الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R P.1321-3

(2009/10)

عوامل الانتشار التي تؤثر في الأنظمة التي تستعمل تقنيات التشكيل الرقمي في نطاقات الموجات الكيلومترية (LF) والهكتومترية (MF)

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

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 توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REC/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
S	الخدمة الثابتة الساتلية
RS	أنظمة الاستشعار عن بعد
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2010

© ITU 2010

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).

التوصيـــة ITU-R P.1321-3

عوامل الانتشار التي تؤثر في الأنظمة التي تستعمل تقنيات التشكيل الرقمي في نطاقات الموجات الكيلومترية (LF) والهكتومترية (MF)

(المسألة ITU-R 225/3)

(2009-2007-2005-1997)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية معلومات بشأن خصائص انتشار الموجات الأرضية والموجات السماوية (الأيونوسفيرية) الكيلومترية والهكتومترية والتي قد تؤثر على استعمال طرائق التشكيل الرقمي في هذه النطاقات.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن طرائق التشكيل الرقمي للإذاعة الصوتية بالموجات الكيلومترية (LF) والهكتومترية (MF) قيد الدراسة حالياً؛

ب) أن من الضروري توفر معلومات بشأن خصائص الانتشار عند هذه الترددات لاستخدامها في تصميم طرائق التشكيل،

توصـــي

1 بأن تؤخذ المعلومات الواردة في الملحق 1 في الحسبان لدى تصميم طرائق التشكيل الرقمي في الإذاعة بالموجات الهكتومترية (MF) والكيلومترية (LF).

الملحق 1

1 مقدمة

تقوم معظم خدمات الإذاعة بالموجات الهكتومترية والكيلومترية على خصائص أسلوب انتشار الموجة الأرضية (انظر التوصية ITU-R P.368). ويكون في مدى التغطية، خلال النهار وفي غياب التداخل، محدوداً بشدة الضوضاء الراديوية بسبب الصاعقة والمصادر الاصطناعية (انظر التوصية ITU-R P.372) ونسبة الإشارة إلى الضوضاء المحددة. وفي أثناء الليل، تصبح أساليب الانتشار الأيونوسفيري هامة (انظر التوصية ITU-R P.1147). وفي حالة تشكيل الاتساع التماثلي، تحد هذه الأساليب من مدى التغطية لأن التداخل بين الموجة الأرضية وأساليب الموجة الأيونوسفيرية المغايرة والمطاورة يؤدي إلى نوعية إشارة غير كافية. ويمكن كذلك للإشارات المرسلة بواسطة الموجة الأيونوسفيرية القادمة من الإرسالات الأخرى عن بُعد أن تسبب تداخلات ليلية هامة، مما يمكن أن يحد كذلك من تغطية الخدمة عند مديات تسمح فيها الموجة الأرضية بالحصول على إشارة كافية الشدة. أما جوانب التداخل التي تسببها إشارات أخرى فلا تعالج بالتفصيل في هذا الملحق.

ويمكن لأساليب التشكيل الرقمي كذلك أن تتأثر بوجود أساليب إشارات مؤخرة، ولكن من الممكن لتصميم تشكيل ملائم تعويض أو استغلال هذا الأثر. ويقدم هذا الملحق نماذج بسيطة جداً لهذه البيئة متعددة المسيرات يفترض أن تكون مناسبة لتصميم طرائق التشكيل. وتبعاً لتقنية التشكيل المختارة قد تكون هناك حاجة إلى طرائق تنبؤ مفصلة من أجل تخطيط الخدمات.

2 أساليب الانتشار

1.2 أسلوب انتشار الموجة الأرضية

غالباً ما لا تكون الموجة الأرضية ثابتة (انظر الفرع 4). وكما يدل على ذلك التوصية ITU-R P.368، فإن اتساع الإشارة يتوقف على المدى والخصائص الكهربائية للأرض. كما أن هذا الاتساع لا يظل ثابتاً إزاء تغييرات صغيرة في الموقع (تتراوح بعدة مئات من الأمتار).

2.2 أساليب انتشار الموجة الأيونوسفيرية

خلال النهار، يمنع توهين الإشارة في الجزء المنخفض من الطبقة D في الأيونوسفير فعلياً انتشار الموجة الأيونوسفيرية. ويعالج هذا الملحق أساساً الظروف الليلية عندما يكون انتشار الموجة الأيونوسفيرية هاماً.

