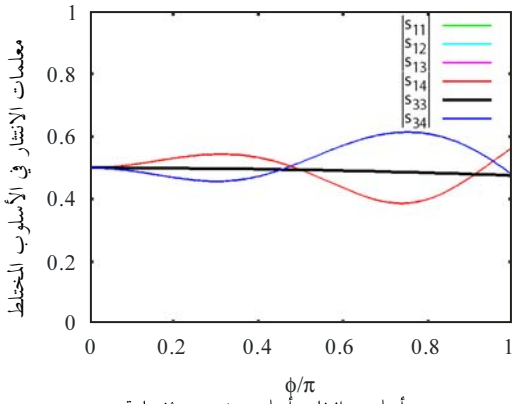
Report SM.2212-11

الشـــكل 12

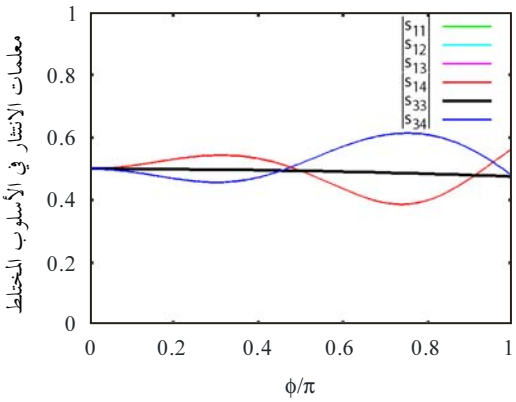
أبتر مفتوح مركب على التسلسل مع تشتت أسلوب و/أو خسارة ($Z_{0e}=Z_{0o}$)



أسلوب زوجي بخسارة $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0.05$



أسلوب انتشار، أسلوب زوجي بخسارة
$\phi_e = 1.1\phi_o = 1.1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0.05$

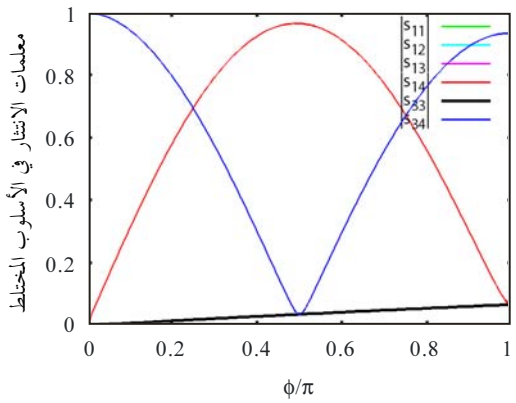


أسلوب انتشار $\phi_e = 1.1\phi_o = 1.1\phi$

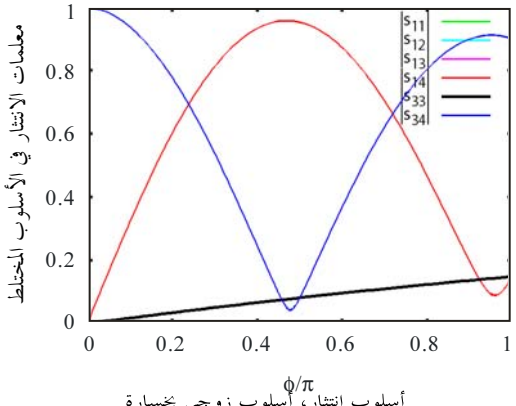
Report SM.2212-12

الشـــكل 13

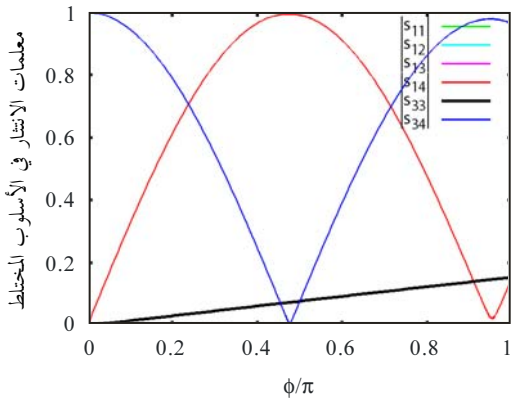
أبتر قصير مركّب على التسلسل مع تشتت أسلوب و/أو خسارة ($Z_{0e} = 12Z_{0o}$)



أسلوب زوجي بخسارة $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0.05$



أسلوب انتشار، أسلوب زوجي بخسارة
$\phi_e = 1.1\phi_o = 1.1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0.05$

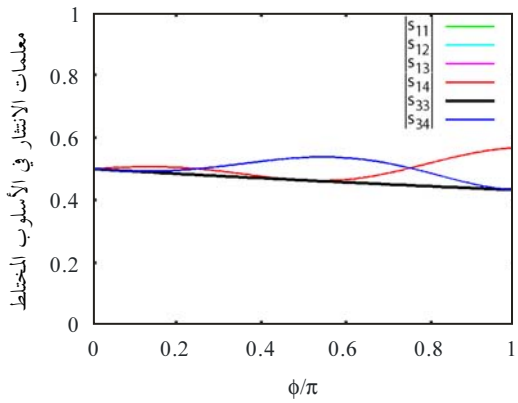


أسلوب انتشار $\phi_e = 1.1\phi_o = 1.1\phi$

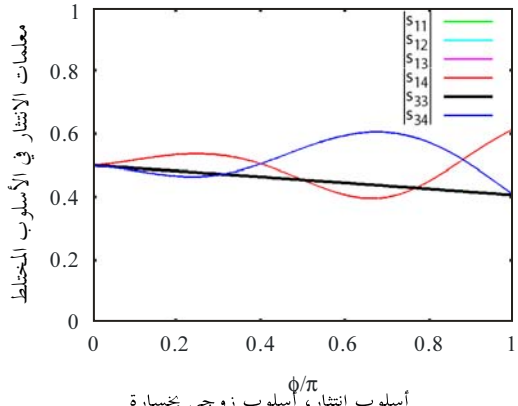
Report SM.2212-13

الشـــكل 14

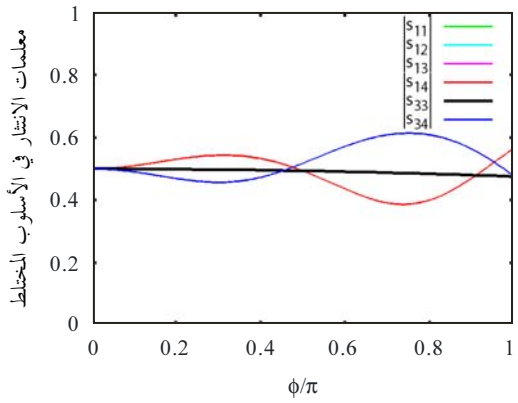
أبتر مفتوح مركّب على التسلسل مع تشتت أسلوب و/أو خسارة ($Z_{0e} = 12Z_{0o}$)



أسلوب زوجي بخسارة $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0.05$



أسلوب انتشار، أسلوب زوجي بخسارة
$\phi_e = 1.1\phi_o = 1.1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0.05$



أسلوب انتشار $\phi_e = 1.1\phi_o = 1.1\phi$

Report SM.2212-14

3.1.A1 استنتاجات

تمت صياغة التعابير العامة لعناصر مصفوفة انتشار الأسلوب المختلط لخط إرسال متوازن محمَّل من جانب واحد بأبتر على التسلسل. وتم التحقق من أن النموذج البسيط لمزحزح الطور من طرف واحد لأبتر قصير مركّب على التسلسل، النموذج الذي استُعمِل للتحليل في الفقرة 3.4.1.2 من التقرير ITU-R SM.2158، هو الحالة الأبسط بين التعابير العامة. وتفيد التعابير العامة لعناصر مصفوفة انتشار الأسلوب المختلط، التي تمثّل الانتشارات المشتركة بين الأسلوبين الزوجي والفردي، مع الحسابات الرقمية تحت شروط متنوعة، أن الأسلوبين الزوجي والفردي مقترنان شديد الاقتران على مدى واسع من الطيف، وليس فقط عند الترددات التي يكون فيها طول الأبتر مطابقاً لأحد مضاعفات ربع طول الموجة في الأسلوب الفردي.

وتشير النتائج إلى أن تيارات الأسلوب الزوجي، الكبيرة كبر تيارات إشارة الأسلوب الفردي، تتولّد في شبكة أسلاك الإمداد بالكهرباء داخل المنازل، والتي تحتوي عادة فروع تبديل عديدة بعدد الغُرف، وأن الكثافة الطيفية للقدرة لإشارة الأسلوب الفردي يجب ضبطها على سوية انخفاض نظيرتها لإشارة الأسلوب الزوجي.

الملحق 2

تحليلات للتداخل المحتمل في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)

A2 التداخل في الأنظمة الراديوية VHF/UHF، الناجم عن توافقيات أنظمة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) بين 80 و200 MHz

دُرست متطلبات حماية الخدمات الراديوية العاملة ضمن مدى يصل إلى 80 MHz من تأثيرات أنظمة PLT دراسة مستفيضة. ولكن يبدو أنه حتى الآن قلّما تناول النظر تأثيرات توافقيات أنظمة PLT على الأنظمة الراديوية التي تبث على الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF).

1.A2 الأنظمة الراديوية المنزلية

يُستعمَل في الظروف المنزلية عدد من الأنظمة الراديوية العاملة ضمن المدى 88-800 MHz. وتشتمل هذه الأنظمة على خدمة راديو الهواة، وخدمة الإذاعة والتلفزيون الراديوية، والاستدعاء الراديوي، والإنذارات الخاصة بالأشخاص المسنّين أو المعاقين، ومراقبة المغروسات الطبية، والتحكم بالمغروسات الطبية.

وتتغيّر شدد المجال المطلوبة لهذه الأنظمة تغيراً واسع المدى، مثلما تتغيّر السوية التي يحدث عندها التداخل الضار. وبالإضافة إلى ذلك، ثبت الدليل (المرجع 1) على أن من شأن التشكيل البيني في شبكة التوزيع للكهرباء تقليص عمق الثُلَم الطيفية التي توفّرها أنظمة PLT، وأن من شأن التأثيرات اللاخطية (مثل تأثير "البرغي الصدئ") توليد توافقيات. ومن المرجَّح ألاّ تكون التوافقيات الناجمة عن أنظمة PLT عاملة بترددات حتى 200 MHz ذات ضرر بالنسبة لأنظمة تبث بترددات تفوق 500 MHz، لكن الأنظمة الحساسة العاملة بترددات أقل من هذا قد تعاني حقاً من التداخل الضار.

ويرجَّح بوجه خاص أن تتأثر بهذه التوافقيات خدمات الهواة العاملة في نطاق 220 MHz في الإقليم 2، وكذلك خدمات الهواة وخدمات الهواة الساتلية العاملة في نطاق 432 MHz في جميع الأقاليم: إذ تنخفض الحساسية المستعملة لهذه الخدمات حتى سوية –40 dB(μV/m). ومع ذلك تكون الهوائيات المستعمَلة في المعتاد خارج المباني، وبعيدة عنها بعض المسافة، بحيث يكون من المعقول افتراض مسافة 10 m تفصل أجهزة تلك الخدمات عن شبكة توزيع PLT. ويُفترَض أيضاً وجود توهين بسبب الجدار مقداره 10 dB.

أما الخدمات الإذاعية فيتيسَّر لها عادة شِدَدُ مجال كبيرة بما فيه الكفاية، حتى داخل المباني. وبالطبع أفضى هذا الواقع إلى استعمال هوائيات رديئة، داخل المباني في كثير من الأحيان وقريباً جداً من شبكة نقل الكهرباء، بحيث صار احتمال حدوث التداخل عالياً نسبياً.

ومن الخدمات الأخرى المرجّح أن تتأثر خدمة المغروسات الطبية التي تعمل في نطاق 401 إلى 406 MHz، بحسب المبادئ التوجيهية الموضوعة في التوصية ITU-R RS.1346. إذ ما فتئت تتزايد أهمية هذه الأجهزة في مجال "الرعاية الصحية الإلكترونية (e-health)"، وبوجه خاص من حيث التكاليف المترتبة على توفير الرعاية الصحية لجمهور سكان يزداد فيه باستمرار عدد المسنّين. ففي هذه الحالة، تعمل الأجهزة داخل المباني على مقربة وشيكة من شبكة الإمداد بالكهرباء – إذ من شبه المؤكد أن تستمد "مبرمجات" الهوائيات، كما تُعرَف الوحدات المثبَّتة، الطاقةَ من خطوط الإمداد بالكهرباء، وتشهد بالتالي سوية عالية لإشارة أنظمة PLT (بما فيها نواتج التشكيل البيني والتوافقيات) على الأسلاك التي توصلها بخطوط الإمداد، ومن ثَمّ إشعاعها على هوائيات هذه الأجهزة.

وتفادياً لحدوث تداخل إزاء المستعمِل الأولي (مثل خدمة مساعِدات الأرصاد الجوية)، أصبح إلزامياً تزويد المعايير الإنتاجية لهذه الأجهزة، مثل المعيار EN301 839، بآلية "إصغاء قبل الكلام" متطوِّرة، تقتضي عتبة منخفضة حتى +11 dB(μV/m) يُحظر كل إرسال يتجاوزها. وهكذا فإن تداخلاً من أنظمة PLT متجاوزاً لهذه السوية سيمنع المبرمج من استهلال الاتصال مع المغروسة الطبية. وعليه فإن مباعدة بمقدار 30 cm بين شبكة الإمداد المشِعّة والجهاز المبرمِج تكون ملائمة تماماً، وهكذا يمكن توقع خسارة أقل بمقدار 30 dB من الخسارة في حالة خدمة الهواة. فإذا طرحنا فائدة التوهين بسبب الجدار، الممكن توقعه لمحطة هواة، أو المِيّزات الممكنة من حيث النبذ الذي يمارسه مخطط إشعاع الهوائي، أمكن القول بأن متطلبات الحماية للمغروسات الطبية، من حيث القدرة المشَعّة من أنظمة PLT، مماثلة جداً لمتطلبات حماية خدمات الهواة.

أما خدمات البحث/الاستدعاء الراديوي العاملة بالموجات المترية (VHF) فإنها، على الرغم من فقدانها ما عرفته من رواج في فترة من الزمن، لا تزال تُستعمل في كثير من الحالات، لكونها أرخص من استعمال بدائلها مثل الهواتف الخلوية. وإذ تعمل بصورة رئيسية في نطاق موجات مترية (VHF)، فهي تخضع لتداخل التوافقيات والتداخل الأساسي من أجهزة PLT تعمل بتردد قد يصل إلى 200 MHz.

وأما المنذِرات الشخصية العاملة إما في نطاق الموجات المترية (VHF)، وإما في نطاق تردد 400 MHz، فيستعملها الأشخاص المسنّون والمعاقون، ولا سيّما الذين يعيشون لوحدهم أو في مساكن المسنين، لطلب النجدة في حالات الطوارئ. وبما أنه يجب أن تكون المرسِلات صغيرة الحجم وخفيفة الوزن – غالباً ما تُحمل في شريط يعلَّق بالعنق – وذاتَ هوائيات صغيرة غير فعالة، وذات قدرات لا تتجاوز عدداً قليلاً من المِلّيواط، فقد تحتَّم أن تكون مستقبلاتها عالية الحساسية. ففي حالة وقوع شخص بحيث يغطي جسمُه الهوائي، يزداد التوهين زيادة كبيرة، ولكن المستقبِل سَيكون قريباً جداً من شبكة الإمداد بالكهرباء، وقد تنخفض قوة الإشارة المطلوبة إلى حدود 0 dB(μV/m).

1.1.A2 الاستنتاج

مع أن من المتوقع أن تنخفض، بانخفاض التردد، سوية نواتج التوافقيات والتشكيل البيني التي تقع خارج نطاق تردد التشغيل لنظام PLT، فإن تأثيرات موصلات التجهيزات بشبكة الإمداد بالكهرباء – التأثيرات المحدثة للطنين عند ازدياد شدة المجال في المكان – تكون أرجح حصولاً منها في حالات الترددات المنخفِضة. وقد أُقيم الدليل على أن سوية ما تستلزمه خدمة الهواة وخدمة الهواة الساتلية، العاملتين بالموجات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) من حماية إزاء ما ينجم عن أنظمة PLT من تداخلات أساسية وتداخلات التوافقيات، مماثلة لسوية الحماية التي تستلزمها أنظمة أخرى يُرجَّح وجودها في البيئة المنزلية، وقد تترتب عواقب خطيرة على تعطّل اتصالاتها، بسبب تداخل ضار من إشعاع أنظمة PLT.

2.A2 الملاءمة بين الخدمة الراديوية للطيران وأجهزة PLT المنزلية في مدى التردد 30 MHz-380 MHz

يَستعمِل بعض أجهزة PLT مدى تردد يصل إلى 300 MHz من أجل اتصالات النطاق العريض في إطار شبكات الإمداد بالكهرباء وإنشاءاتها داخل المنازل ذات التيار المتناوب والتوتر المنخفض.

وينصبّ تحليل الملاءمة هذا على حماية الاستقبال الراديوي بواسطة مستقبِلات تُحمَل جواً في إطار الخدمة الراديوية للطيران وتستعمل مدى التردد 30 إلى 380 MHz.

ويرد في البند 1.5.2.A2 متطلبات الملاءمة في المستقبِل المحمول جواً من أجل خدمات الملاحة الجوية في مدى التردد 30 إلى 380 MHz. ويُسفر تطبيق هذه المتطلبات عن تحديد عتبة للتداخل يتعين أن تلتزم بها أنظمة PLT (انظر البند 2.5.2.A2). وفي سبيل معرفة ما إذا كان في استطاعة أنظمة PLT الالتزام بهذه الحدود، جرى في الدراسة تحويل الكثافة الطيفية العظمى للقدرة، كما هي معرَّفة في مختلف أنظمة PLT المعدَّة للتشغيل بترددات تفوق 30 MHz، إلى قدرة مشَعَّة/شدة مجال منبعِثة من المباني التي تجري فيها اتصالات عريضة النطاق بواسطة أنظمة PLT، وعُرِض بيان ذلك في البند 3.5.2.A2. ويبين البند 4.2.5.A2 مقدار ما يُحتمل من تداخل أنظمة PLT في مستقبِلات الملاحة الجوية.

1.2.A2 تحليل الملاءمة بخصوص التداخلات في الخدمة الراديوية للطيران

في عام 2000 أجرت هيئة BNetzA قياسات مستفيضة على إشارات كبل رقمية بقصد تحديد "شدة المجال الدنيا المطلوبة" التي تستلزمها مستقبِلات البث على الموجات المترية (VHF COM)، والموجات الديسيمترية (UHF COM)، والبث من منار راديوي بموجات مترية في جميع الاتجاهات (VOR)، ونظام الهبوط بالأجهزة مع معيِّن موقع على المدرج (ILS LOS) والوصلة الرقمية للموجات الديسيمترية (VDL) أسلوب 2). ويمكن تحويل هذه القيم إلى "شِدَد مجال التداخل الأعظمية المسموح بها في المستقبِلات المحمولة جواً" بتطبيق نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (C/I) وهي نسبة مستقلة عن النظام. وهذه القيم معروضة في الجدول 15.