تتلاشى الطبقة E للأيونوسفير بعد غروب الشمس، لكن التردد الحرج foE سوف يكون في نطاق الإذاعة MF، على الأقل خلال الجزء الأول من الليل. والإشارات عند ترددات أقل من التردد الحرج سوف تنعكس دائماً عند الطبقة E، وستكون هناك كذلك انعكاسات متعددة القفزات. وقد تنعكس أيضاً الإشارات فوق التردد الحرج عند الطبقة E، خاصة لمديات أطول، لكن الإشارات سوف تخترق كذلك الطبقة E لتنعكس عند المنطقة F العليا. يوضح الشكل 1 باستعمال نموذج أبسط للطبقة E، أساليب الإشارة المتيسرة لثلاثة ترددات في النطاق MF، مبيناً الطريقة التي يتغير بها تيسر الأسلوب بتغير المدى على الأرض وبتغير الوقت بعد الغروب. وسوف تكون هذه الأساليب متأخرة زمنياً بالنسبة لأسلوب انتشار الموجة الأرضية.

وتوفر التوصية ITU-R P.1147 تنبؤات عن قدرة الإشارة المركبة لأساليب الموجة الأيونوسفيرية المتيسرة، ومن ثم فإنها لا تعطي المعلومات الضرورية للاتساعات النسبية لمختلف الأساليب. لكن التوصية ITU-R P.684 تقدم هذه المعلومات، على الرغم من أنها معدة أساساً للترددات أقل من 500 kHz. وهي تعطي على الخصوص قيماً لمعامل الانعكاس الأيونوسفيري لظروف الكلف الشمسي الأدنى، على أساس نتائج تجريبية، وعلى أساس بعض الافتراضات، كما هو مذكور في التوصية.

3 الامتداد الزمني عبر مسيرات متعددة

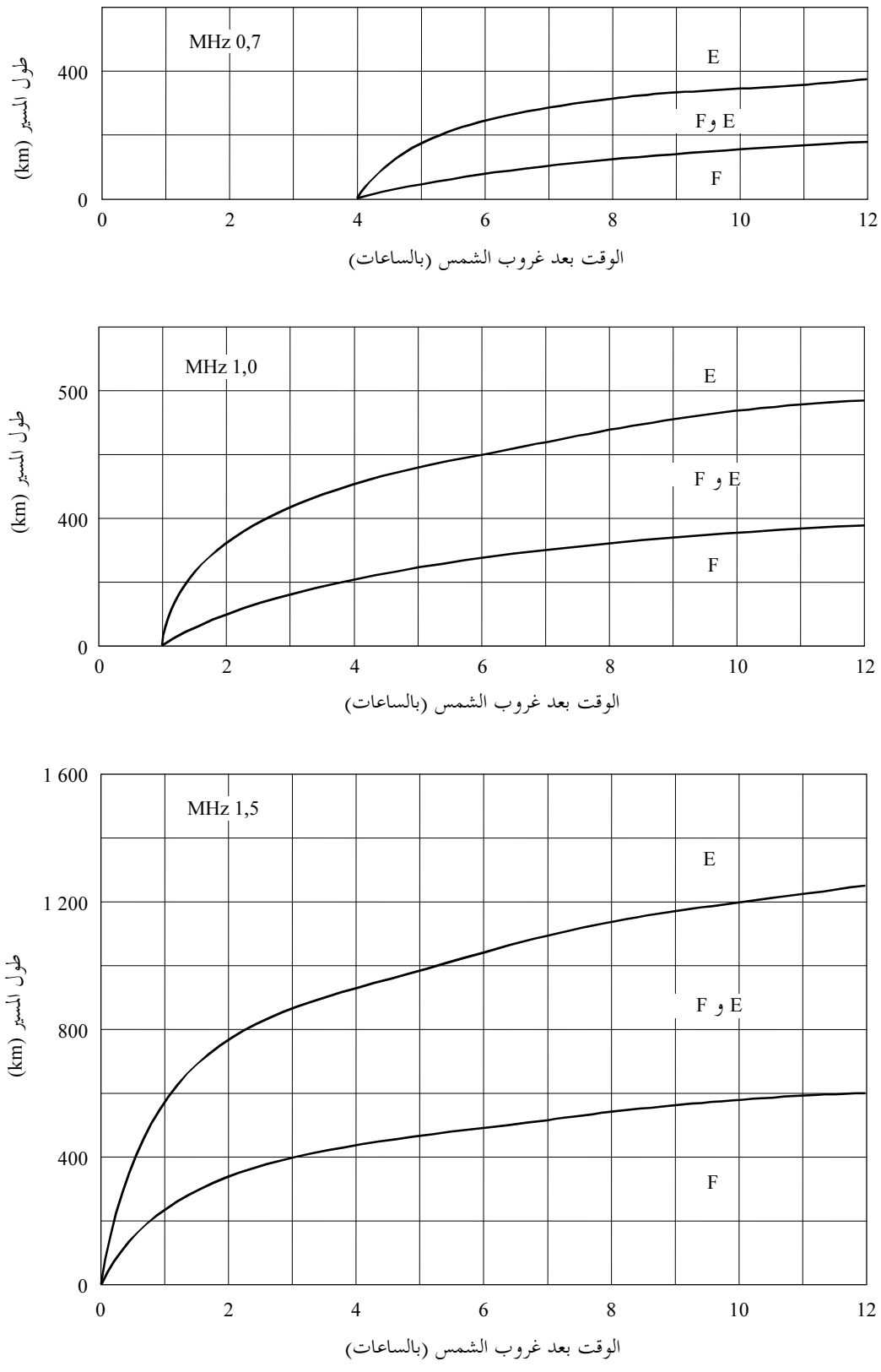
يعتمد الشكل 2 نماذج الانتشار البسيطة السابقة لبيان متوسط شدات المجال المتوقعة والتأخرات الزمنية النسبية لثلاثة مديات وهي 100 و200 و500 km، وترددين هما 700 kHz و1 MHz. وتُعطى شدة المجال لقدرة 1 كيلوواط e.m.r.p. ولا تشمل أثر مخطط الإشعاع العمودي لهوائي الإرسال مما قد يؤدي إلى تخفيض سويات إشارات الموجة الأيونوسفيرية عند المديات القصيرة.

ويتعلق الأسلوب المبين عند 0 ms بالموجة الأرضية، وتبين شدة المجال لثلاث قيم للإيصالية الأرضية أي 5 S/m (ماء البحر) و10^{-2} (تربة جيدة) و10^{-3} (تربة رديئة).

ويُشار إلى مكونات الموجة الأيونوسفيرية بالأسلوب ذي الصلة والسويات التي تمثل بالتقريب متوسط شدات المجال بعد أربع ساعات من غروب الشمس عند كلف الشمس الأدنى.

الشـــكل 1

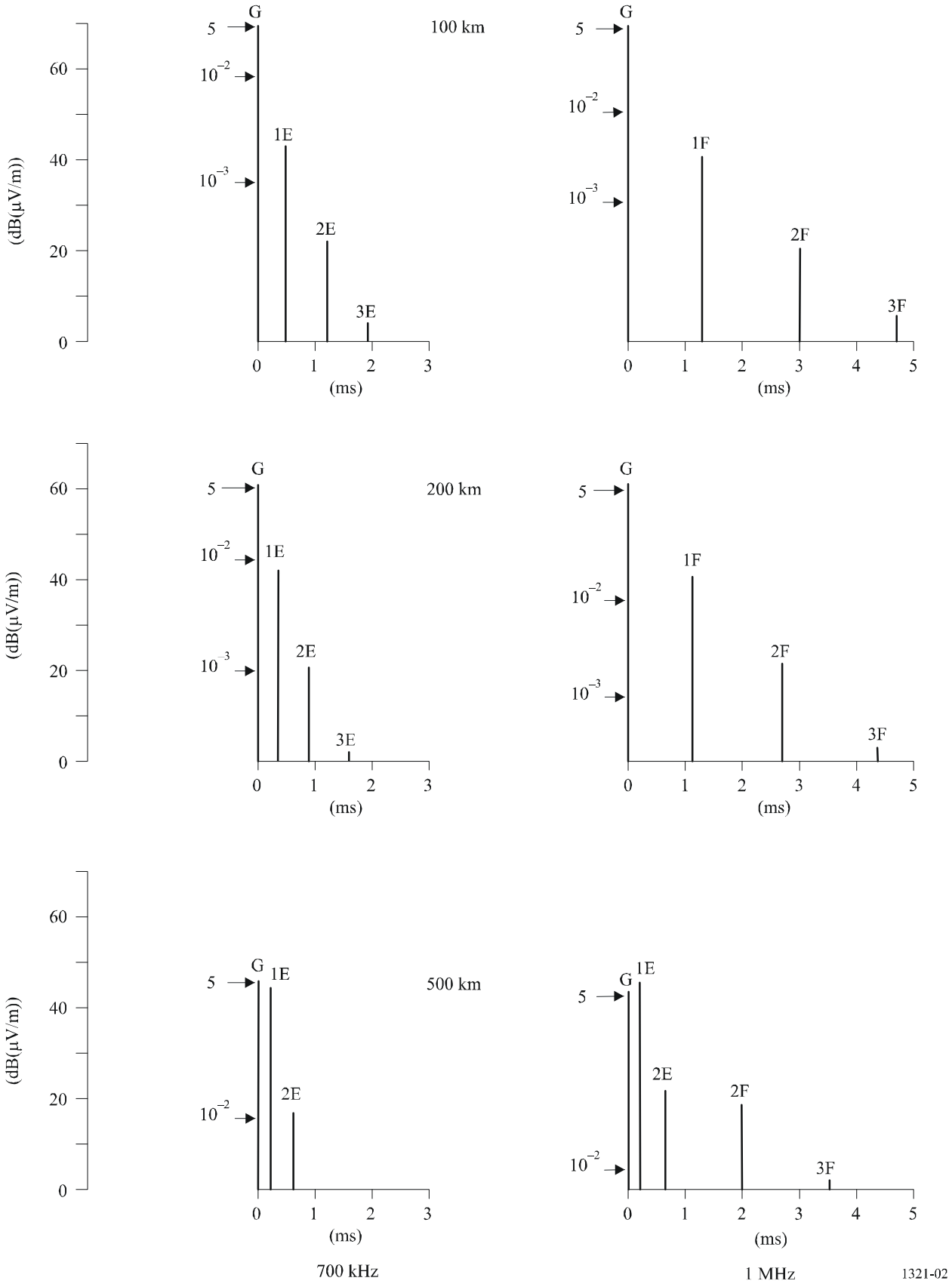
أساليب الانتشار المتيسرة



1321-01

الشـــكل 2

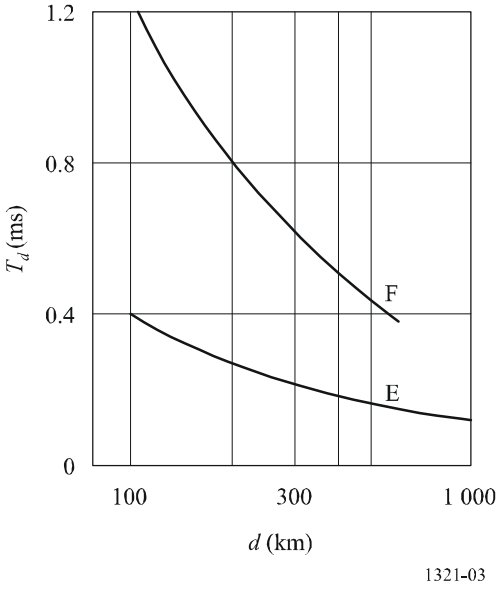
أمثلة عن امتداد التأخر الزمني



ويبين الشكل 3 التأخر في أساليب انتشار الموجة الأيونوسفيرية في قفزة واحدة في الطبقتين E وF