الجـــدول 15

متطلبات المستقبِلات المحمولة جواً من حيث الملاءمة لإشارات تعدد إرسال تعامدي ومشفر بتقسيم التردد (COFDM) مَقيسَة بمكشاف شبه الذروة (QP) ذي عرض نطاق قدره 120 kHz

شدة مجال التداخل العظمى المسموح بها (dB(μV/m))	*C/I* (dB)	شدة المجال الدنيا المطلوبة (dB(μV/m))	
6	10	16	VHF COM 8,3 kHz Raster 117,975-137 MHz
6	10	16	VHF COM 25 kHz Raster 117,975-137 MHz
21	7	24	UHF COM 25 kHz Raster 230-380 MHz
26	13	39	VOR 40 kHz Raster 108-117,975 MHz
23	9	32	ILS –LOC 40 kHz Raster 108,1-111,95 MHz
30	9	39	VDL Mode 2 118-138 MHz

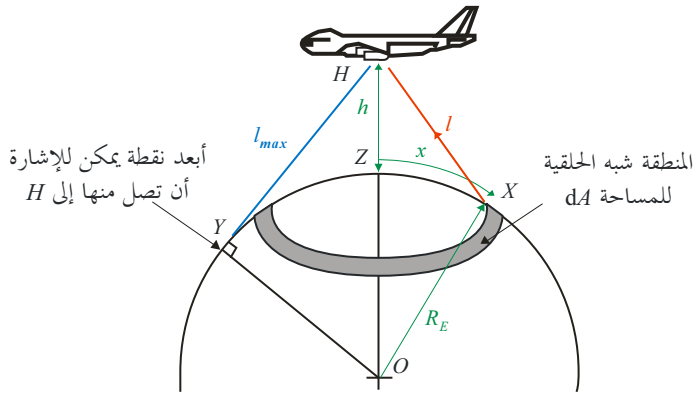
2.2.A2 حساب عتبة التداخل من أنظمة PLT بالنظر إلى متطلّبات الملاحة الجوية

1.2.2.A2 النموذج التوافقي

يُستعمل النموذج التوافقي الموضوع في تقرير مكتب الاتصالات الأوروبي، *ECC Rep 024* الملحق 7[5]، من أجل تقدير التداخل الممكن حصوله في المستقبلات المحمولة جواً بسبب تجمّع تأثيرات مصادر PLT. وقد روعيَ في هذا النموذج مجموع تأثيرات سطح مصادر تداخل معيَّن بالنسبة إلى كثافة مصادر التداخل (مصادر التداخل في الكيلومتر المربع). ويُعرض في الشكل 15 مخطط هندسي إجمالي، مع استشعار المستقبِل الذي في الطائرة لمساحة مزيدة للضوضاء الظاهرة بسبب تجمع مصادر التداخل.

الشـــكل 15

نموذج لتحديد التأثير التجميعي للتداخل



Report SM.2212-15

في حالة تداخل مفرد يصيب المستقبِل مباشرة (انتشار في الفضاء الحر)، يمكن حساب الطول l للمسار بتطبيق المعادلة التالية:

$$f[x] = \frac{1}{4\,\pi\,l^2}$$

$$l = \sqrt{R_E{}^2 - 2\,\mathrm{Cos}\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E\,(h + R_E) + (h + R_E)^2}$$

حيث قِيَم x وl محصورة مادياً بانحناء سطح الأرض:

$l_{\max} = \sqrt{h(h+2R_E)}$ و $x_{\max} = R_E \mathrm{ArcCos}[R_E/(R_E+h)]$ على التوالي

$$f[x] = \frac{1}{4\,\pi\,(R_E{}^2 - 2\,\mathrm{Cos}\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E\,(h+R_E) + (h+R_E)^2)}$$

$$\mathrm{PFD} = \frac{p_{TX}\,g_{TX}\,D\,R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\mathrm{Sin}\left[\frac{x}{R_E}\right]}{(R_E{}^2 - 2\,\mathrm{Cos}\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E\,(h+R_E) + (h+R_E)^2)}\,dx$$

[5] ECC Report 024 (2003), PLT, DSL, Cable Communications (including Cable TV), LANs and their effect on Radio Services, http://www.erodocdb.dk/doks/doccategoryECC.aspx?doccatid=4&alldata=1.

ومن أجل الشكل المنظوم:

$$\mathrm{PFD}_{\text{for unit EIRP density}} = \frac{R_E}{2}\int_{x_1}^{x_2} \frac{\mathrm{Sin}[\frac{x}{R_E}]}{(R_E{}^2 - 2\,\mathrm{Cos}[\frac{x}{R_E}]\,R_E\,(h+R_E)+(h+R_E)^2)}\,dx$$

2.2.2.A2 افتراضات

إيضاحاً للتأثير على المستقبِلات المحمولة جواً، أُخِذت مدينة برلين وبياناتها الإحصائية مثالاً:

تبلغ مساحة المدينة 900 km^2؛ ومتوسِّط المساحة لمبنى هو $1{,}16*10^{-3}$ km^2. وتغطي المباني نسبة 40% من المساحة (360 km^2)، وهكذا يكون هنالك 860 مبنى في الكيلومتر المربع (km^2). ويوجد وسطيّاً 6 طوابق في المبنى، أي 5 200 مصدر تداخل في كل km^2. فإذا افترضنا أن 10% من الطوابق مزوّدة بنفاذ إلى الإنترنت عريض النطاق بواسطة نظام PLT، تنخفض كثافة مصادر التداخل إلى 500 مصدر/km^2. وبما أن مودمات PLT لا تُستخدم جميعها في آن واحد، تنخفض كثافة مصادر التداخل بنسبة 50%، أي أن الكثافة في مدينة مثل برلين تضاهي 250 مصدر تداخل/km^2.

3.2.2.A2 عملية الحساب

إذا استعملنا قيمة شدة مجال التداخل القصوى المسموح بها المعطاة في الجدول 15، أمكننا حساب كثافة تدفق القدرة المسموح بها (*PFD*) في المستقبِل بتطبيق المعادلة التالية:

$$PFD = \frac{E^2}{120\pi}$$

حيث:

PFD: هي كثافة تدفق القدرة (W/m²)

و*E*: شدة مجال التداخل القصوى المسموح بها (V/m)

وإذا استعملنا النموذج التوافقي الموصوف في البند 1.2.2.A2 أمكننا حساب القدرة المشِعّة المسموح بها لكل مصدر ضوضاء PLT كما يلي:

$$h = 1\ \text{km} \quad R_E = 6\,371\ \text{km} \quad D = \frac{250}{\text{km}^2} \quad G_{TX} = 1{,}64 \quad \text{dBi}$$

$$P_{TX} := \frac{2\cdot PFD}{D\cdot R_E\cdot G_{TX}\cdot \int_{x_1}^{x_2(h)} \frac{\sin\left(\frac{x}{R_E}\right)}{\left[R_E{}^2 - 2\cdot\cos\left(\frac{x}{R_E}\right)\cdot R_E\cdot(h+R_E) + (h+R_E)^2\right]}\,dx}$$

$$p_{TX} := 10\cdot\log\left(\frac{P_{TX}}{10^{-3}\,\text{W}}\right)$$

h : ارتفاع الطائرة (km)

R_E : نصف قطر الأرض (km)

G_{TX} : كسب الهوائي لمصدر متناحٍ (dBi)

D : كثافة مصادر التداخل/km^2

PFD : كثافة تدفق القدرة (W/m²).

وطبِّقت الحسابات على حالات ارتفاع الطائرة التالية: 300 m و1 000 m و10 km. فلم يوجد فرق بين ارتفاع 300 m وارتفاع 10 km إلاَّ 2 dB، أي أن ارتفاع الطائرة يمكن إسقاطه من الحسبان.

أما نتائج حساب التداخل تبعاً لارتفاع 1 km ولكثافة 250 مصدر تداخل/km^2 فهي موجزة في الجدول 16 التالي. ويحتوي هذا الجدول شدة مجال التداخل العظمى المسموح بها منقولة عن الجدول 1، وكثافة تدفق القدرة (PFD) محسوبة في المستقبِل المحمول جواً، والقدرة المشِعّة العظمى المسموح بها الناجمة عن مصدر ضوضاء PLT واحد موقعه على الأرض.

الجـــدول 16

القدرة المشِعّة العظمى المسموح بها من مصدر PLT واحد للضوضاء
مَقيسَةً بمكشافٍ لشبه ذروة (QP) ذي عرض نطاق قدره 120 kHz

	شدة مجال التداخل العظمى المسموح بها عند المستقبِل المحمول جواً (dB(μV/m))	PFD كثافة تدفق القدرة العظمى المسموح بها عند المستقبِل المحمول جواً (pW/m^2)	PTX القدرة المشِعّة العظمى المسموح بها من مصدر PLT واحد للضوضاء
VHF COM 8,3 kHz raster 117,975-137 MHz	6	0,0106	–80 dBm / 10 dB(pW)
VHF COM 25 kHz raster 117,975-137 MHz	6	0,0106	–80 dBm / 10 dB(pW)
UHF COM 25 kHz raster 230-380 MHz	21	0,334	–65 dBm / 25 dB(pW)
VOR 40 kHz Raster 108-117,975 MHz	26	1,056	–60 dBm / 30 dB(pW)
ILS-LOC 108,1-111,95 MHz	23	0,529	–63 dBm / 27 dB(pW)
VDL Mode 2 118-138 MHz	30	2,653	–56 dBm / 34 dB(pW)

تتغير القيم العظمى المسموح بها للقدرة المشِعّة من مصدر PLT واحد للضوضاء بخصوص خدمات مختلفة، من 10 إلى 34 dB(pW).

3.2.A2 حساب كثافة تدفق القدرة التي تسببها الحدود الموضوعة لمعايير نظام PLT

إن الكثافة الطيفية العظمى للقدرة مقيَّسة بخصوص أجهزة PLT المعَدَّة للاتصالات داخل المباني، وذلك بناء على معيار كالذي وضعه القطاع ITU-T ومعهد المهندسين الكهربائيين والالكترونيين (IEEE)، مثلاً.

الجـــدول 17

الكثافة الطيفية العظمى للقدرة كما حددتها منظمات مختلفة

	الكثافة الطيفية العظمى للقدرة المحددة لأجهزة PLT ترددها فوق 30 MHz
التعديل 1 على التوصية ITU-T G.9960	–85 dBm/Hz (r.m.s.)
مشروع المعيار IEEE P1901	–85 dBm/Hz (AV)

بخصوص إشارات اتصال شبيهة بالضوضاء، جاءت العلاقة بين قراءات قياسات المستقبِل من مكاشيف مختلفة، على النحو التالي:

أ) مكشاف ذروة (PK) 0 dB قيمة مرجعية

ب) مكشاف شبه ذروة (QP) – 2 dB

ج) مكشاف جذر متوسط التربيع (r.m.s.) – 10 dB

د) مكشاف متوسِّط (AV) – 112 dB

استُعمِلت في عملية الحساب التالية سوية عظمى لكثافة طيف قدرة (PSD) الإرسال بقيمة – 85 dB/Hz (r.m.s.). وافتُرض أن الكثافة العظمى لطيف القدرة ثابتة للترددات ما فوق 30 MHz. وأُجريَ التحويل إلى شدة مجال مشَعَّة متجمِّعة على بعد 10 m من المبنى (مَقيسَةً بمكشاف ذروة) بنفس الطريقة (نمذجة العناصر المحدودة). وعلى افتراض أن الهوائي متناحٍ، يمكن تحويل شدة المجال إلى قدرة بتطبيق المعادلة التالية:

$$P_t = E + 20\log d - 74{,}8$$

حيث:

E : شدة المجال dB(μV/m)

P_t : القدرة (dBm)

d : المسافة (km).

واستُعملت هنا نفس الافتراضات التي ورد استعمالها في البند 2.2.2.A2 أي: كثافة لمصادر التداخل بقيمة 250 مصدر تداخل/km^2، وطائرة على علو 1 km.

الجـــدول 18

الكثافة العظمى لتدفق القدرة عند المستقبِل المحمول جواً

الكثافة العظمى لطيف القدرة المحددة لأجهزة PLT لما فوق 30 MHz من الترددات	**شدة المجال المشَعّة المتجمّعة على مسافة 10 m من المبنى**	**القدرة المتجمّعة المعادِلة لشدة المجال**	**PFD كثافة تدفق القدرة المتجمّعة عند المستقبِل المحمول جواً**
–85 dBm/Hz (r.m.s.)	(PK) 33 dB(μV/m)	(PK) 4 nW	(PK) 3,903 pW/m²

يُقرأ في الجدول 18 أن جهاز PLT متصفٌ بكثافة عظمى لطَيْف القدرة بقيمة –85 dBm/Hz (r.m.s.)، يسبب إشعاع شدة مجال بقيمة 33 dB(μV/m) مَقيسَةً بمكشاف ذروة.

4.2.A2 مقارنة عتبة التداخل المطلوبة لمستقبِل محمول جواً مع التداخل الناجم عن أنظمة PLT

أُدرجت في الجدول 16 القيم المسموح بها لشدد مجال التداخل العظمى ولكثافة تدفق القدرة عند المستقبِل المحمول جواً. ويحتوي الجدول 18 القيمة المناظرة لكثافة تدفق القدرة المتجمعة عند المستقبِل المحمول جواً المشَعّة من أنظمة PLT، كما يحتوي تحويل هذه القيمة إلى شدة المجال العظمى المشَعّة عند المستقبِل المحمول جواً.

ويعرض الجدول 19 مقارنة للقيم العظمى المسموح بها لشدة المجال وكثافة تدفق القدرة (انظر البند 2.2.A2) مع القيَم المشَعّة (انظر الفقرة 4). وتوخّياً لمقارنة أفضل، أُرجعت القيم الذروية المستعملة لتداخل أنظمة PLT في الجدول 18 إلى قيم شبه ذروية في الافتراضات التالية، أي خُفِضت بمقدار 2 dB.

الجـــدول 19

مقارنة للقيم العظمى المسموح بها لشدة المجال وكثافة تدفق القدرة مع القيَم المشَعّة المتجمِّعة، عند المستقبِل المحمول جواً، وذكر الهامش المطلوب للحماية (جميع القيم معطاة على أنها شبه ذروية (QP))

	شدة مجال التداخل العظمى المسموح بها (dB(μV/m))	الكثافة العظمى المسموح بها لتدفق القدرة (pW/m²)	شدة المجال المشَعّة المتجمّعة (dB(μV/m))	كثافة تدفق القدرة المشَعّة المتجمّعة (pW/m²)	الهامش المطلوب للحماية (dB)
VHF COM 8,3 kHz raster 117,975-137 MHz	6	0,0106	30	2,512	24–
VHF COM 25 kHz raster 117,975-137 MHz	6	0,0106	30	2,512	24–
UHF COM 25 kHz raster 230-380 MHz	21	0,334	30	2,512	9–
VOR 40 kHz Raster 108-117,975 MHz	26	1,056	30	2,512	4–
ILS-LOC 108,1-111,95 MHz	23	0,529	30	2,512	7–
VDL Mode 2 118-138 MHz	30	2,653	30	2,512	0

في العمود الأخير من الجدول 19 يُقرأ الهامش الضروري للحد من التداخل الذي تسببه أجهزة PLT. فعلى افتراض أن الكثافة العظمى لطيف القدرة فيما يخص أجهزة PLT قيمتها –85 dBm/Hz (r.m.s.) ، يلزم خفض القيمة بمقدار 24 dB في حالة الأنظمة التي تبث على الموجات المترية (VHF). فالهوامش تتغير من إلى –24 dB تبعاً للنظام المعني.

وقد أُجريت هذه الحسابات لحالة كثافة تداخل قيمتها 250 مصدر تداخل/km^2 والتصحيح يتغيّر خطياً تبعاً لكثافة مصادر التداخل (انظر أيضاً الوثيقة 1A/157).

الجـــدول 20

القيم التصحيحية تبعاً لكثافة مصادر التداخل

كثافة مصادر التداخل (عددها/km^2)	القيمة التصحيحية (dB)
50	7
100	4
150	2
200	1
250	0
300	1–

5.2.A2 الاستنتاجات

إذا افترضنا لأجهزة PLT كثافة عظمى لطيف القدرة بقيمة –85 dBm/Hz (r.m.s.) ، كما هو محدد على سبيل المثال في التوصية ITU-T G.9960، فإن جميع أنظمة الاتصالات الراديوية للطيران العاملة في مدى ترددات فوق 80 MHz التي نُظر فيها، باستثناء الوصلة الرقمية للموجات الديسيمترية (VDL) أسلوب 2، تتعرض من أنظمة PLT لتداخل في المستقبل المحمول جواً. والأنظمة المقصودة هي: نظام البث على الموجات المترية (VHF COM) والبث على الموجات الديسيمترية (UHF COM) والبث من منار راديوي بموجات مترية في جميع الاتجاهات (VOR) ونظام الهبوط بالأجهزة مع معيِّن موقع على المدرج (ILS LOC).

ويصل هامش الحماية المطلوب لأنظمة الملاحة الجوية إلى 24 dB في حالة أنظمة الموجات المترية (VHF). أي، بعبارة أخرى، يجب أن تُخفَض بمقدار هذا الهامش الكثافة العظمى لطيف القدرة في أجهزة PLT.

3.A2 نموذج تجميعي لأنظمة PLT ممكن التطبيق على الاتصالات الراديوية للطيران وأنظمة الملاحة الراديوية

على افتراض خسارة مستمرّة طيلة المسير في الفضاء الحر، يمكن ترجمة القيمة الدنيا لخسارة الاقتران إلى القيمة الدنيا للمسافة الفاصلة بالنسبة إلى مصدر واحد باستعمال الصيغة التالية:

$$L_{bf} = 32{,}4 + 20\log(f) + 20\log(d)$$

حيث:

L_{bf} = خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر (dB)

f = التردد (MHz)

d = المسافة (km).

ويمكن تجميع كل التداخل الصادر عن النقطة المعيّنة باستعمال الصيغة التالية:

$$A = \frac{W_{eirp}\lambda^2 G_r \rho R_e}{16\pi(R_e + h)} \bullet \ln\left(\frac{\left(2(R_e + h)H + h^2\right)}{h^2}\right)$$

حيث:

A = متوسِّط التداخل المتجمِّع (كذا واط لكل وحدة من عرض النطاق)

W_{eirp} = المتوسط المكافئ للقدرة المشعة المكافئة المتناحية (EIRP) لجهاز PLT (كذا واط لكل وحدة من عرض النطاق)

λ = طول الموجة (m)

Gr = كسب هوائي المستقبِل المتأثر بالتداخل (dB)

ρ = متوسِّط الكثافة لمرسِلات PLT (عدد المرسلات في المتر المربع)

R_e = نصف قطر الأرض الفعال (m)

R = نصف قطر المنطقة المرصودة أو الأفق الراديوي

h = ارتفاع هوائي المستقبِل عن سطح الأرض (m)

H = $R_e(1 - \cos(R/R_e)$

الملحق 3

إشعاع الترددات الراديوية الصادر عن أنظمة PLT في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)

A3 إشعاع الترددات الراديوية الصادر عن أنظمة PLT في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)

يعالج هذا الملحق موضوع التأثير على خدمات الاتصالات الراديوية من إشعاع أنظمة الاتصالات السلكية، بما فيها أنظمة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية (PLT)، وموضوع المعايير اللازمة للحماية. إذ إن أنظمة PLT كانت في بدايتها تعمل بترددات تحت 30 MHz وكان الإشعاع الناجم عنها محصوراً ضمن هذا المدى. ولكن لسوء الحظ أخذ في التزايد استعمال أسلاك الإمداد بالطاقة الكهربائية لإرسال بيانات في النطاق العريض. وبالطبع ليست أسلاك الإمداد بالطاقة الكهربائية مصمّمة ولا مهندسة من أجل إرسال بيانات كثيفة في النطاق العريض، ولذا فإن الإشعاع العرَضي من هذه الأسلاك جاء نتيجة لهذا الاستعمال. وأي مستقبِل إذاعي يعمل على مقربة من موصل كهرباء حامل لاتصالات PLT يلتقط هذا الإشعاع بشكل زيادة في ضوضاء الخلفية. ويؤثر هذا الإشعاع على استطاعة المستقبِل استبانة الإشارات المنخفضة السوية. وقد أفادت القياسات المجراة على أجهزة PLT أن الإشعاع يحدث مع الترددات التي تفوق 300 MHz. وجاء هذا التقرير يوجز نتائج الاختبارات هذه وكذلك التأثير على خدمات الاتصالات الراديوية.

وقد استُكمِل هذا الملحق ببيانات من نتائج التحليلات، ومن التجارب المختبرية، والاختبارات الميدانية، وبرامج قياس متنوعة، ويمكن الاطلاع على كل ذلك في التقريرين ITU-R SM.2158 وITU-R SM.2157.

1.A3 القياسات التي أجراها معهد التكنولوجيا الراديوية على مودمات PLT

يقدِّم هذا القسم معلومات تقنية عن أداء بعض أنظمة PLT وخصائصها الإشعاعية. وتشتمل هذه المعلومات على نتائج قياسات استعمال الطيف في المودمات الحديثة للاتصالات عبر خطوط الإمداد بالطاقة الكهربائية (PLT)، قياسات أُجريَت في معهد التكنولوجيا الراديوية (IRT, Institut für Rundfunktechnik GmbH)، المؤسسة المركزية للبحث والتطوير لدى منظمات الخدمة الإذاعية العمومية في ألمانيا والنمسا وسويسرا. وقد أريد بهذه المعلومات المساعدة على تقدير التداخلات الناجمة عن أجهزة PLT.

1.1.A3 نظرة شاملة على القياسات

يبلغ مدى التردد النمطي للتكنولوجيَّتَيْن PLT التقليديتَيْن المستعملتَيْن في شتى أنحاء أوروبا حتى عام 2010 مقدار 2-30 MHz لنظام Homeplug AV و2-32 MHz لنظام UPA. ويُستعمَل تثليم التردد من أجل خفض التداخل على الإشارات إلى أدنى حد داخل نطاقات التردد التي يستعملها مشغلو خدمة الهواة الراديوية. وبالإضافة إلى ذلك، تُخفَض قدرة الإرسال في مختلف مديات التردد بمقدار 30 dB بقصد تقليل التداخل مع مستعملين آخرين في هذه الأقسام من طيف التردد. ومنذ نهاية عام 2009 تيسّرت في الأسواق مكيِّفات افتُرِض فيها أن تمكّن من الإرسال بمعدلات كبيرة تصل حتى 1 Gbit/s (معدل الذروة). ثم إنه خلافاً لنظام Homeplug AV ، تستعمل التوصية ITU-T G.9960 (10/06) والمعيار IEEE-1901 (المسمّى أيضاً Homeplug AV2) مدى تردد أوسع بكثير (من 2 MHz إلى 30 MHz ومن 50 MHz إلى 305 MHz)، يشمل النطاق II (FM) للموجات المترية (VHF) والنطاق III (DAB). فقياس استعمال تكنولوجيات PLT هذه للطيف، وخصوصاً من جانب ممثل عن تكنولوجيا mediaxtream، أحدث مجموعة رقاقات Gigabit من صنع Gigle[6]، يهدف إلى معرفة الأداء في ظل ظروف حمل واقعية على خطوط الكهرباء، ومعرفة سويات الإشعاع الممكنة أيضاً. ويبقى لازماً إيضاح إلى أي مقدار يُحتمل أن يحدث تداخل أو تأثيرات ضارة في النطاقات الإذاعية بسبب استعمال هذه المكيِّفات لأنظمة PLT.

2.1.A3 أداء أنظمة PLT

على الرغم من أن نفس مجموعة الرقاقات Intellon INT6300 مستعمَلة في منتجات Allnet وDevolo وZyxel، وأن نفس مجموعة الرقاقات DS2 DSS9010 مستعمَلة في منتجات AcBel وConceptronic، يمكن كشف فوارق من حيث الأداء بين منتَج وآخر. فالقيم المسجَّلة من القياس تبيِّن أداء جيّداً جداً من جميع أجهزة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالكهرباء التي تعمل وفقاً لبروتوكول التحكم في الإرسال (TCP). إذ إنها، حتى على مسافة 22 m ومع أطوار للتيار مختلفة، تُحرِز معدلات إرسال قِيَمُها من 50 إلى 74 Mbit/s، فتسمَح، مثلاً، بتدفق إشارتين عاليتَيْ الاستبانة، ويبقى لها استطاعة احتياطية للنقل بمعدل 10 Mbit/s لأغراض أخرى. فالمكيِّفات المشار إليها، سواء كانت من صنع Allnet أو Devolo أو Zyxel أو AcBel أو Conceptronic تتصف كلها بمعدل إرسال أقصى اسمي قدره 200 Mbit/s، يساوي معدل إرسال بيانات صافٍ أقصى يقرُب من 80 Mbit/s. أما المكيِّفات Belkin Gigabit power line HD[7] (بلكين جيغابتة الخاصة بالاتصالات عبر خطوط الإمداد بالكهرباء والعالية الاستبانة (HD))، المجهَّزة بمجموعة رقاقات (GGL541) من صنع Gigle، فيلزم لها تحليل خاص، لأنها المكيّفات الوحيدة التي لها توصيل بشبكة جيغابتة ولها معدل إرسال أقصى اسمي مقداره 1 000 Mbit/s. ولكن من الجائز، في ظروف تشغيل واقعية، أن يكون معدل إرسال البيانات الصافي الأعظمي أقل من هذا المقدار بشكل ملحوظ. ومع ذلك فإن مجموعة رقاقات Gigle GGL541 تمكّن، في حالة استعمال طيف 50-305 MHz، من إحراز معدل إرسال بيانات أعلى بشكل ظاهر مما تتيحه مجموعات رقاقات Intellon (2-30 MHz) وDS2 (2-32 MHz). فقد مكّنت مكيِّفات Belkin من البرهنة على ذلك على مسافة 2,3 m، مثلاً. وعلى "مسافات أقصر" يفوق أداء مجموعة رقاقات Gigle أداء مجموعات رقاقات Intellon وDS2 بعامل زيادة قدره 3,5. ولكن، على مسافة 22 m، ينحط أداء مكيّفات بلكين. وابتداءً من مسافة خطية طولها يقارب 10 m أو مع توهين أعلى بين مكيِّفَيْ بلكين، لا تشتغل الأجهزة إلاَّ في طيف Homeplug AV (نطاق التردد الخفيض: 2-30 MHz). وعندئذ يكون صبيب البيانات البالغ 50 Mbit/s أخفض بنسبة 30% تقريباً من صبيب مكيِّفات Intellon وDS2.

ومنذ ديسمبر 2010 أصبحت متيسِّرة في السوق المكيِّفات الخاصة بخطوط الكهرباء الحاملة للاتصالات، والمعتمدة على المعيار IEEE-1901 الخاص بهذه الخطوط. وكانت مجموعة رقاقات Atheros AR7400[8] هي الأولى في السوق التي وفت بهذا المعيار.

---

[6] في ديسمبر 2010 حازت شركة Broadcomm ملكية شركة شبكات Gigle.

[7] المكيّفات Gigabit Power line: HD F5D4076 S v1 وF5D4076 S v1 وMSI ePower 1000HD تستعمل مجموعة رقاقات Gigle (GGL541)، وقياسها يعطي نفس النتائج.

[8] Qualcomm اشترى Atheros بعدما اشترى هذا Intellon بفاصل زمني قصير.

وهي تستعمل مدى ترددات أوسع (من 2 MHz إلى 68 MHz) من مدى المعيار Homeplug AV (من 2 MHz إلى 30 MHz)، ولكنها لا تستعمل النطاقات الراديوية المستعملة عالمياً مثل نطاقات FM بين 76 و108 MHz ونطاقات DAB بين 174 و240 MHz. ويرمي توسيع مدى الترددات واتّباع طريقة تشكيل أكثر فعالية تصل حتى 4096 QAM (تشكيل اتساع تربيعي) إلى تمكين المنتجات الخاصة بخطوط الكهرباء الحاملة اتصالات المعتمدة على رقاقات AR7440، من الاتصال بمعدل بيانات يفوق 500 Mbit/s (معدل ذروي) في الطبقة المادية. وقد بادر مصنِّعون شهيرون لمكيِّفات خطوط الكهرباء الحاملة للاتصالات، أمثال Netgear وTrendnet وTP-Link وDevolo وD-Link وAVM وBillion وMSI وAllnet، إلى الإعلان عن قرب إدخال أجهزة تفي بالمعيار IEEE-1901 إلى السوق أو إلى إدخالها فعلاً.

ويعرض الجدول 21 الخصائص التقنية لما تم قياسه من مكيِّفات خطوط الكهرباء الحاملة للاتصالات. فالمكيِّفات الواردة في الجدول التي جرى اختبارها هي: ثلاثة أزواج معيارية Homeplug AV من إنتاج المصنِّعين Allnet وDevolo وZyxel وجهازان UPA من تصنيع AcBel وConceptronic. واختُبرت أيضاً، بصفة صيغة ثالثة وعُرِضت في الجدول، مكيِّفات Gigabit من تصنيع Belkin خاصة بخطوط الكهرباء الحاملة للاتصالات؛ وهي المكيِّفات الوحيدة المتصفة بمعدل إرسال اسمي أعظمي مقداره 1 000 Mbit/s. واختُبِر كصيغة رابعة مكيِّفان من تصنيع Netgear متَّصفان بمعدل إرسال اسمي أعظمي قيمته 500 Mbit/s.

الجـــدول 21

مواصفات المكيِّفات المختبَرة الخاصة بخطوط الكهرباء الحاملة للاتصالات

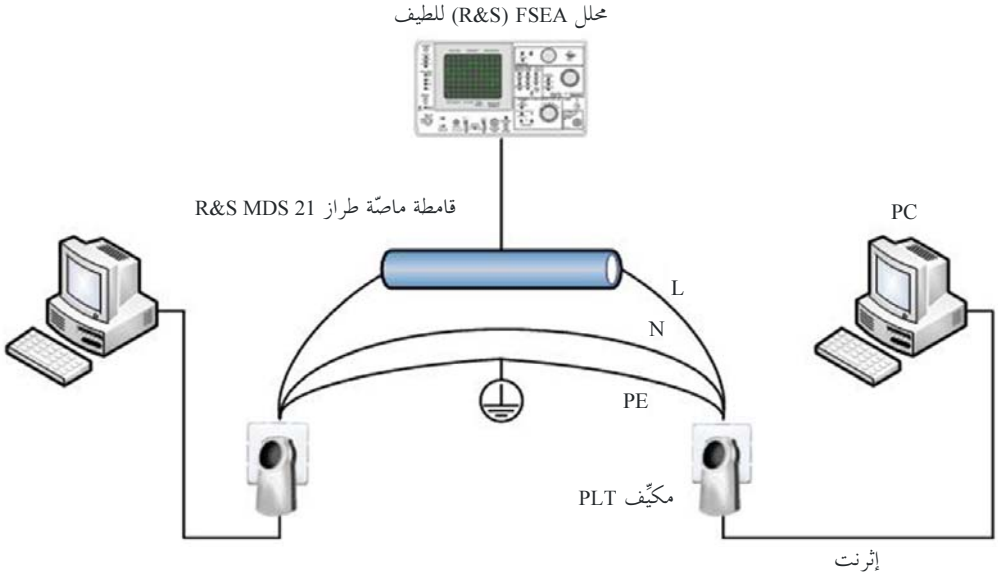
المصنِّع	Allnet	Devolo	Zyxel	Belkin	AcBel	Conceptronic	Netgear
المنتَج	ALL168203	dLAN 200 Avplus	PLA-400 v2	Gigabit Power line HD	DH10PF	Homeplug 200 Mbit/s	Power line AV 500 XAVB5001
المعيار	Homeplug AV			HPAV2 mediaxtream	UPA		IEEE-1901
سرعة الإرسال (الاسمية)	Mbit/s 200			Mbit/s 1 000	Mbit/s 200		Mbit/s 500
الطيف	MHz 30-2			MHz 30-2 MHz 300-50	MHz 32-2		MHz 68-2
البروتوكول	CSMA/CA			CSMA/CA TDMA MAC	TDMA MAC		
التشكيل	OFDM – 1 155 carrier, 1 024/256/64-QAM, QPSK, BPSK				OFDM – 1 536 carrier		OFDM – 4 096 carrier

3.1.A3 قياسات طيف الترددات

في سبيل تحقيق القياسات، وُضِع سلك واحد، من أسلاك كبل الكهرباء الذي كان ينقل حركة البيانات، في قامطة ماصَّة من طراز R&S MDS 21، وتُرِك السلكان الآخران خارجها (انظر الشكل 16). ويشار إلى توهين قامطة القياس بقيمة 17 dB في حالة مدى ترددات من 30 إلى 1 000 MHz؛ وبالتالي يجب أن تضاف قيمة التوهين هذه إلى السويات المشار إليها حتى تُعرَف بالضبط سوية التردد العالي (HF) على خط الكهرباء. واستعمِلت في القياسات أجهزة AcBel وAllnet وBelkin لكي تكون تمثيلية لمعيار خط الكهرباء. فأُجرِيَ توليد لنقل بيانات، بين مكيِّفَيْن لخط الكهرباء تصنيعهما واحد، دَفَعَ بالأجهزة إلى أقصى أداء لها. وأثناء القياس الفعلي للأداء، سجَّل محلل للطيف من طراز FSEA طيف الترددات.

الشـــكل 16

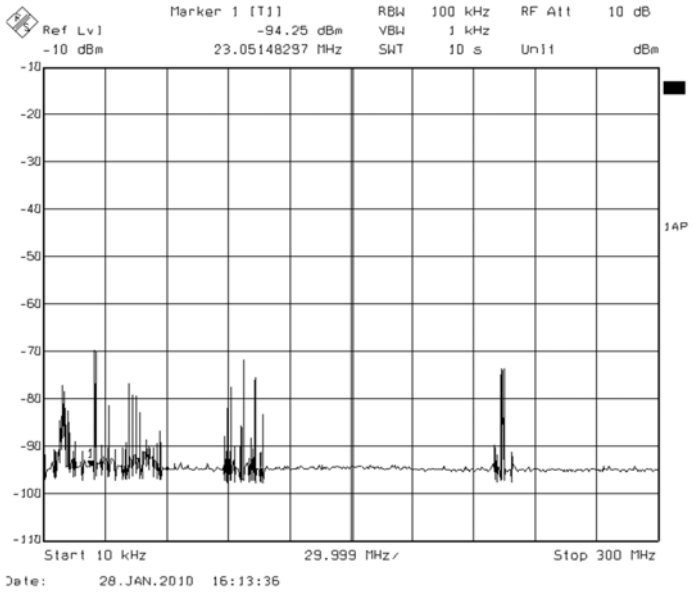
تركيب عدة القياس مع القامطة الماصّة



Report SM.2212-16

الشـــكل 17

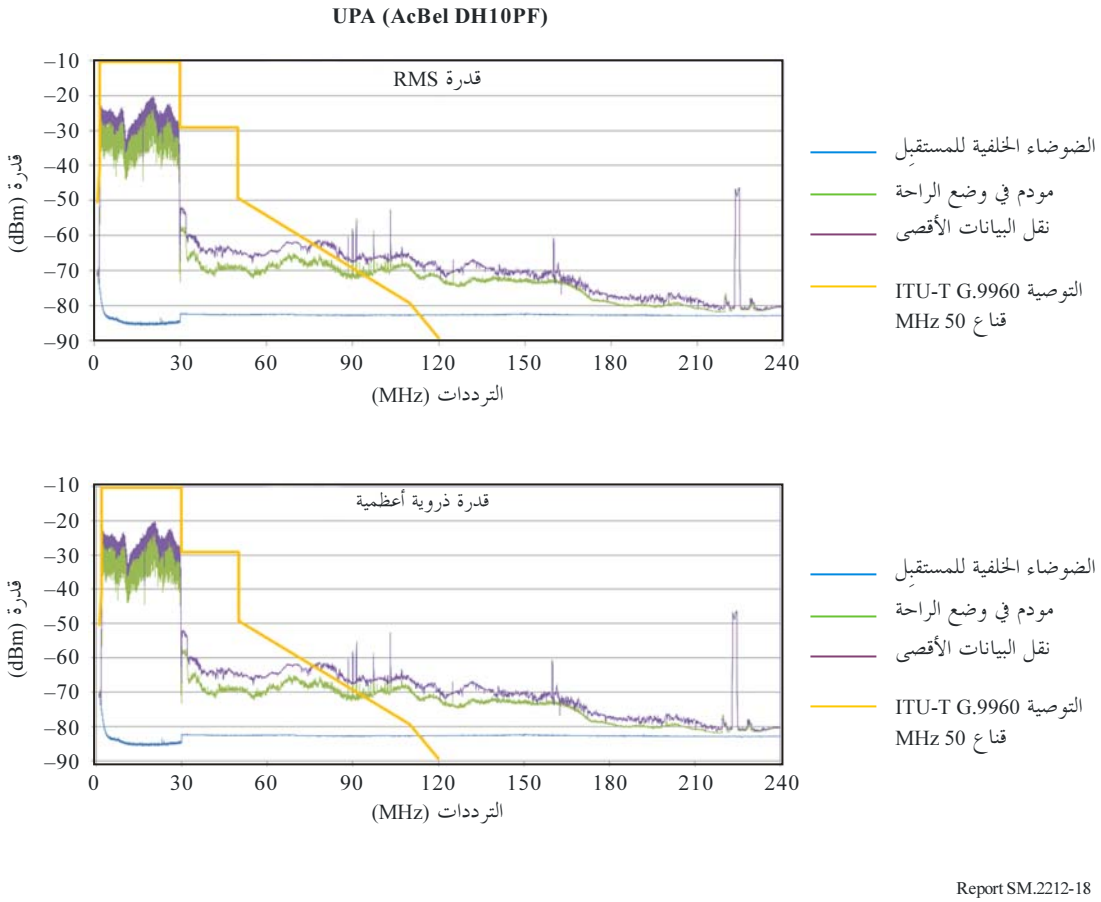
إشارات على الهواء والضوضاء المحيطة في موقع القياس. يمكن (بين جملة أمور) مشاهدة: الموجات القصيرة (SW) وتشكيل التردد FM (MHz 108-87,5) والإذاعة السمعية الرقمية DAB (حوالي MHz 215)