بالنسبة لموجة الأرض لمديات أعلى من km 1 000 ويعطي الشكل 4 التأخرات النسبية بين أساليب انتشار الموجة الأرضية في قفزة واحدة وفي عدة قفزات.

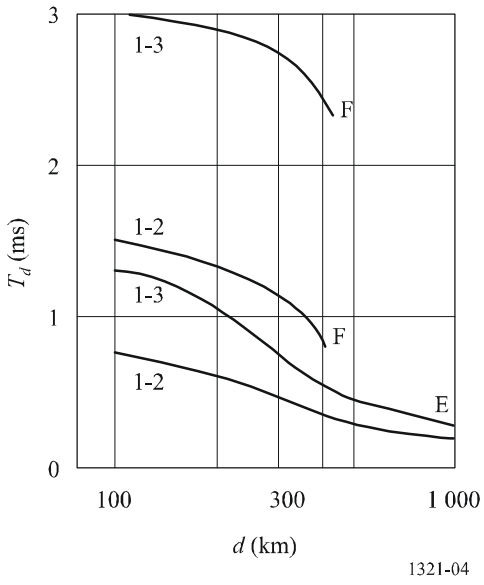
الشـــكل 3

التأخر النسبي لإشارة الموجة الأيونوسفيرية
بالنسبة إلى إشارة الموجة الأرضية



الشـــكل 4

التأخر المتبادل لإشارات الموجة الأيونوسفيرية
لأعداد مختلفة من القفزات



إن مدى المسافات التي تكون فيها اتساعات إشارة الموجة الأرضية والأيونوسفيرية متشابهة يكتسي أهمية خاصة لأن الخبو في هذا المدى شديد بشكل خاص. وقد أطلق عليه اسم "منطقة الخبو الليلي" وغالباً ما يحدد كمعيار لمدى النوعية الجيدة للإذاعة MF.