Report SM.2212-17

الشـــكل 18

طيف القدرة في جهاز AcBel UPA بأسلوب الراحة وبصبيب بيانات أعظمي

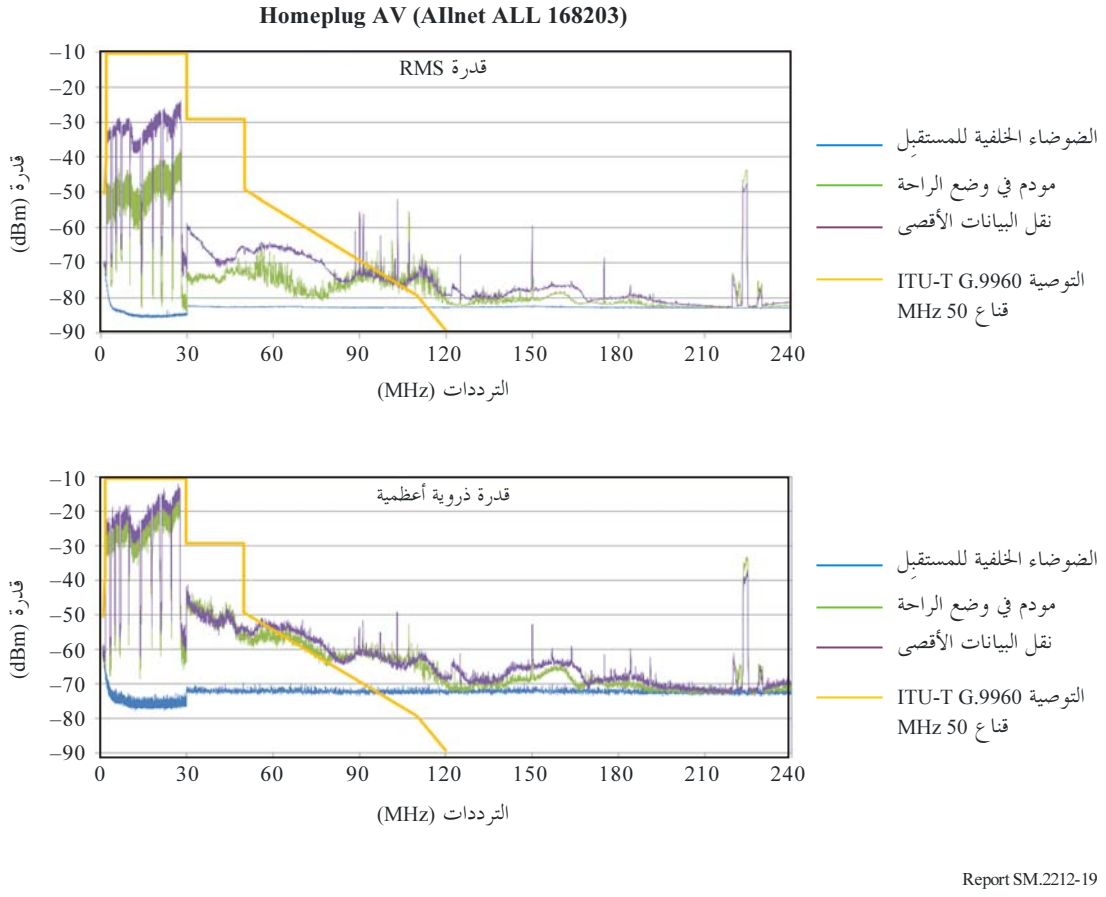


وتبعاً للمصنِّع، تَستعمِل المكيِّفات الخاصة بخطوط الكهرباء والوافية بمعيار UPA مدى ترددات من 2 إلى 32 MHz. لكنَّ تحليل الطيف يبيِّن (انظر الشكل 18) أن المعيار UPA يولِّد أيضاً مكوِّنات طيفية تفوق 32 MHz وتصل إلى قرابة 190 MHz، على الرغم من توهينها البيِّن بنحو 50 dB. أما السويات في المدى الفعلي للتشغيل فهي تقريباً –15 dBm (بما في ذلك توهين القامطة الماصّة).

وتبعاً للمصنِّع أيضاً، تَستعمِل المكيِّفات الخاصة بخطوط الكهرباء والوافية بمعيار Homeplug AV مدى ترددات من 2 إلى 30 MHz. لكن مكيِّفات Homeplug AV وUPA تختلف من حيث طيف الترددات، وإنْ أشارت إلى نفس المعدل الأعظمي للإرسال وهو 200 Mbit/s. وكذلك يُبدي مكيِّف Homeplug AV سويّات عالية في مدى الترددات المنخفضة؛ غير أن سَوِيَّاته من حيث المكوّنات الطيفية العليا أخفض من نظيراتها لأجهزة المعيار UPA (انظر الشكل 19). ويصل مدى المكوِّنات الطيفية حتى قرابة 70 MHz.

الشـــكل 19

طيف القدرة للمكيِّف Allnet Homeplug AV في أسلوب الراحة مع صبيب بيانات أقصى

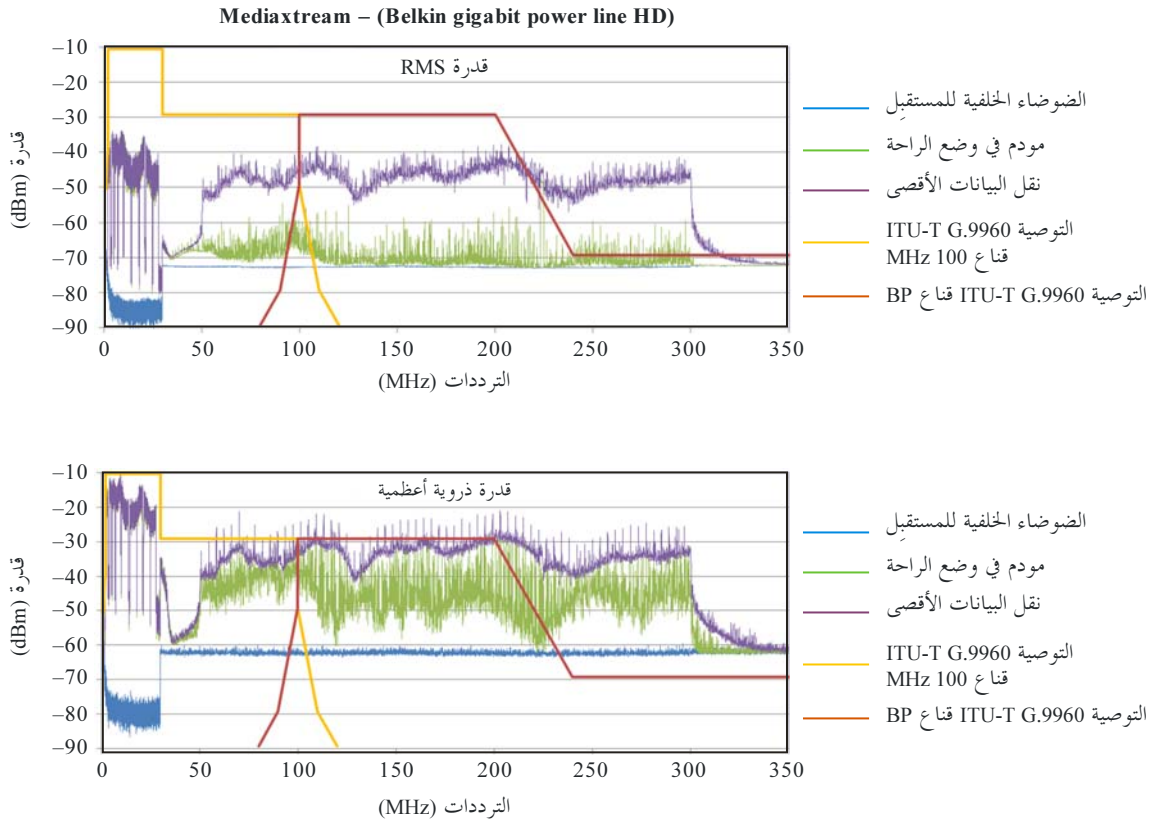


Report SM.2212-19

وتبعاً للمصنِّع، تستطيع المكيِّفات الخاصة بخطوط الكهرباء، والمجهَّزة بمجموعات رقاقات mediaxtreme، أن تؤمِّن الاتصال في مدى الترددات 2-30 MHz (HPAV) وفي مدى 50-300 MHz. إلاَّ أن الاستعمال المتآون لمديَيْ الطيف ليس ممكناً (بَعد). وفي حالة نقل بيانات في إطار عدة توصيلات TCP، تَبيَّنَ أن الاتصال بين مكيِّفَيْن يجري في مدى 50-305 MHz للطيف (النطاق الأعلى)، (انظر الشكل 20). والسويّات في مدى التردد هذا أخفض بقرابة 25-30 dB من نظيراتها عند استعمال أجهزة من صنع AcBel وDevolo (2-32/30 MHz). وعلى الرغم من تحقق الاتصال في النطاق الأعلى، فإن الأجهزة الوافية بمعيار mediaxtream والخاصة بتكييف خطوط الكهرباء، تُبدي بصورة متآونة مكوِّنات طيفية في النطاق الأدنى.

الشـــكل 20

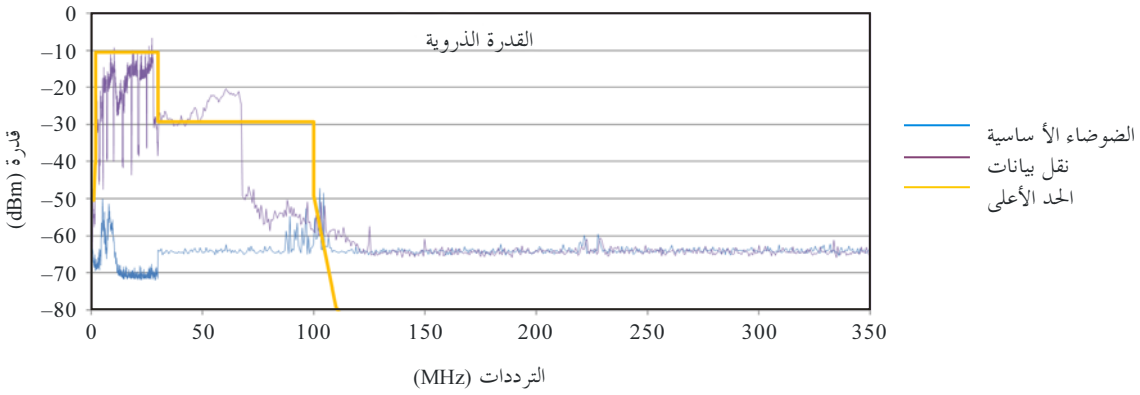
طيف القدرة لمكيِّف بلكين في حالتَيْ أسلوب الراحة وصبيب بيانات أقصى



Report SM.2212-20

الشـــكل 21

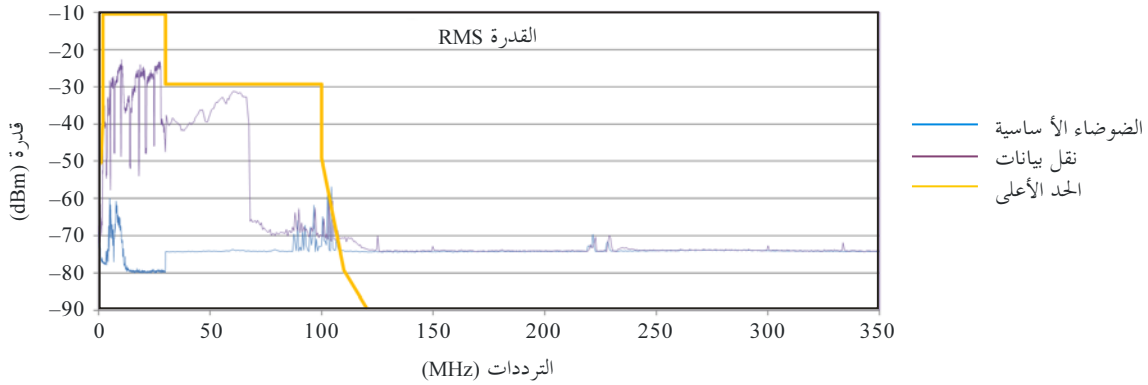
طيف القدرة الذروية لمكيِّف Netgear AV500 في حالة صبيب بيانات أعظمي (dBm)
الحد الأعلى (باللون الأصفر) يوافق التوصية ITU-T. G.9960



Report SM.2212-21

الشـــكل 22

طيف القدرة RMS لمكيِّف Netgear AV500 في حالة صبيب (dBm) بيانات أعظمي



Report SM.2212-22

4.1.A3 الإشعاع التداخلي الصادر عن مودم PLT بلكين "Power line Gigabit" F5D4076-S v1

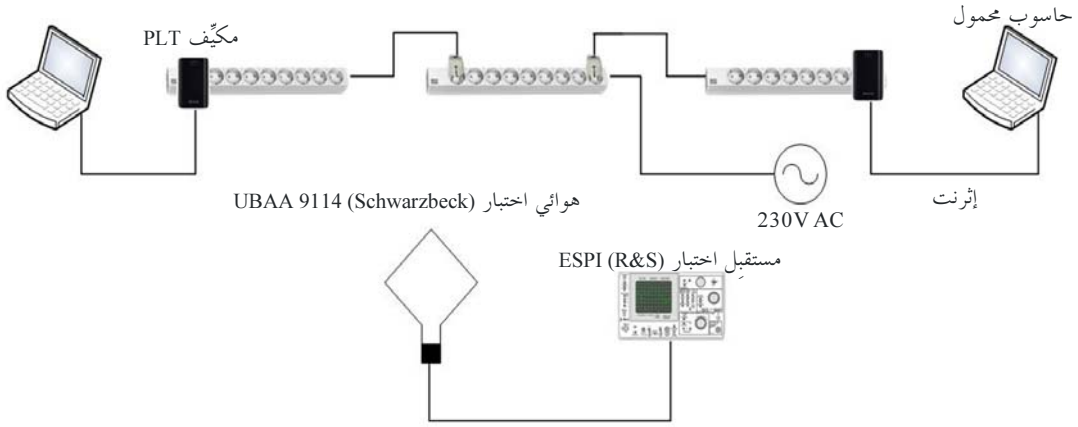
أُخِذت وصلتان لتمديد الشبكة الكهربائية الرئيسية، كل منهما كبل لنقل الكهرباء طوله 1,5 m، وجرى توصيلهما عن اليمين واليسار بوصلة لتمديد الشبكة الكهربائية الرئيسية موصَّلة بمقبس جداري للشبكة الرئيسية (توتر 230 V)، بحيث يمكن وضع وصلتَيْ التمديد على مسافة 3 m فوق طاولة (انظر تركيب عدّة القياس في الشكل 23). وهنالك مودمان Belkin يأخذان التيار من مقبسين خارجيين، وهما موصَّلان بحاسوبين محمولين. ثم أُجريَ إرسال بيانات بمعدل صافٍ يبلغ حتى 250 Mbit/s (TCP)، باستعمال الأداة البرمجية IxChariot. وكان هوائي من طراز Schwarzbeck UBAA 9114 قد نُصِب على مسافة 3 m وارتفاع 1,5 m. والتُقطت شدة المجال المستقطَبة أفقياً وعمودياً في مدى تردد 30-320 MHz. وأُخذت القياسات بواسطة مستقبِل من طراز R&S ESPI لاختبار التوافق الكهرمغنطيسي (EMC). وكانت ضوابط المستقبِل المختار للاختبار كما يلي:

- عرض نطاق القياس: 120 kHz؛
- قفزة القياس: 40 kHz؛
- زمن القياس: 100 ms؛
- بوجود مضخِّم أولي؛
- التوهين: 10 dB؛
- المكشافان المستعملان في القياس: مكشاف ذروي ومكشاف r.m.s. (جذر متوسط التربيع).

وكان معدل التحويل (عامل الهوائي) الخاص بهوائي النطاق العريض UBAA9114 قد أُدخِل في المستقبِل كجدول قِيَم تابع لتردد الاستقبال، لكي تُسجَّل نتائج القياس مباشرة بوحدات dB(μV/m). وفي جولتَيْن من القياس أُخِذت القيمة الذروية والقيمة r.m.s. لشدة المجال مع كل تردد. ولم تُؤخَذ قياسات بمكشاف شبه ذروي لأن عملية كهذه تستغرق ساعات طويلة من أجل قياس قيمة واحدة. ولكن، بدلاً من ذلك، استُعمل عمْداً مكشاف القيمة شبه الذروية من أجل تكرار تأثير التداخلات النبضية على أُذن الإنسان أثناء استقبال برنامج راديوي تماثلي. وباستثناء نطاق FM، يؤثر التداخل في حالات تردد يفوق 30 MHz على الخدمات الرقمية، ويمكن وصف تأثير التداخل على هذه الخدمات وصفاً أفضل بقيم r.m.s. وقيم ذروية.

الشـــكل 23

تركيب عدة أخذ قياسات الإشعاع التداخلي



Report SM.2212-23

تم قياس القيم التالية لشدة المجال وتسجيلها في كلا الاستقطابين الأفقي والعمودي:

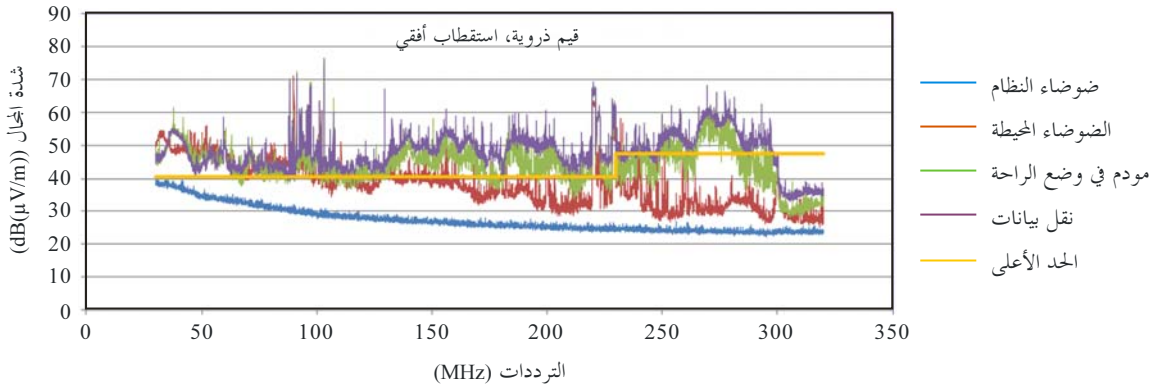
- ضوضاء النظام في المستقبِل المستعمَل للقياس (المرجع الأدنى لنظام قياس)؛
- الضوضاء المحيطة؛
- التداخل الذي يحصل والمودمات في وضع الراحة؛
- التداخل والمودمات أثناء نقل البيانات بمعدل إجمالي يبلغ 250 Mbit/s.

أُدخِلت في المخططات، بصفة مرجع أعلى، الحدودُ المعطاة في الجدول 6 من المعيار EN 55022[9]. ويشار إلى هذه الحدود بقيم شبه ذروية. وتكون القيم شبه الذروية في المعتاد أخفض من القيم الذروية، لكنها على أي حال أعلى من قيم r.m.s.

5.1.A3 شدة المجال في حالة استقطاب أفقي

الشـــكل 24

القيم الذروية لشدة المجال (dB(µV/m)) في حالة استقطاب أفقي



Report SM.2212-24

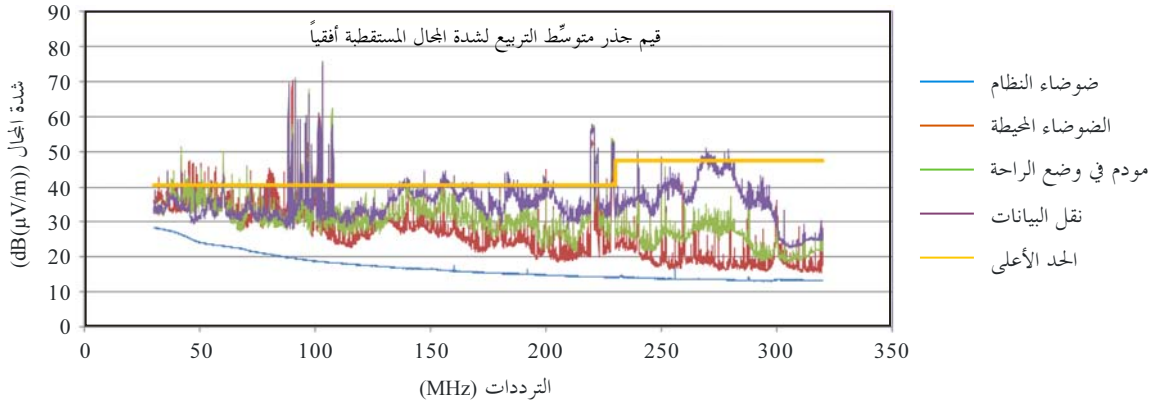
[9] هو المعيار: CENELEC EN 55022: 2006; Information technology equipment – Radio interference characteristics – Limits and methods of measurement (CISPR 22: 2005 (modified)) [تجهيزات تكنولوجيا المعلومات – خصائص التداخل الراديوي – حدود وطرائق القياس (صيغة (معدلة) للمعيار CISPR 22: 2005].

يمثل الخط الأزرق في الشكل 24 أدنى شدة مجال يمكن قياسها، وهي تساوي قياس الضوضاء لنظام المستقبِل. ويمثّل الخط الأحمر الضوضاء المحيطة (ضوضاء بشرية المنشأ) في غياب المودمات. وبما أن القياسات أُخِذت في معهد التكنولوجيا الراديوية (IRT)، حيث ينشط تشغيل كثير من الأنظمة الكهربائية والإلكترونية، فتكون الضوضاء المحيطة مرتفعة إلى حدٍ ما (يمثّلها الخط الأحمر)؛ حتى إنها، في حالات تردد تحت MHz 150، تفوق خط القيمة الحدية العليا. وتُوائم الذُرى التي تبلغها قيم شدة المجال في مدى MHz 108-87,5 إشارات FM، وتُوائم ذُرى شدة المجال في تردد يقرب من 220 و229 MHz إشاراتَ DAB التي يمكن استقبالها في المعهد IRT.

وعند وصل المودمات بالتيار، تزداد شدة مجال التداخل، كما يدل عليه الخط الأخضر. وأثناء نقل البيانات، تزداد من جديد شدة مجال التداخل، ويدل على ذلك الخط البنفسجي. وفي حالات تردد يفوق MHz 130، ترتفع سوية شدة مجال التداخل الناجمة عن المودمات فوق الضوضاء المحيطة ببضع وحدات dB؛ وهذا يعني أن القيم المأخوذة بالقياس صحيحة. والقيم الذروية لشدة مجال التداخل، الناجمة عن المودمات أثناء نقل البيانات وكذلك في أسلوب الراحة، تتجاوز الحد بمقدار يصل تقريباً إلى dB 20.

الشـــكل 25

قيم جذر متوسِّط التربيع (r.m.s.) لشدة المجال (dB(µV/m)) المستقطَبة أفقياً



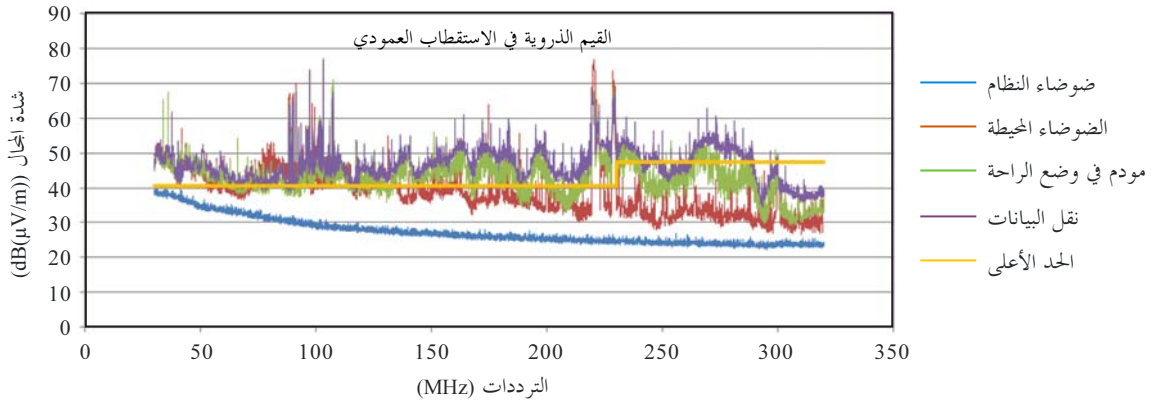
Report SM.2212-25

تقل قيم جذر متوسِّط التربيع (r.m.s.) المبيَّنة في الشكل 25 بمقدار dB 10 تقريباً عن القيم الذروية المناظرة للتداخل الدائم مثل ضوضاء النظام لمستقبِل الاختبار (المنحنى الأزرق) وتداخل المودمات أثناء التشغيل (المنحنى البنفسجي). أما تداخل المودمات وهي في وضع الراحة فإنه تداخل نبضي، وهذا ما يفسِّر لماذا ازداد الفرق بين القيم الذروية وقِيم r.m.s. (المنحنى الأخضر). وقِيم r.m.s. لتداخل المودمات أثناء نقل البيانات هي أيضاً أعلى من الحد جزئياً.

6.1.A3 شدة المجال في حالة استقطاب عمودي

الشـــكل 26

القيم الذروية لشدة المجال ((dB(μV/m)) المستقطَبة عمودياً

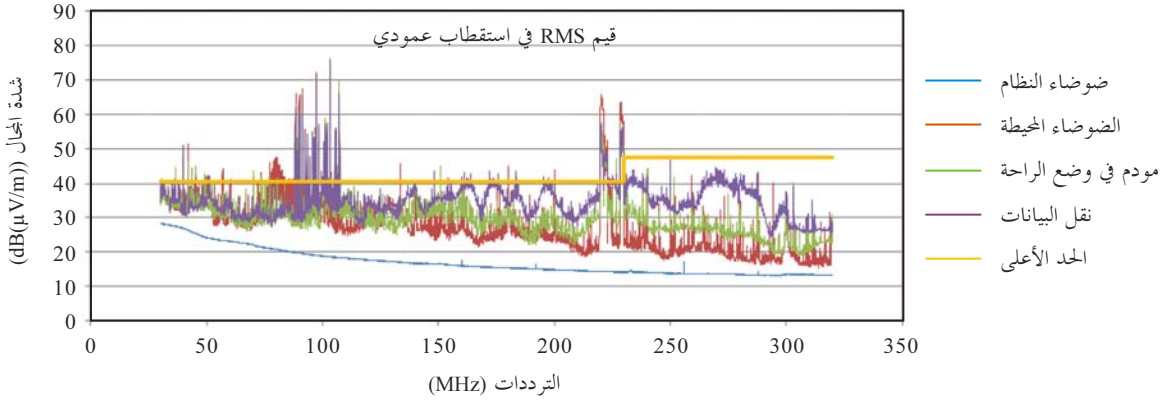


Report SM.2212-26

تنطبق القيم المبيَّنة في الشكل 24 أيضاً على شدة المجال المبيَّنة في الشكل 26. أما إشارات الإذاعة السمعية الرقمية (DAB) عند تردد 220 MHz و229 MHz فهي أعلى لأنها مرسلة في استقطاب عمودي. وأما القيم الذروية لتداخل المودمات، أثناء نقل البيانات كما في أثناء وضع الراحة، فهي فوق الحد في مدى التردد بكامله.

الشـــكل 27

قيم جذر متوسِّط التربيع (r.m.s.) لشدة المجال ((dB(μV/m)) المستقطَبة عمودياً



Report SM.2212-27

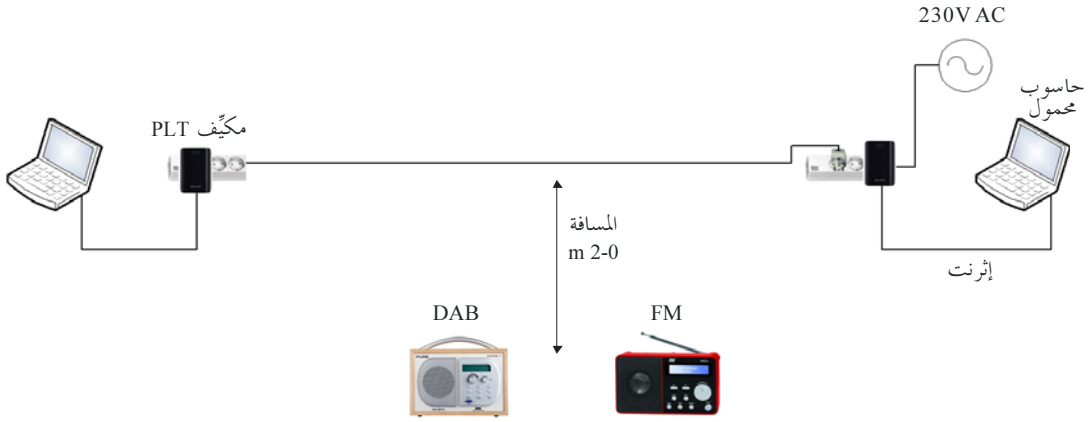
ينطبق التعليق على الشكل 25 في صدد الشكل 27. وتلامس قيم r.m.s. لتداخل المودم أثناء نقل البيانات حدود المدى 30-200 MHz، أما القيم شبه الذروية فهي فوق هذا الحد أياً كان معدَّل الإرسال.

7.1.A3 التداخل الفعلي في استقبال بث FM وDAB

توخياً للتحقق مما إذا كان الجزء المَقيس من طيف المكيِّفات المعَدّة طبقاً لمعيار mediaxtream يؤثر على استقبال بث FM و/أو DAB، أُقيمت تركيبة اختبار بسيطة في بيئة عمل "عادية" في المعهد IRT، مساوية لظروف الاستقبال في منزل أو شقة خاصة (انظر الشكل 28).

الشـــكل 28

تركيب عدة بسيطة لأخذ قياس التداخل الفعلي في استقبال بث FM وDAB



Report SM.2212-28

جرى في هذه التركيبة وصل كل من المكيِّفَين Belkin-F5D4076 بمقبس ثلاثي، في حين وُجِّه كبل التغذية بالتيار الكهربائي الثلاثي المقبس نحو الجدار الجانبي من الغرفة وعلى ارتفاع طاولة. ووُضع على الطاولة مقابل الكبل جهاز استقبال راديو FM (ماركة DNT) وجهاز استقبال راديو DAB (ماركة PURE). وأثناء أخذ القياسات، جرى تغيير المسافة التي تفصلهما عن الكبل على عدة مراحل بين 0 و2 m، بقصد تقصِّي التداخل.

وعند كل تغيير للمسافة كان كل من المستقبلَيْن يُضبط بدوره على وضع "جهير" (loud)، الراديو FM أولاً ثم الراديو DAB. بينما كان تدفق البيانات المولَّد بواسطة IxChariot (250 Mbit/s) يوقَف ويشغَّل تكراراً بفصل التيار ووصله.

وكان جهازا الراديو موضوعين قريباً (على مسافة 1 m تقريباً) من نافذة كبيرة تيسيراً لاستقبال "جيد".

نتائج اختبار استقبال بث FM

حين يُضبط الجهاز على محطة محلية قوية (مثل: Bayern3 وBayern5 و100 band II MHz)، لا يمكن تحديد وجود تداخل ذاتي أثناء نشاط نظام PLT. ولكن حين يُضبط على محطة ضعيفة (Ö3 مثلاً)، كان يلاحظ بوضوح زيادة ضوضاء من المتكلمين أثناء نشاط نظام PLT على مسافة 1 m تقريباً بين الراديو وكبل التيار المتوازن. وعلى مسافات أكبر لم يعُدْ التداخل مسموعاً.

نتائج اختبار استقبال بث DAB

عند استقبال بث DAB (من محطتي Bayern3 و220 band III MHz، مثلاً) يكون التداخل المسموع أكبر بكثير. ويحدث التداخل حتى مع محطات ظروف استقبالها جيدة، أي على مسافة تصل حتى 1,5 m بين جهاز الراديو والكبل الكهربائي المرسِل للبيانات أثناء نشاط نظام PLT. ويتدرّج التداخل من الارتجاف إلى الطقطقة إلى التعتيم "التام" على الإشارة السمعية.

ولا يمكن إزالة التأثيرات المسموعة إلاَّ على مسافات تفوق 1,5 m.

8.1.A3 الاستنتاج من قياسات المعهد IRT

من جهة أولى، بيَّنت القياسات الطيفية المُجراة على مكيِّفات النظام PLT التي من طراز F5D4076 S "Power line Gigabit" صنع Belkin أن الترددات مشغولة حتى 305 MHz، ما يشمل كلا نطاقَيْ FM وDAB. ومن جهة أخرى، بيَّنت قياسات التداخل أن التداخل الناجم عن المودمات أقوى مما يسمح به المعيار EN 55022 في مدى التردد 30-300 MHz.

وجدير بالملاحظة أن هذه الاختبارات استعمَلت تكبيلاً كهربائياً متناظراً نسبياً، وهكذا لا تمثِّل هذه النتائج أسوأ حالة، بل يجب اعتبارها تشكيلة أقل حرجاً.

وقد يقوم حل ممكن على استعمال تثليم التردد في النطاقات المتأثرة. وسبق أن عرض Gigle، مصنِّع مجموعات رقاقات mediaxtream، اتخاذ تدابير لاحقة إذا ما توفّرت التعليقات الملائمة في هذا الصدد.

2.A3 القياسات التي أجراها مركز بحوث الاتصالات (كندا) على مودمات نظام PLT

أجرى مركز بحوث الاتصالات (CRC) (كندا) اختباراً لما مجموعه ثمانية أجهزة PLT، متيسِّرة تجارياً وتمثل مختلف معايير PLT. وكان من السهل الحصول على هذه الأجهزة من أسواق الولايات المتحدة الأمريكية وكندا واليابان. ويمكن الاطلاع على تفاصيل القياسات الاختبارية وعلى نتائجها في التقرير المعنوَن:- Measurements of EM radiation from in-house Power line Telecommunication (PLT) devices operating in a residential environment – Field Test Report [قياسات الإشعاع الكهرمغنطيسي الصادر عن أجهزة الاتصالات عبر خطوط الإمداد بالكهرباء (PLT)، الأجهزة العاملة في البيئة السكنية – تقرير اختبار ميداني]، الصادر عن مركز بحوث الاتصالات (كندا)، بتاريخ 24 مارس 2009 والمتيسِّر في الموقع:

http://www.nabanet.com/nabaweb/members/pdf/itur/CRCReport.pdf أو انظر المرفق بملحق الوثيقة 6A/160.

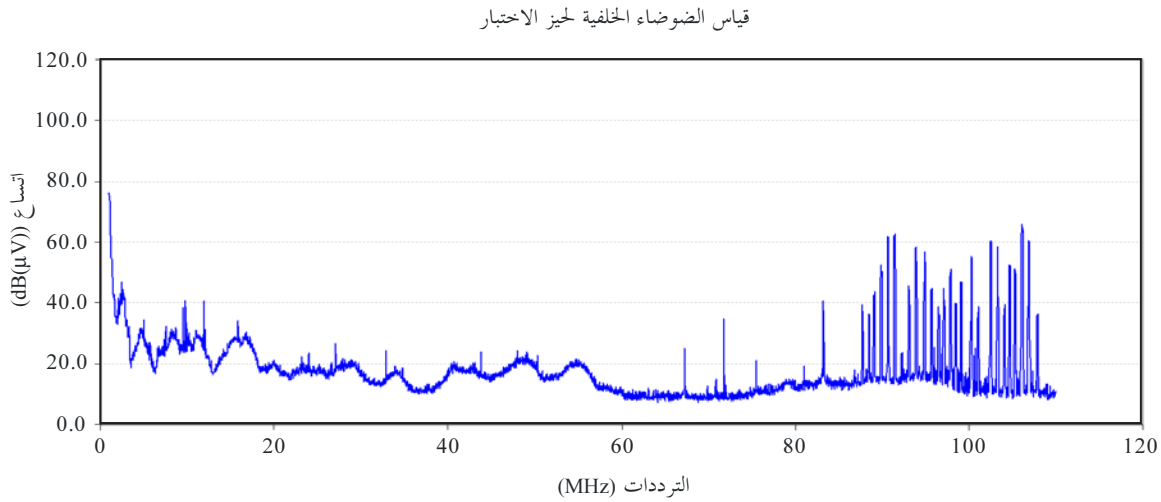
وقد ورد موجز عنه في التقرير ITU-R SM.2158. واشتملت عمليات القياس على قياسات مع ترددات حتى 110 MHz، من أجل تحديد تأثير أجهزة PLT على نطاق الإذاعة FM.