4 التغيرية

1.4 تغيرات الإشارة في وقت النهار

يمكن أن تتغير شدة المجال للموجات الأرضية بتغير درجة الحرارة في الشتاء. ويرد في الجدول 1 متوسط المدى السنوي (اختلاف متوسط شدة المجال شهرياً بين الشتاء والصيف) من أجل 500-1 000 kHz فيما يتعلق بخط عرض في نصف الكرة الشمالي حيث يكون متوسط درجة الحرارة في يناير أقل من حوالي 4°C.

الجـــدول 1

متوسط درجة الحرارة (°C) عند نصف الكرة الشمالي في يناير	4	0	10–	16–
مدى شدة المجال شتاء – صيفاً، u (dB)	4	8	13	15

وفي نطاق الموجات الكيلومترية، فإن مدى الاختلاف في شدة المجال عند خطوط عرض متوسطة مع مناخ قاري (كما تم قياسه في الإقليم القاري من أوروبا وفي إقليم سيبريا) يعتمد على المسافة والتردد، حيث يعتمد على المعلمة $q = d \cdot f^{1/2}$، حيث d المسافة (km) وf التردد (MHz). وقيم $q < 500$ تحدد تقريباً الاختلاف بالنسبة للموجات الأرضية والقيم الأكبر $q > 500$ تختص بالموجات السماوية الأيونوسفيرية.

الصيغ المقابلة لمدى التغير هذا هي التالية:

– بالنسبة لمسيرات تحتوي على جزء صغير من أراضي الغابات:

$$U_{s/w} = 3 + 2 \times 10^{-5} \times q^2 + 0.005q \quad \text{dB}$$

– بالنسبة لمسيرات تحتوي على جزء كبير من أراضي الغابات:

$$U_{L/w} = 6.409 \times \ln(q) - 21.124 \quad \text{dB}$$

2.4 تغيرات الإشارة وقت النهار من مكان لآخر

في نطاق الموجات الهكتومترية، تكون قيم التغيرات في مستوى الإشارة بين مواقع تبعد عن بعضها بمسافات في حدود 1 km مماثلة لقيم الانحراف المعياري في أجزاء مختلفة من العالم. ويتطابق توزيع الاحتمال عملياً مع قانون اللوغاريتمات العادي حيث تكون قيمة جذر متوسط تربيع الانحراف σ = 3,7 dB، كما هو مبين في الشكل 5.

وفي الظروف الحضرية، في الشوارع والمناطق يكون الانحراف المعياري أيضاً في حدود القيمة 4 dB. في أجزاء المدينة المكتظة بالمباني، خاصة على مسافات قصيرة من المرسل (حتى 1 km) يزيد الانحراف المعياري ويصل إلى 7-8 dB. وفي داخل المباني وفي حالات نادرة قد يصل الامتصاص الإضافي إلى 20 dB.

3.4 تغييرات الإشارة أثناء الليل

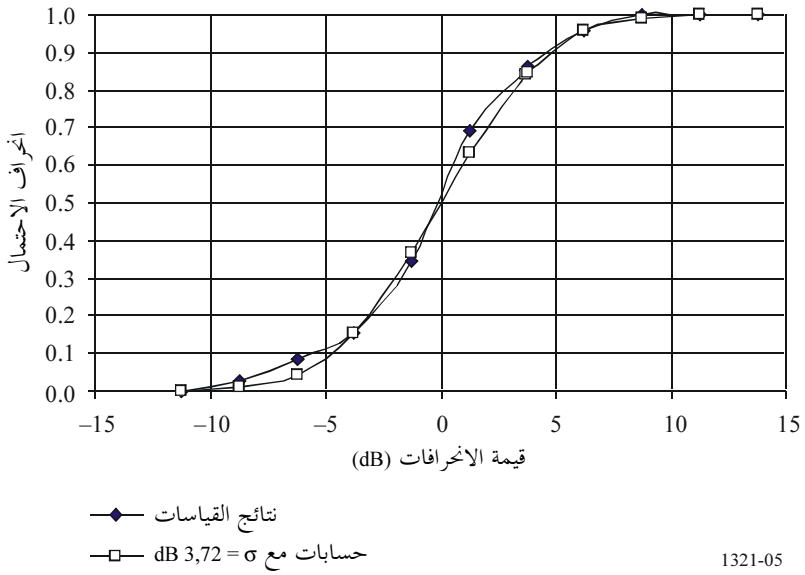
سوف تخضع أساليب الموجة الأيونوسفيرية لتغيرية طويلة الأمد من ليلة إلى أخرى حيث يكون للقيم المتوسطة الساعية توزيع لوغاريتم عادي يشبه مدى بين أعشار الوحدة يتراوح بين 3,5 و9 dB. ويكون لخبو الأساليب الفردية خلال ساعة واحدة كذلك توزيع لوغاريتم عادي. وهناك بعض معطيات القياسات ولكن يمكن افتراض قيمة نمطية للانحراف المعياري بنحو 3 dB. ويكون معدل الخبو بين 10 و30 خبوة في الساعة.