1.2.A3 طريقة المركز CRC في القياس ونتائج اختبار الإشعاع بالإيصال

يعرض الشكل 29 قياس الضوضاء الخلفية لحيِّز الاختبار مع ترددات من 50 kHz إلى 110 MHz. ويوضّح هذا الشكل أن تركيبة اختبار الخط الكهربائي عملت عمل هوائي التقط إشارات من أنظمة اتصالات أخرى. وثَبت أن نبضات الطنين التي تُسمع أثناء الاختبار عند ترددات بين 85 MHz و108 MHz صادرة عن محطات راديو FM محلية، بينما كانت نبضاتُ الطنين الأخرى، المسموعة عند الاختبار مع ترددات أخرى، متقطعةً، ويُرجّح أن يكون سببها أنظمة اتصالات راديوية أخرى. فكان لزاماً مراعاة ذلك عند الاطّلاع على نتائج اختبار الإشعاع بالإيصال.

الشـــكل 29

الضوضاء الخلفية لعدة قياس الإشعاع الإيصالي

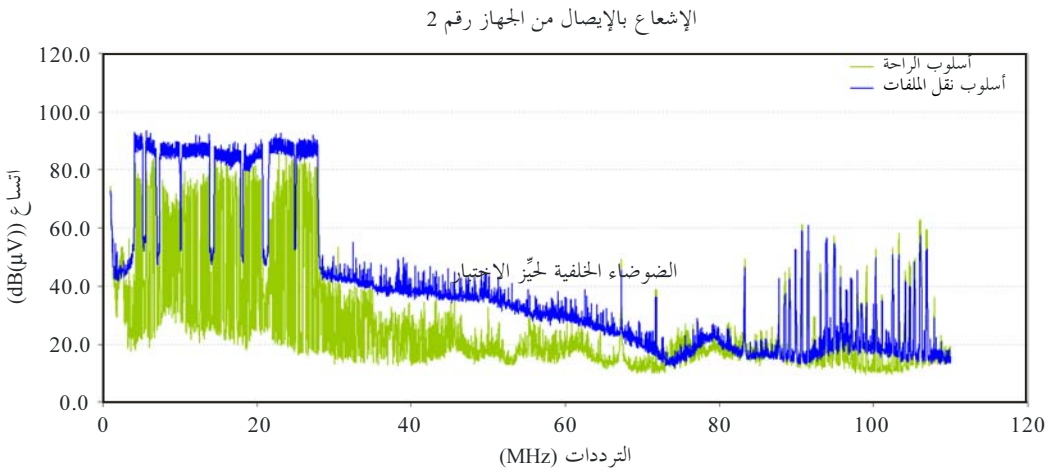


Report SM.2212-29

نتائج اختبار أجهزة PLT المرقَّمة 2 و3 و6 معروضة في الأشكال 30 و31 و32 على التوالي. ويبيِّن المنحني الأزرق الإشارة الإيصالية أثناء نقل البيانات، ويبيِّن المنحني الأخضر (وهو عادةً الخط الأدنى) الإشارة الإيصالية أثناء وضع الراحة. وكما يشاهَد في الأشكال، فإن سوية الإشارة أثناء وضع الراحة لا تتجاوز نظيرتها أثناء التشغيل بأسلوب نقل البيانات. وإضافة إلى ذلك، لا تعمل الأجهزة المختبرة على نحو متماثل في أسلوب الراحة. فجهازا PLT رقم 2 و3 كانا يرسلان موجات حاملة عرضية لاستبقاء القناة مفتوحة ومتزامنة، بينما كان الجهاز رقم 6 يرسل باستمرار عرض نطاق الإشارة كاملاً.

الشـــكل 30

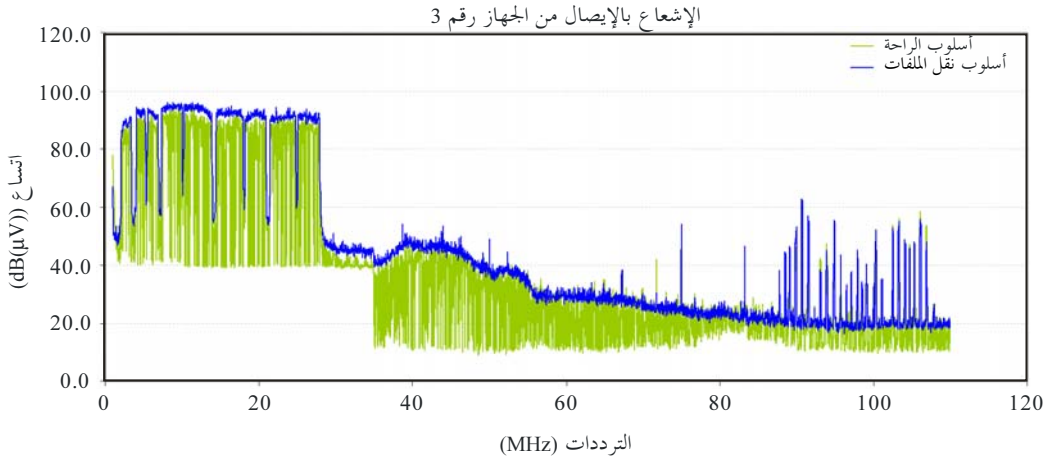
إشعاع القدرة بالإيصال من الجهاز رقم 2 (المعيار HD-PLC)



Report SM.2212-30

الشـــكل 31

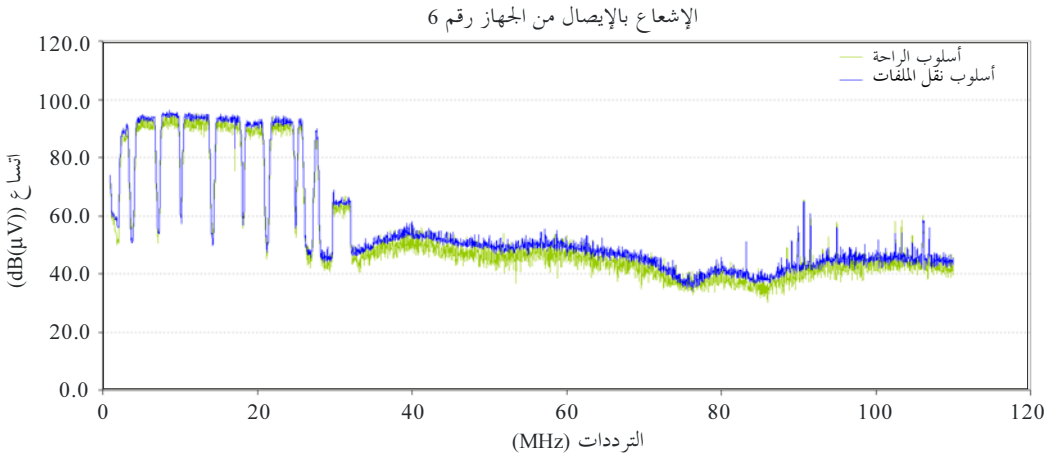
إشعاع القدرة بالإيصال من الجهاز رقم 3 (المعيار Homeplug AV)



Report SM.2212-31

الشـــكل 32

إشعاع القدرة بالإيصال من الجهاز رقم 6 (المعيار UPA)



Report SM.2212-32

2.2.A3 الاستنتاجات من قياسات المركز CRC

تبيِّن هذه النتائج أن جهاز PLT يظل ناشطاً في توليد الإشعاع، حتى في حال عدم إرسال بيانات. ويلاحظ أيضاً أن جهاز PLT، حتى لو عمل بتردد تحت 30 MHz، لا يقلّ إشعاعه عن 20 dB فوق الضوضاء الخلفية مع ترددات تصل إلى 110 MHz.

3.A3 القياسات التي أجرتها إذاعة CBS والإذاعة الوطنية العمومية على مودم PLT طراز "Gigabit"

أجرت إذاعة CBS والإذاعة العمومية الوطنية (NPR) في الولايات المتحدة سلسة من القياسات في مختبرات NPR مماثلة لقياسات المعهد IRT الموصوفة في البند 1.A3. وأُخذت قياسات الإشعاع الكهرمغنطيسي بالإيصال من مودمَيْ PLT صنع بلكين طراز F5D4076-S v2 "Gigabit Power line HD".

1.3.A3 طريقة القياس

جرى توصيل مكيِّفيْن مودمين PLT من صنع Belkin طراز "Gigabit Power Line HD" (النموذج: F5D4076-S v2)، بواسطة شريط تمديد ذي سلكين طوله 1,8 m، ووُضِع كل ذلك في صندوق مدرَّع كما يبدو في الشكل 33. والصندوق المدرَّع مزوَّد بمرشاح خط كهرباء تياره متناوب وبتوصيلات للتردد الراديوي متحدة المحور. وجرى توصيل المكيِّفين PLT بحاسوب مكتبي وبمسيِّر إثرنت إلى مخدِّم. وأُطلِق إرسال الملفات من المخدِّم إلى الحاسوب.

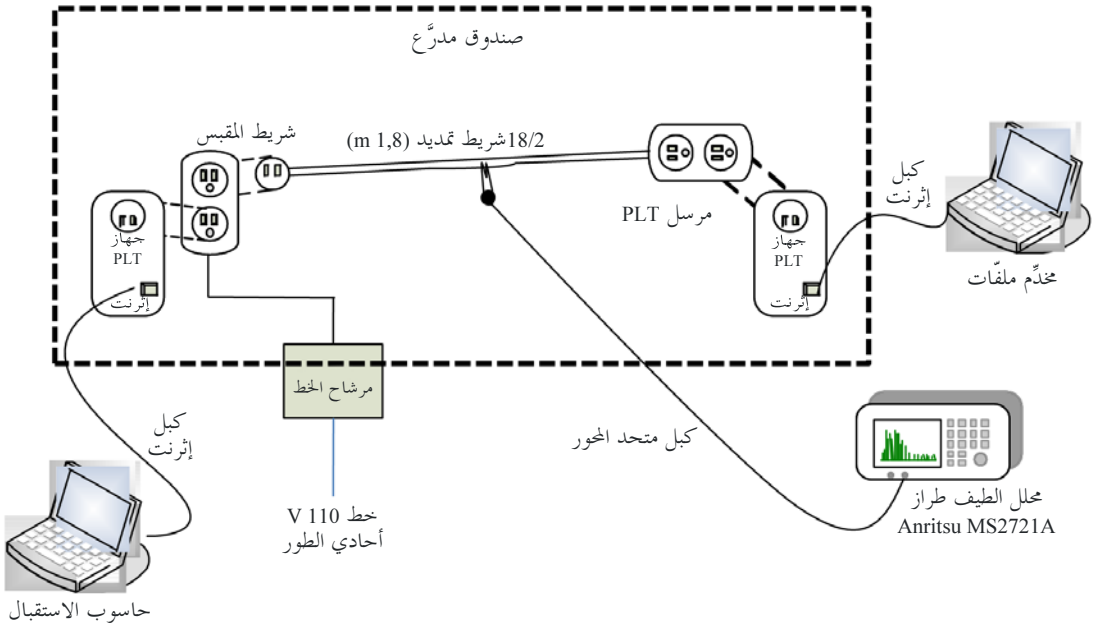
واستُعمِل محلل طيف طراز Anritsu نموذج MS2721A لتسجيل طيف الترددات. وكانت ضوابط محلل الطيف كما يلي (ما لم يُذكر خلاف ذلك):

- عرض نطاق الاستبانة (RBW): 1 MHz؛
- عدد خُطى القياس: 551/كَنْس؛
- بدون مضخِّم مسبق؛
- التوهين: 0 dB؛
- مكشاف القياس: ذروي؛
- الأثر: Max hold.

وحققت عروة ذات سلكين اقتران الجانب الأعلى لفلطية الخط الكهربائي مع محلل الطيف. وتوضح النتائج التالية قدرة الإشارة كدالّة تردد مَقيسةً بمحلل الطيف.

الشـــكل 33

تركيبة عدة قياس فيها صندوق مدرَّع



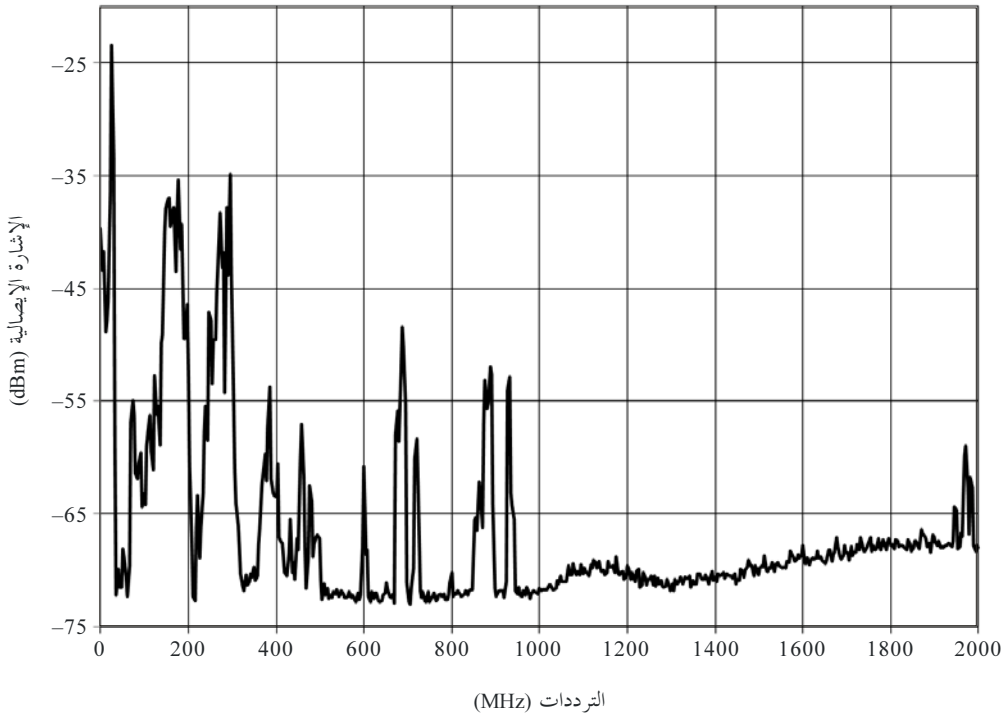
2.3.A3 نتائج قياس الإشعاع الكهرمغنطيسي بالإيصال لمودم PLT طراز "Belkin "Gigabit power line HD نموذج F5D4076-S v2

يبيِّن الشكل 34 أن الإشارات محمولة على خط الكهرباء بين مودمَيْ PLT من طراز"Belkin "Gigabit power line HD"HD (النموذج: F5D4076 S v2) في وضع الراحة (بدون نقل بيانات). ويلاحظ أن خرج المكيِّفَيْن الأساسي يرتفع

حتى 300 MHz كما ذُكِر في تقرير المعهد IRT. إلاَّ أن البث يتجاوز 300 MHz ليصل حتى 930 MHz مع إشارة إضافية ظاهرة عند 970 1 MHz.

الشـــكل 34

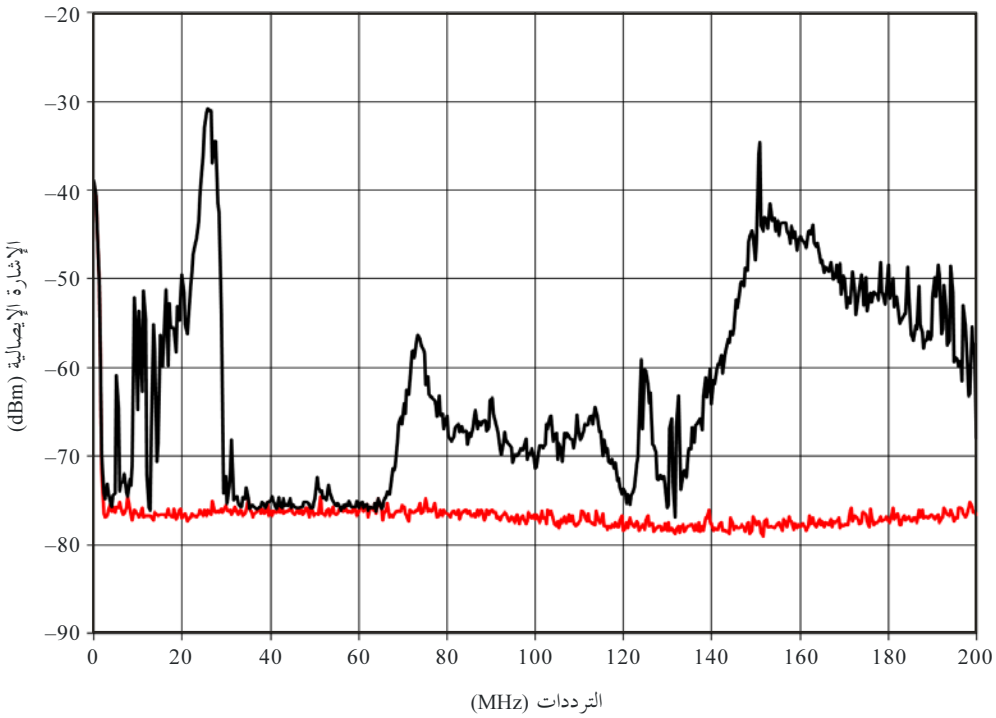
الإشعاع بالإيصال الصادرة عن مودمَيْ PLT من طراز "Belkin "Gigabit power line HD
(النموذج F5D4076-S v2) – يلاحظ أن الإشعاعات تحدث حتى تردد 1 GHz وما فوق عند تردد 1,9 GHz
(تشغيل معكوس النطاق (RBW): 3 MHz، السوية المرجعية: –30 dBm)



يبيّن الشكل 35 الإشعاعات بالإيصال الصادرة عن مودمَيْ PLT طراز "Belkin "Gigabit power line (النموذج: F5D4076-S v2) حتى تردد 200 MHz والمودمان في وضع الراحة (ولا نقلَ للبيانات). ويقارَن المنحنيَ الأعلى (الأسود) مع ضوضاء الخلفية (المنحنيَ الأحمر) للصندوق المدرَّع المستعمل في الاختبار. ويلاحظ أن مودمَيْ PLT لهما إشعاع أساسي حتى 27 MHz ثم من جديد فوق 70 MHz.