وبالنسبة للحالات التي ينبغي فيها أن يُؤخذ في الاعتبار الاتساع المركب للموجة الأرضية وأساليب الموجة الأيونوسفيرية، أي في الحالات التي لا يمكن فيها فصل الأساليب في نظام الاستقبال، يُناقش توزيع خبو الإشارة في التذييل 1 للملحق 1.

وتكون زحزحة تردد أساليب انتشار الموجة الأيونوسفيرية، الناتجة عن أثر دوبلر على الانعكاس من الطبقات الأيونوسفيرية المتحركة، ضعيفة.

الشـــكل 5

قانون توزيع الانحرافات



4.4 خصائص الإفراط والخبو في قنوات الموجات الأيونوسفيرية الكيلومترية والهكتومترية

إن الأوصاف المتوفرة لخصائص معدلات القيم وتشتت الإشارة غير كافية لإجراء تحليل للأنظمة الراديوية ذات التشكيل الرقمي في نطاقات الموجات الكيلومترية والهكتومترية والتخطيط لها. ولا بد من الأخذ في الحسبان المزيد من الخواص الدقيقة لظاهرتي الإفراط والخبو وخصوصاً فهم احتمالات توزيع مدد إفراط الإشارة وخبوها عند مستويات مختلفة لنسب الإشارة إلى التداخل. وقد جمعت خصائص ذات دلالة إحصائية لظاهرتي الإفراط والخبو لمدة عامين وفي وصلتين إحداهما تعمل بالموجات الكيلومترية (1 550 km بالتردد 155 kHz) والأخرى بالموجات الهكتومترية (860 km بالتردد 539 kHz)، وترد هذه الخصائص في التذييل 2. وتتعلق النتائج بخطوط العرض الجغرافية المتوسطة لنصف الكرة الأرضية الشرقي وفي نشاط الكلف الشمسي المعتدل (SSN ≈ 40).

ويعرض الجدولان 3 و4 في التذييل 2 عدد مرات الإفراط والخبو في الساعة الواحدة وفي كل وصلة. والشكلان 6 و7 يعرضان مخططات توزيع عدد (%) متوسط عتبة مدد الإفراط لكل وصلة.

5 استنتاجات

تعرّف التوصية ITU-R P.1407 مجموعة من المعلمات للاستعمال في وصف آثار الانتشار متعدد المسيرات. "ونافذة التأخر"، التي تتضمن أكثر من حوالي 98% من الطاقة الإجمالية، يمكن أن تُحدد انطلاقاً من الشكل 2 على أنها أصغر من 3 ms. وجدير بالذكر أن المكونة الأولى للمسيرات المتعددة لن تكون في بعض الظروف تلك التي يكون فيها أكبر الاتساع.

التذييل 1
للملحق 1

يمكن الحصول على اتساع الإشارة المركبة، e، لتركيبة إشارة موجة أرضية ثابتة وإشارة موجة أيونوسفيرية ذات توزيع لوغاريتم عادي، بواسطة جمع القدرتين:

$$e = \sqrt{e_e^2 + e_i^2}$$

حيث e_e وe_i هما سويتا مكونتي الموجة الأرضية والموجة الأيونوسفيرية، المعبر عنهما عادة بالوحدة μV/m.

ويكون لمكونة الموجة الأيونوسفيرية e_i توزيع لوغاريتم عادي (انظر التوصية ITU-R P.1057، المعادلة (6)). ويُفترض من قبيل التيسير أن مكونة الموجة الأرضية تحتوي على توزيع لوغاريتم عادي ويتم الحصول على النتيجة النهائية بضبط انحرافها المعياري عند 0 dB.

تؤدي تركيبة توزيعي لوغاريتم عادي كذلك إلى توزيع لوغاريتم عادي يكون متوسط السوية فيه هو مجموع كل من السويات المتوسطة (أي من حيث الاتساع وليس من حيث الديسبل) وتكون المغايرة هي مجموع المغايرتين.

وبالنسبة لتوزيع لوغاريتم عادي (انظر التوصية ITU-R P.1057) يُعطى المتوسط والانحراف المعياري لسويات الإشارة (μV/m) بواسطة:

$$\text{المتوسط} = e^{m} \cdot e^{\sigma^2/2}$$

$$\text{الانحراف المعياري} = \sqrt{e^{2m} \cdot e^{\sigma^2}\left(e^{\sigma^2} - 1\right)}$$

حيث m هي المتوسط وσ الانحراف المعياري لتوزيع لوغاريتم عادي.

انطلاقاً من هذه الاعتبارات، من الممكن تقييم المعلمات لتوزيع مركب. ويحتوي الجدول 2 على أمثلة عن النتائج التي يكون فيها الانحراف النمطي لمكونة الموجة الأيونوسفيرية لوغاريتم عادي يساوي 3 dB.

الجـــدول 2

e_i / e_e	السوية المتوسطة بالنسبة لمتوسط مكونة الموجة الأرضية	الانحراف المعياري
(dB 6–) 0,5	dB 1,3+	dB 0,72
(dB 0) 1	4,4+	1,35
(dB 6+) 2	5,7+	2,0

التذييل 2
للملحق 1

الجـــدول 3

عدد مرات إفراط الإشارة وخبوها في الساعة في وصلة الموجات الكيلومترية

	الوقت (الساعة)								
مستوى العتبة	18	19	20	21	22	23	24	01	02
متوسط (الإفراط)	2,3	2,7	3,1	3,7	4,1	4,6	4,4	3,9	3,5
العشر الأدنى (الخبو)	1,5	1,75	2	2,3	2,6	2,6	2,3	2	1,7
العشر الأعلى (الإفراط)	1,6	1,8	1,9	2,1	2,25	2,4	2,4	2,3	2,2

الجـــدول 4

عدد مرات إفراط الإشارة وخبوها في الساعة في وصلة الموجات الهكتومترية

	الوقت (الساعة)									
مستوى العتبة	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03
متوسط (الإفراط)	1,8	2	2,3	2,7	2,9	3,2	3,5	3,5	3	2,7
العشر الأدنى (الخبو)	1,5	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,4	2,3	2,1
العشر الأعلى (الإفراط)	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,1	2	1,8

توزيع متوسط مستوى المدة الزائدة في نطاقات الموجات الكيلومترية (LF) والهكتومترية (MF)

توزيع متوسط مستوى مدة الإفراط في نطاقات الموجات الكيلومترية والهكتومترية من أجل تقدير الخصائص الإحصائية لمتوسط مستوى مدد الإفراط في نطاقات الموجات الكيلومترية والهكتومترية، يمكن استعمال التوزيع التالي:

$$P_k = 0.38 \cdot e^{-d\,t^2/r^2} + 0.62 \cdot e^{-0.5\,t^2/q^2} + 0.62 \cdot e^{-b\,t/r} \cdot \left(1 - e^{-0.5\,t^2/q^2}\right) \quad (1)$$

حيث المدة t (بالدقائق) تساوي أو تفوق 0، وd وb وq وr هي معلمات مختارة.

توزيع مدة إفراط العشر الأعلى ومدد خبو العشر الأدنى في نطاقات الموجات الكيلومترية (LF) والهكتومترية (MF)

يردد وصف حساب توزيع احتمال مدد الخبو لعتبتي العشرين الأعلى والأدنى في توزيع غاما:

$$p_G = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot t^{\alpha-1} \cdot e^{-\lambda t}, \qquad P_G = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot \int t^{\alpha-1} \cdot e^{-\lambda t} dt \tag{2}$$

حيث:

p_G: توزيع حسب الاحتمال

P_G: التوزيع التراكمي

t: المدة (بالدقائق)

λ وα: معلمات مختارة.

ويبين الجدول 5 أدناه قيم التوزيع والمعلمات في عدة مستويات عتبة.