الشـــكل 35

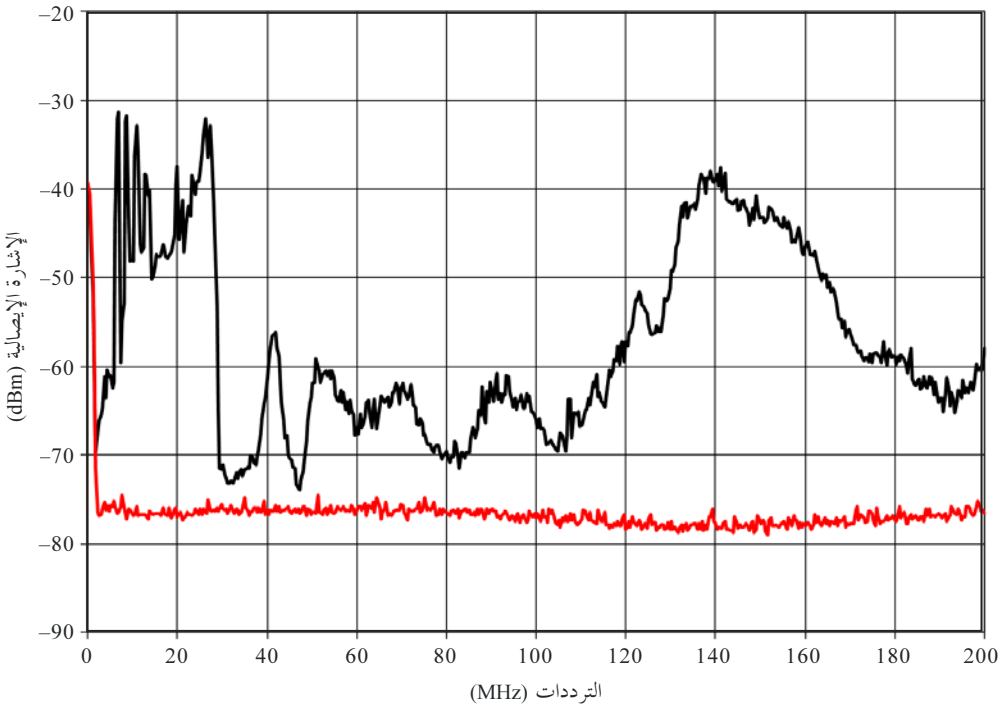
الإشعاعات بالإيصال الصادرة عن مودِمَيْ PLT طراز "Belkin "Gigabit power line (النموذج: F5D4076-S v2) في مدى تردد حتى 200 MHz. يمثِّل المنحني الأعلى (الأسود) إشعاع المودمين وهما في وضع الراحة (ولا نقل للبيانات)؛ ويمثل المنحني الأدنى (الأحمر) ضوضاء الخلفية للصندوق المدرَّع المستعمَل في الاختبار



يبيِّن الشكل 6 الإشعاعات الكهرمغنطيسية بالإيصال الصادرة عن مودمَيْ PLT طراز "Belkin "Gigabit power line (النموذج: F5D4076-S v2) مع تردد حتى 200 MHz والمودمان في حالة التشغيل (أثناء نقل للبيانات). المنحني الأعلى (الأسود) مقارَن مع ضوضاء الخلفية (المنحني الأدنى الأحمر) للصندوق المدرَّع المستعمل في الاختبار. ويلاحظ أن مودمَيْ PLT لهما إشعاعات إضافية مع الترددات بين 27 MHz و70 MHz.

الشـــكل 36

**الإشعاعات بالإيصال الصادرة عن مودِمَيْ PLT طراز "Belkin "Gigabit power line (النموذج: F5D4076-S v2)
في مدى تردد حتى 200 MHz. يمثِّل المنحني الأعلى (الأسود) إشعاع المودمين وهما ناشطان (أثناء نقلُ البيانات)؛
ويمثل المنحني الأدنى (الأحمر) ضوضاء الخلفية للصندوق المدرَّع المستعمَل في الاختبار**



Report SM.2212-36

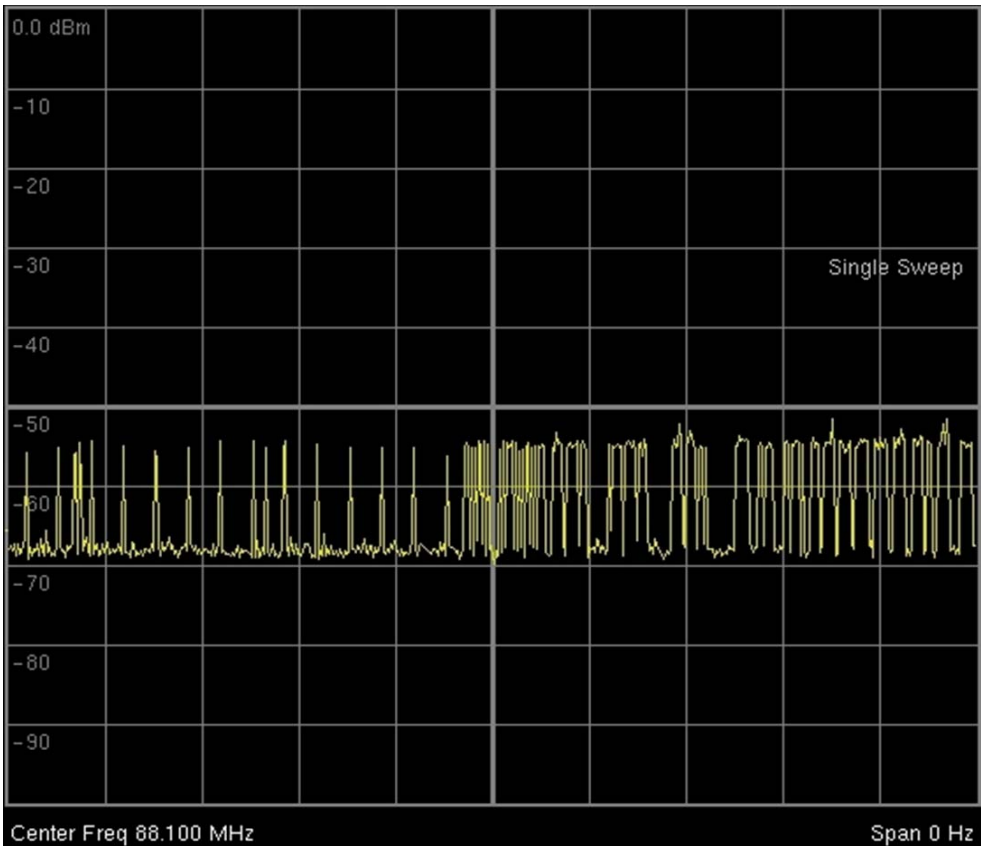
3.3.A3 التداخل على مستقبِل FM من مودم PLT طراز "Belkin "Gigabit power line نموذج F5D4076-S v2

بما أنه أُثبت بوضوح أن مودمات PLT ترسل إشعاعات حتى مع ترددات تفوق 27 MHz، فقد أُجري اختبار استُعمِل فيه مستقبِل إذاعي للبث FM طراز boombox صنع Sony على مقربة من أجهزة PLT. ويبيِّن الشكل 37 الإشعاعات بالإيصال الكهرمغنطيسية الصادرة عن مودمَيْ PLT طراز "Belkin "Gigabit power line (النموذج: F5D4076-S v2) يعملان بتردد واحد هو 88,1 MHz. ويُظهِر محلل الطيف عملية كَنْسٍ واحدة عند انتقال المودمَيْن من حالة الراحة إلى حالة النشاط.

ويكون تأثير تداخل PLT على المستقبِل الإذاعي للبث FM في الخرج السمعي في شكل "قرقرة" مزعجة وغيرَ مقبولة. وكان معدّل النبض في حالة الراحة، المبيَّن في الشكل المذكور على يسار الكَنْس، قرابة 40 في الثانية، ثم ارتفع أثناء نقل البيانات كما هو مبيَّن في النصف الأيمن من الشكل.

الشـــكل 37

الإشعاع بالإيصال الصادر لمدة ثانية عن مودمَيْ PLT طراز "Belkin "Gigabit power line (النموذج: F5D4076-S v2) يُرسلان بتردد واحد هو 88,1 MHz في النطاق الإذاعي FM. التداخل معروض في شكل قرقرة في الخرج السمعي



Report SM.2212-37

4.3.A3 الاستنتاجات من قياسات CBS/NPR

أكدت سلسلة القياسات التي أجرتها إذاعة CBS والإذاعة العمومية الوطنية (NPR) في مختبرات NPR في الولايات المتحدة النتائج التي حصل عليها المعهد IRT في ألمانيا. وذلك أن مودم PLT طراز "Belkin "Gigabit power line HD النموذج F5D4076-S v2 له إشعاع ظاهر على امتداد طيف الترددات الراديوية فيما تحت 1 000 MHz. وإضافة إلى ذلك، تَرى رابطة إذاعات أمريكا الشمالية (NABA) أن التوصية ITU-T G.9960 لا توفِّر حماية لخدمات الإذاعة الراديوية من التداخل الصادر عن إشعاعات تلك الأجهزة.

4.A3 قياسات هيئة الإذاعة البريطانية (BBC) للإشعاع الصادر عن شبكات PLT

1.4.A3 مقدّمة

أجرت هيئة الإذاعة BBC قياسات للإشعاع الصادر عن شبكات PLT في قاعة مستورة ومَنزلَيْن[10]، وأضافت إلى ذلك تحليلاً لآثار توزيع BBC على التغطية الإذاعية، بما في ذلك تنبؤات عن شدة المجال وقياسات لها. وجرت في إطار هذه الدراسة

[10] BBC Research White Paper WHP 195 - VHF emissions from PLT devices: First investigation of potential interference to broadcast reception. Authors: Mark Waddell (BBC R&D) & Jonathan Stott (Jonathan Stott Consulting).

القياسات في مَنزلَيْن، واستندت إلى طريقة البرهان واختبارات المعايرة في بيئة مختبرية. ويمكن الاطلاع على طريقة الاختبار ونتائج إضافية في الكتاب الأبيض [المذكور في الحاشية].

وبما أن الاختبارات أُجريت في مجرد موقعي استقبال محليين، فإن من الصعب الاستقراء على وجه الدقة من هذه النتائج. أمَّا وقد تبيّن أن التداخل حدث في ظروف *ليست* مكافئة لحافة التغطية (إذ كان بالفعل هامش كبير فوق ذلك)، فربما كان عدد المنازل التي يتأثّر فيها استقبال برامج إذاعة FM وإذاعة DAB لا يُستهان به، فيما لو كانت مودمات PLT مستعملة على نطاق واسع. وهنالك في البندين 7 و8 من الكتاب الأبيض[10] الصادر عن BBC تقييم أولي لتأثير ذلك على تغطية الخدمة وتخطيطها.

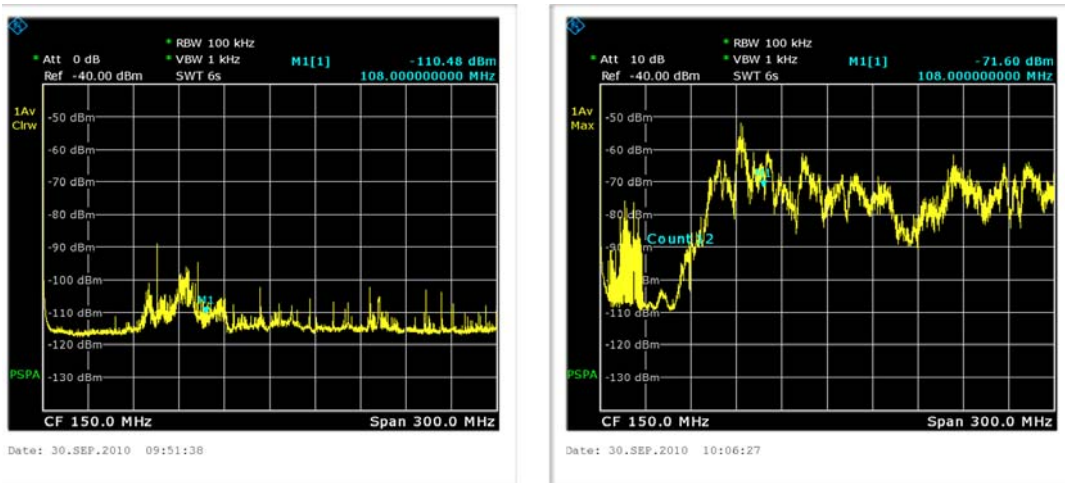
وتبرهن الملاحظات والقياسات الواردة هنا، وفي الكتاب الأبيض المذكور، على التأثير المعاكس من أنظمة PLT على استقبال بث VHF، تأثير يرجَّح أن يصادف في بيئة منزلية نمطية. إلاَّ أنه اكتُشِف بالتجربة تغيُّر كبير في تأثير التداخل تبعاً لموضع المستقبِل في المنازل ولشدة المجال التي تتصف بها الإرسالات المختلفة التي تيسَّرت دراستها، وتبعاً لعوامل أخرى أيضاً. واكتُشِفت حالات لم يلاحَظ فيها تداخل ذو شأن، ومن ثم فإن المنازل لا تتأثر جميعها بنفس الطريقة في التشكيل المألوف لدى المستمع من حيث المستقبِل والغُرفة والمرسِل. ولذا ينبغي الاضطلاع بمزيد من الدراسة لتحديد درجة التغيُّر بدقة أكبر، ومن ثَمَّ إحراز تقدير أفضل لتأثَيرِ أنظمة PLT على التغطية الإجمالية للإذاعة على الموجات المترية (VHF).

2.4.A3 القياسات في حُجرة مستورة

يبين الشكل 38 قياسات الإشعاع في حجرة مستورة مع ترددات من 0 إلى 300 MHz بدون شبكة PLT (يسار الشكل)، ثم في حالة وجودها ونقلها البيانات (يمين الشكل).

الشـــكل 38

الإشعاع الصادر عن شبكة PLT للاختبار مَقيساً في حُجرة مستورة



Report SM.2212-38

يمثِّل المنحني في القسم الأيسر من الشكل 38 طيف إشارة الهوائي في حالة توقيف عمل أجهزة PLT، ويمثل المنحني في القسم الأيمن التأثير الناجم عن تفعيل شبكة PLT وتمرير حركة البيانات فيها. ويلاحظ أن ضوضاء الخلفية *بـــدون* تزويد شبكة PLT بالكهرباء لم تكن خافتة تماماً، بل لوحظ بعض الإشعاع خصوصاً في مدى 60 إلى 120 MHz. ويُعتقد أن هذه

الإشارات أشَعَّها محللُ الطيف نفسه[11]، على اعتبار أن جميع الأجهزة داخل الحُجرة كانت مفصولة عن التيار من أجل عملية القياس هذه. ومع ذلك يبيِّن المنحني في القسم الأيمن من الصورة أن إشعاع الشبكة PLT كان بسوية أكبر مما يسمح بحصول اختلاط. وبالفعل يفوق الإشعاع الصادر عن شبكة PLT ضوضاء الخلفية الممثَّلة في القسم الأيسر بمقدار 30-40 dB، حتى إنه لزم، تجنُّباً لحصول حمولة زائدة، إضافة توهين بمقدار 10 dB على محلل الطيف بخصوص المنحني في القسم الأيمن. ونتيجة لذلك يكاد من الممكن ملاحظة أن ضوضاء الخلفية لمحلل الطيف قد ارتفعت بصورة متساوقة، أي نحو 45 MHz.

ويَسترعي الاهتمامَ بشكل خاص الإشعاعُ القوي الذي حدث في مدى ترددات الموجات المترية (VHF)، من 50 إلى 300 MHz، ناجماً عن نقل البيانات في الشبكة – في هذه الحالة نقل ملفّات طبقاً للبروتوكول FTP بمعدّل قريب من 12 Mbit/s. فعلى سبيل المثال، ومتى طُبِّق عامل التصحيح في معايرة الهوائي، تكون سوية الإشعاع عند 90 MHz نحو 47 dB(μV/m) في عرض نطاق قدره 100 kHz. وفي غياب إشعاع PLT، نلاحظ أن ضوضاء الخلفية للمحلل تساوي –115 dBm في عرض نطاق الاستبانة لمرشاح المحلل وقدره 100 kHz. وذلك يطابق كثافة ضوضاء بقيمة –165 dBm/Hz تطابق بدورها مقدار 9 dB لضوضاء محلل. وفي حال تشغيل شبكة PLT وحملها حركة نقل بيانات، ترتفع كثافة الضوضاء بنحو 35 dB.

ومع أن شبكة PLT تستعمل البث بالموجات المترية (VHF) من أجل نقل البيانات، فإن الإشعاع يمكن أن يلاحظ أيضاً عند البث بالموجات الديكامترية (HF) في مدى ما دون 30 MHz[12].

وشدد مجال التداخل بالمقادير المذكورة في الشكل 38 مشابهة لشدد مجال الإشارة المطلوبة للإذاعة الصوتية بالموجات المترية (VHF) ومن ثَمَّ من المتوقّع حدوث تأثيرات كبيرة على الاستقبال.

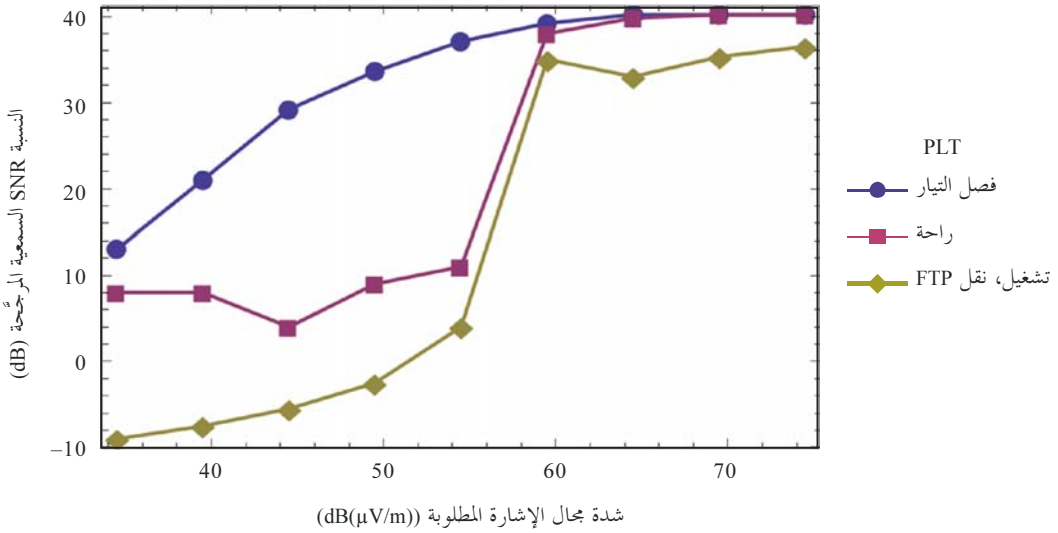
ويبين الشكل 39 بوضوح الضرر الكبير الذي يسببه تشغيل شبكة PLT ما لم تكن شدة مجال الإشارة المطلوبة عالية جداً. إذ إن لشدد المجال مدى (هو على وجه التقريب من 35 إلى 50 dB(μV/m)) تتبع فيه نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) في الإذاعة الصوتية إلى حدٍ ما شدة المجال في غياب شبكة PLT. ففي هذا المدى يلزم أن تُزاد شدة مجال الإشارة المطلوبة بنحو 20 dB من أجل استعادة النسبة SNR أثناء انشغال شبكة PLT.

[11] تسيَّر عادة إشارة القياس خارج الحُجرة المستورة، بوضع عُدة القياس، مثل محلل الطيف، في الخارج، بحيث لا يصل أي انبعاث منها إلى الهوائي الخاص بالقياس. ولكن في هذه المناسبة كان من الأوفق لإحراز تقدم أن يكون التجهيز مع مشغِّله الوحيد داخل الحُجرة.