الجـــدول 5

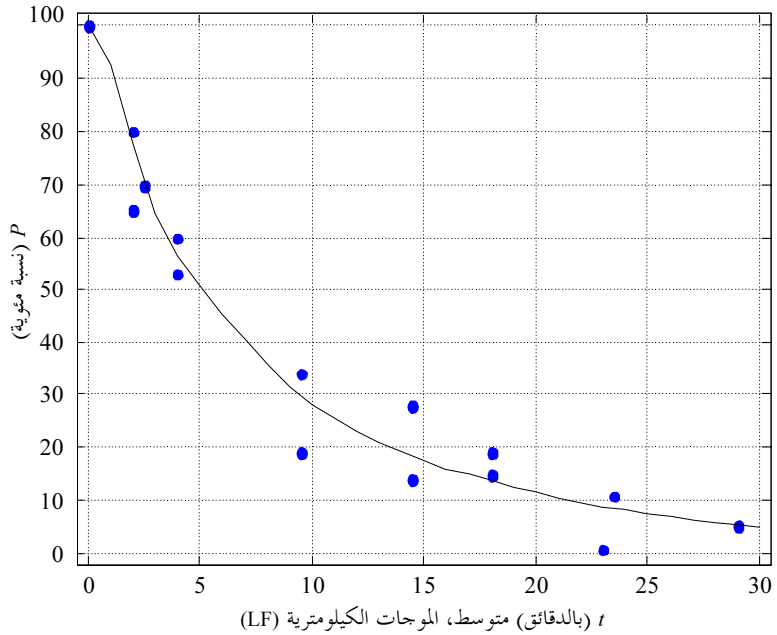
التوزيع والمعلمات لعدة قيم عتبة

النطاق	مستوى العتبة	الإفراط والخبو	التوزيع	المعلمات
LF	متوسط	إفراط	المعادلة (1)	$b = 0{,}32$, $d = 3{,}0$, $q = 4{,}0$, $r = 3{,}8$
LF	العشر الأدنى	خبو	المعادلة (2)	$\alpha = 2{,}00$, $\lambda = 0{,}67$
LF	العشر الأعلى	إفراط	المعادلة (2)	$\alpha = 2{,}20$, $\lambda = 0{,}67$
MF	متوسط	إفراط	المعادلة (1)	$b = 0{,}3$, $d = 0{,}8$, $q = 1{,}8$, $r = 2{,}2$
MF	العشر الأدنى	خبو	المعادلة (2)	$\alpha = 3{,}30$, $\lambda = 1{,}13$
MF	العشر الأعلى	إفراط	المعادلة (2)	$\alpha = 2{,}95$, $\lambda = 0{,}7$

تختلف البيانات التجريبية للقيم المتوسط لمدة الإفراط في الموجات الكيلومترية والموجات الهكتومترية اختلافاً لا يذكر يقارب دقيقة واحدة (5 دقائق في الموجات LF و4 في الموجات MF).

الشـــكل 6

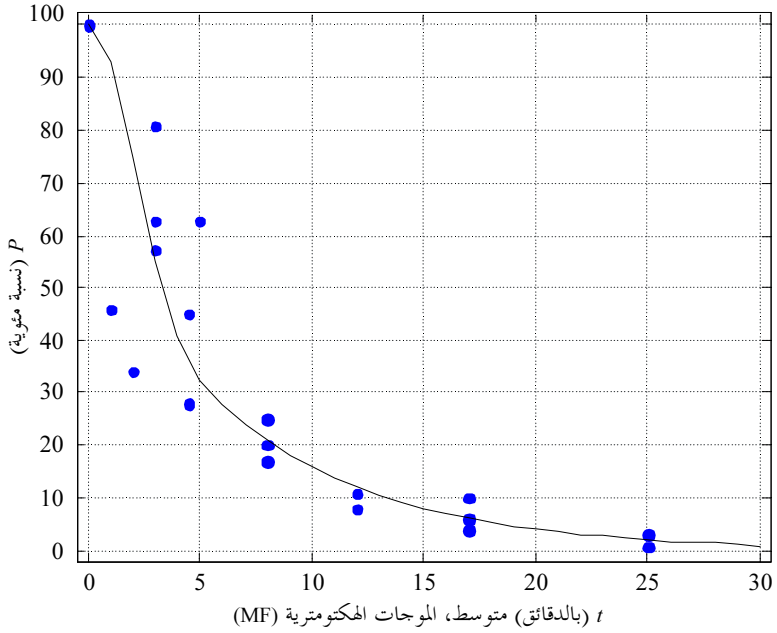
عدد الفترات الزائدة (%) في الساعة للعتبة الوسطى
في وصلة الموجات الكيلومترية (LF) وتوزيع متكامل



1321-06

الشـــكل 7

عدد الفترات الزائدة (%) في الساعة للعتبة الوسطى
في وصلة الموجات الهكتومترية (MF) وتوزيع متكامل



1321-07