[12] يُحذَّر من الإفراط في الاستنتاج بشأن السويات النسبية فيما يخص البث على الترددين HF وVHF، لأن الهوائي المستعمل في القياس ليس مصمماً من أجل البث على تردد HF، ولأن عامل التصحيح يتغيّر تغيّرا ملحوظاً مع التردد (انظر التذييل). ويلاحظ أيضاً أن أسلوب "max-hold" استُعمِل كمحاولة لالتقاط الطيف بصرف النظر عن دورة تشغيل PLT. فيبدو أن أجهزة PLT المُجرَى عليها الاختبار من شأنها أن تَستعمِل البث على أي من الترددين HF أو VHF لنقل البيانات الفعلي، تبعاً لما إذا كان التوصيل وافياً لتوفير قدرة مجدية مع البث VHF. ولكن أياً كان النطاق المستعمل، يجب أن يبقى النطاق الآخر في "وضع الراحة"، بحيث يمكن أن تظل القناة على استعداد. وهكذا فإن الانبعاثات تظل موجودة دائماً إلى درجة ما في كلا النطاقين.

الشـــكل 39

تغيُّر النسبة SNR السمعية مع شدة مجال الإشارة المطلوبة، في حالة مستقبِل محمول داخل حُجرة مستورة بظروف مختلفة لشبكة PLT



Report SM.2212-39

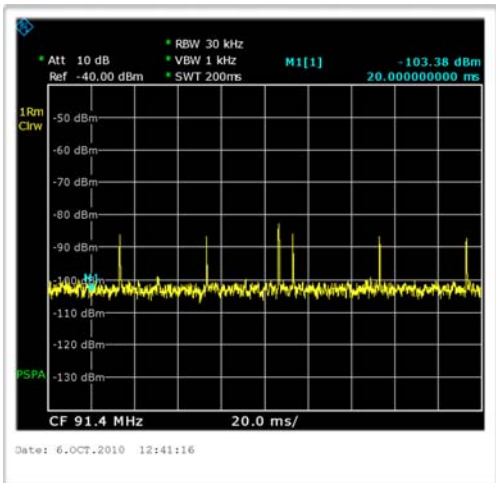
3.4.A3 القياسات في المنزل A

المنزل A بيت شبه منفصل، تخدمه جيّداً إشارات FM وDAB. إذ إن إشارات شبكة FM الوطنية وافية بمعايير التغطية المخطط لها، ومتيسِّرة من محطتَيْ إرسال. ولذا فإن المنزل A يتيح فرصة لمقارنة سيناريوهَيْن لاستقبال البث FM من شبكة وطنية في نفس الموضع. وفي حال عدم تشغيل شبكة PLT، توفِّر كلتا محطتَيْ الإرسال بسهولة استقبالاً مُرْضياً بجهاز محمول داخل المنزل.

ويعرض الشكل 40 مخطط مجال زمني معدوم الامتداد يبيِّن الطبيعة شبه النبضية للتداخل عندما تكون شبكة PLT في حالة راحة.

الشـــكل 40

مخطط مجال زمني معدوم الامتداد وشبكة PLT في حالة راحة

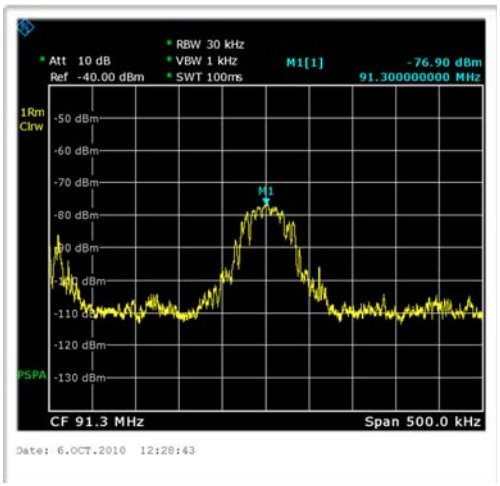


Report SM.2212-40

ويبين الشكل 41 استقبالاً داخل المبنى للإشارة المطلوبة من راديو BBC 3 FM الذي يُبَث من مرسِل موقعه في روهام، وذلك في غياب تداخل من شبكة PLT. وتطابق شدة المجال نحو 40 dB(μV/m).

الشـــكل 41

إشارة من راديو BBC 3 FM صادرة عن مرسِل روهام
في غياب تداخل من شبكة PLT

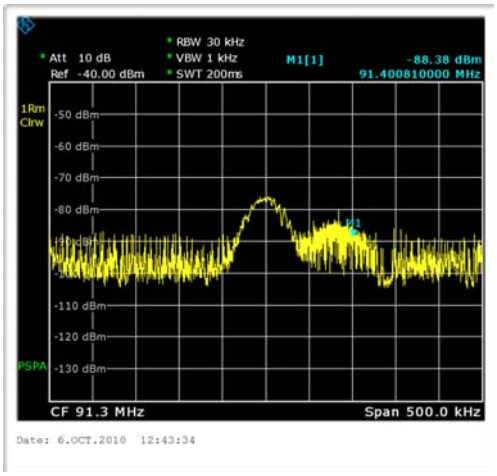


Report SM.2212-41

ويبين الشكل 42 الطيف أثناء تنفيذ شبكة PLT لعملية نقل. ومن الواضح أن الخلفية الضوضائية (الضوضاء + التداخل) مرتفعة ارتفاعاً ملحوظاً جداً.

الشـــكل 42

إشارة من راديو BBC 3 FM صادرة عن مرسِل روهام
وشبكة PLT تنفّذ عملية نقل



Report SM.2212-42

لم يلاحَظ في هذا الموقع تأثير حقيقي من تشغيل شبكة PLT على استقبال إشارات DAB داخل المبنى.

4.4.A3 القياسات في المنزل B

المنزل B تخدمه جيّداً إشارات FM من الشبكة الوطنية، من محطة إرسال روتهام، وفيه أيضاً سويات الإشارة متيسِّرة وتفي بمعايير التغطية المخطط لها.

يبين الشكل 43 استقبال FM داخل المبنى، بالتصاحب مع تشغيل شبكة PLT بنقل البيانات وبدون ذلك. ويتبيَّن، من المقارنة مع سيناريو المنزل A المعروض في الشكلين 41 و42، أن شدة الإشارة المطلوبة أكبر من نظيرتها بمقدار 11 dB بينما التداخل أعلى من نظيره ببضع وحدات dB فقط، أي أن نسبة الإشارة إلى التداخل قد تحسَّنت. وعليه فإن التداخل المسموع كان أقل حدة، ولكنه ظل مرفوضاً تماماً. إلاَّ أن استقبال إشارة BBC من لندن على التردد 94,9 MHz وفي نفس الموضع كان أشد تشويشاً. وقيست شدة مجال الإشارة المستقبَلة داخل المبنى فكانت أخفض بمقدار 3 dB من نظيرتها لإشارة FM المستقبَلة من راديو BBC 3 FM.

والمنزل B تخدمه جيّداً أيضاً إشارات DAB من الشبكة الوطنية، وتخدمه بدرجة متفاوتة المحطات "المحلية" المتعددة الإرسال. فالشبكات الوطنية توفّر استقبالاً لبث DAB مكين الموثوقية بواسطة مستقبِل محمول مزوَّد ببطارية في كل مكان من المنزل. وليس هذا القول مجرد حكم ذاتي، على اعتبار أن مستقبلات DAB من شأنها إعطاء قياس موضوعي برصد تشغيل الوظيفة الداخلية لكشف الأخطاء وتصحيحها. ويمكن عملياً استعمال محطتَيْ لندن 1 و3 المتعددتَيْ الإرسال تمام الاستعمال، في حين أن محطة لندن 2 غير موثوقة.

ويبين الشكل 43 أمثلة على أطياف مسجَّلة مع بعض التركيبات المشتملة على تشكيلة شبكة PLT وموقع مستقبِل DAB. فيمكن تقدير نسبة الإشارة إلى التداخل (SIR) مباشرة بالتفقد البصري، لأن كلتا الشبكة PLT والإذاعة DAB عريضةُ النطاق بالقياس إلى عرض نطاق محلل الطيف المستعمَل في الاختبار. وعلى وجه الخصوص، يبيِّن الجزء الأعلى الأيسر من الشكل أن تمييز إشارات محطة لندن 3 وإشارات كلتا المحطتين الوطنيتين المتعددتَيْ الإرسال واضح، في حين أن محطات متعددة الإرسال محلية أخرى أضعف بشكل ظاهر. وهنالك تغيير لا بأس به للموضع داخل المبنى، ويبيِّن أسفل يمين المخطط في الشكل 43 سويات إشارة مرتفعة لجميع المحطات المتعددة الإرسال، يميل قليلاً لصالح المحطات الأعلى تردداً فيما بينها، ويبيِّن أيضاً أن المحطات المتعددة الإرسال المحلية اللندنية أحرزت كسباً خفيفاً بالنسبة إلى نظيراتها الوطنية[13].

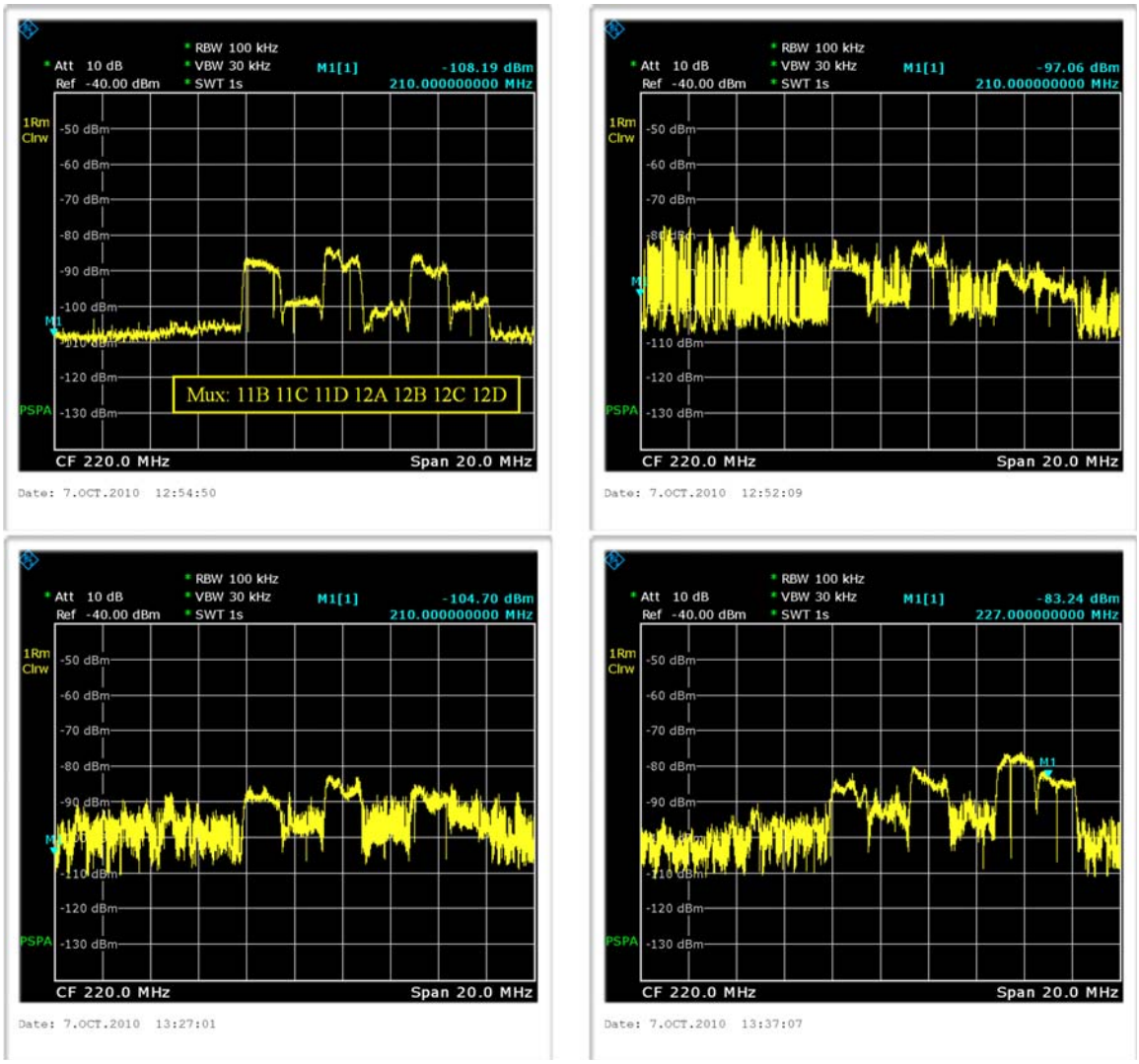
وفي الشكل 43، يمثل المخططان، العلويّ الأيسر والعلويّ الأيمن، الاستقبال بواسطة مستقبِل في موضع واحد مع تشغيل شبكة PLT وبدون تشغيلها. فواضح أن التداخل في هذه الحالة يتجاوز حتى سوية أقوى المحطات المتعددة الإرسال (المحطات الوطنية مثلاً)، ولا عجب من تعذّر استقبال بثها في هذا السيناريو.

والمخطط السفلي الأيسر من الشكل 43 هو لنفس موضع المستقبِل، ولكن استُعملت فيه من أجل الشبكة PLT منافذ إلى مقبس التيار مختلفة. ففي هذه الحالة تحسّنت قليلاً نسبة الإشارة إلى التداخل (SIR)، ولكن أُعيق الاستقبال كثيراً، حتى من الشبكات الوطنية. ويمثِّل المخطط السفلي الأيمن من الشكل 43 الاستقبال في موضع آخر ولكن مع الاحتفاظ لشبكة PLT بنفس التسيير الذي استعمل في الاستقبال الذي يمثّله المخطط السفلي الأيسر. وفي هذه الحالة تحسنت النسبة SIR أكثر بقليل، وأمكن الاستقبال نوعاً ما للمحطات المتعددة الإرسال الأقوى.

[13] تستعمل المحطتان المتعددتا الإرسال المحليتان اللندنيتان مجموعة من مواقع المرسِلات، مختلفة عما تستعمله الشبكات الوطنية. والأقرب إلى المنزل B من بين مواقع كل منهما (أي Crystal Palace لواحدة وReigate للأخرى) يقعان شمالَه على وجه التقريب (الجهة المقابلة لأبواب فناء حُجرة الجلوس) ولكن ليس لكل منهما نفس الاتجاه.

الشـــكل 43

أطياف تعدد الإرسال لإذاعة DAB مع بعض التركيبات المشتملة على موضع المستقبِل داخل المبنى وتشكيلة شبكة PLT



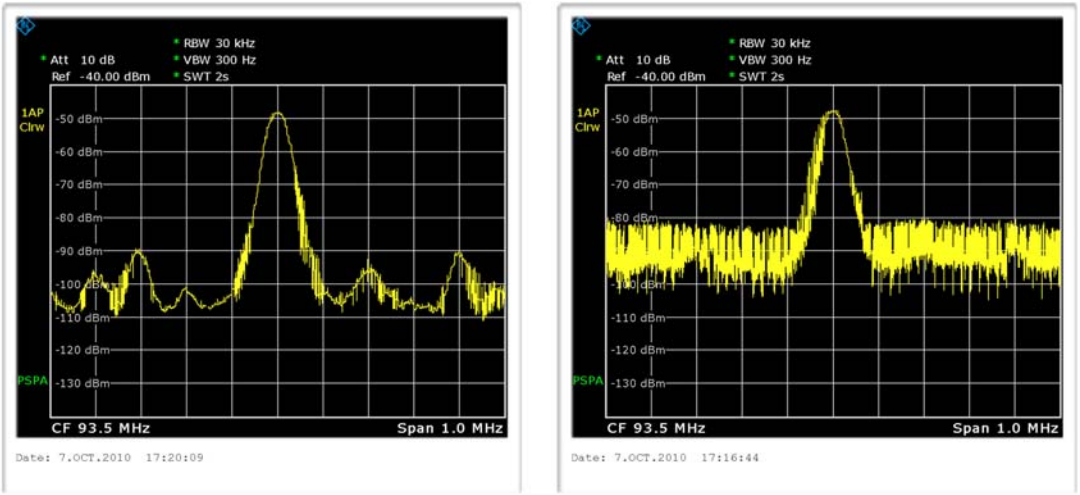
Report SM.2212-43

ثم إن المنزل B مجهَّز بهوائي خارجي من أجل راديو النطاق II FM مع مضخِّم توزيع موضوع في تسقيفة المنزل بحيث يمكن تزويد عدة حُجرات بإشارات من خارج البث.

ويبين الشكل 44 أطيافاً لاستقبال بث راديو BBC 4 FM في الشبكة الوطنية على التردد 93,5 MHz (مُرسِل روتهام). ويمثل المخطط الأيسر حالة الاستقبال وشبكة PLT خارج التوليف، بينما يمثل المخطط الأيمن الاستقبال وشبكة PLT تحمل حركة نقل بيانات. ويظهر هنا بوضوح انحطاط ضوضاء الخلفية بسبب التداخل من شبكة PLT.

الشـــكل 44

أطياف راديو BBC 4 FM (مرسِل روثهام، تردد 93,5 MHz) استقبال في المنزل B
استُعمل له هوائي خارجي مع شبكة PLT غير عاملة (المخطط الأيسر)،
ثم عاملة بنقل بيانات (المخطط الأيمن)



Report SM.2212-44

ولكن ينبغي الحذر عند الاستدلال على نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) ونسبة الإشارة إلى التداخل (SIR) من هذه النتائج. إذ إن عرض نطاق محلل الطيف المستعمَل يساوي هنا 30 kHz، بينما عرض نطاق مستقبل FM أكبر منه بمقدار ملحوظ. وعليه فإن نسبة RF SIR في المستقبِل بوجود حركة النقل في شبكة PLT ستكون أسوأ مما يوحي به المنحني في القسم الأيمن من الشكل. ويجب كذلك في تفسير النسبة SNR الممثَّلة في المنحني الأيسر أن يراعي عاملين هما عرض النطاق من جهة، وكون محلل الطيف قد زُوِّد بموهِّن في الدارة منعاً لحدوث حمولة زائدة، من جهة أخرى.

5.4.A3 الاستنتاجات

تقدّم هذه الدراسة قياسات طيفية للإشعاع الصادر عن مودمات PLT عالية السرعة بالمقارنة مع الإشارات المطلوبة من مرسِلات النطاق II FM ومرسلات DAB النطاق III. وقد أُجريت هذه القياسات في موقعَيْ منزلَيْن تمثيليين لبيئة الاستقبال، واستندت إلى طريقة البرهان واختبارات المعايرة في بيئة مختبرية.

وتبيِّن النتائج إن الإشعاعات التي تصدر عن شبكة PLT مشابهة لشدد المجال المطلوبة من أجل الاستقبال والمستعملة في طرائق التخطيط الراسخة. ففي الواقع، ترفع إشعاعات شبكة PLT الضوضاء الخلفية إلى سوية بحيث تقع المناطق المتمتعة سابقاً بتغطية جيدة تحت تغطية حدودية. وبالفعل تنخفض نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) إلى مقربة العتبة المقبولة، وتنحط جودة السماع بسرعة من ضوضائي إلى غير مفهوم بمجرّد تغيير طفيف في بعض العوامل مثل موضع المستقبِل وظروف الانتشار التروبوسفيري.

_____