الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R P.533-11

(2012/02)

طريقة التنبؤ بأداء الدارات العاملة بالموجات الديكامترية (HF)

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

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
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
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، 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).

التوصيـــة ITU-R P.533-11

طريقة التنبؤ بأداء الدارات العاملة بالموجات الديكامترية (HF)*،**

(2012-2009-2007-2005-2001-1999-1995-1994-1992-1990-1982-1978)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية طرائق للتنبؤ بالترددات المتيسِّرة وسويات الإشارات والموثوقية المفترضة في كلٍّ من النظامين المشكلين تمثيلياً ورقمياً بالموجات الديكامترية (HF)، وذلك مع مراعاة لا لنسبة الإشارة إلى الضوضاء وحسب بل للتمديد المتوقع للوقت والتردد في القناة.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن الاختبارات التي تستعمل بنك معطيات قطاع الاتصالات الراديوية D1 تبين أن دقة الطريقة الموصوفة في الملحق 1 بهذه التوصية مماثلة لدقة الطرائق الأخرى الأكثر تعقيداً؛

ب) أن التطبيق العملي لهذه الطريقة يتطلب معلومات عن خصائص الأداء لهوائيات الإرسال والاستقبال[1]؛

توصـــي

1 بأن تستعمل المعلومات الواردة في الملحق 1 في التنبؤات المحوسبة بانتشار الموجة الأيونوسفيرية عند ترددات تتراوح بين 2 و30 MHz؛

2 بأن تبذل الإدارات وقطاع الاتصالات الراديوية جهوداً لتحسين طرائق التنبؤ من أجل تعزيز مرافق التشغيل وتحسين مستوى الدقة.

الملحق 1

المحتـــويات

1 المقدمة

الجزء 1 – تيسُّر الترددات

2 تحديد موقع نقاط التحكم

3 أقصى الترددات المستعملة الأساسية والتشغيلية

1.3 أقصى الترددات المستعملة

2.3 التردد الحرج للطبقة E (foE)

---

* ثمة برنامج حاسوبي (REC533) مصاحب لإجراءات التنبؤ الموصوفة في هذه التوصية متاح في موقع قطاع الاتصالات الراديوية على الشبكة في الجزء المخصص للجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية.

** ملاحظة من أمانة مكتب الاتصالات الراديوية – أدخلت تعديلات صياغية على الصفحات 1 و3 و18 و23 في النسخة الإنكليزية (المعادلة الواردة في الفقرة 3) في فبراير 2008.

[1] يوفر الاتحاد معلومات مفصلة عن مجموعة من الهوائيات المصاحبة لبرنامج حاسوبي. لمزيد من التفاصيل راجع التوصية ITU-R BS.705.

3.3 التردد MUF الأساسي للطبقة E
4.3 خصائص الطبقة F2
5.3 التردد MUF الأساسي للطبقة F2
1.5.3 أسلوب الرتبة الأدنى
1.1.5.3 مسيرات لا يتجاوز طولها d_{max} (km)
2.1.5.3 مسيرات يتجاوز طولها d_{max} (km)
2.5.3 أساليب من الرتبة الأعلى (مسيرات لا يتجاوز طولها 9 000 km)
1.2.5.3 مسيرات لا يتجاوز طولها d_{max} (km)
2.2.5.3 مسيرات يتجاوز طولها d_{max} (km)
6.3 احتمالات الشهر لوسيط الانتشار الأيونوسفيري
7.3 أقصى الترددات (MUF) التشغيلية على المسير
4 أقصى ترددات الحجب بالطبقة E، (f_s)
الجزء 2 – متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية
5 متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية
1.5 زاوية الارتفاع
2.5 مسيرات لا يتجاوز طولها 7 000 km
1.2.5 الأساليب المعتمدة
2.2.5 تحديد شدة المجال
3.5 مسيرات يتجاوز طولها 9 000 km
4.5 مسيرات بين 7 000 و9 000 km
6 القدرة المتوسطة المتيسرة في المستقبل
الجزء 3 – التنبؤ بأداء النظام
7 المتوسط الشهري لنسبة الإشارة إلى الضوضاء
8 شدة المجال الأيونوسفيري، وقدرة الإشارة المستقبلة ونسب الإشارة إلى الضوضاء من أجل نسب مئوية أخرى من الوقت
9 أدنى تردد مستعمل (LUF)
10 اعتمادية الدارة الأساسية (BCR)
1.10 اعتمادية الأنظمة المشكلة تماثلياً
2.10 اعتمادية الأنظمة المشكلة رقمياً مع مراعاة تمديد الوقت والتردد للإشارة المستقبلة
1.2.10 معلمات النظام
2.2.10 وقت الانتشار
3.2.10 إجراء التنبؤ بالاعتمادية
3.10 الانتشار عند خط الاستواء
التذييل 1 للملحق 1 – نموذج الانتشار الاستوائي لإشارات الموجات الديكامترية (HF)

1 مقدمة

ويطبق هذا الإجراء التنبؤي تحليل مسير الأشعة بالنسبة إلى مسيرات يصل طولها إلى 000 7 km، وعلاقات مستخلصة تجريبياً في أسلوب مركب انطلاقاً من ضبط معطيات القياس لمسيرات تفوق 000 9 km، واستكمالاً داخلياً بين هاتين الطريقتين على مدى المسافات بين 000 7 و000 9 km.

ويحدد المتوسط الشهري لأقصى الترددات المستعملة MUF الأساسية وشدة مجال الموجة الأيونوسفيرية الواردة والقدرة المتيسرة في المستقبل من هوائي استقبال دون خسارة وبكسب معين. وتشمل الطريقة تقديراً لمعلمات وظيفة نقل القناة لاستخدامها في التنبؤ بأداء الأنظمة الرقمية. وتعطى الطرائق لأغراض تقدير اعتمادية الدارة. وتقيّس قيم شدة مجال الإشارات وفقاً لبنك معطيات القياس الخاص بالقطاع ITU-R. وتتطلب هذه الطريقة أن يحدد عدد من الخصائص الأيونوسفيرية ومن معلمات الانتشار عند "نقاط تحكم" محددة.

أما في المناطق الاستوائية وفي ساعات المساء (بالتوقيت المحلي)، قد تحصل تشوّهات في نتائج التنبؤ مردُّها عدم استقرار البنية الأيونوسفيرية المحلية الأمر الذي لا يدخل تماماً في حسابات هذه الطريقة.

الجزء 1

تيسُّر الترددات

2 تحديد موقع نقاط التحكم

يفترض بأن يتم الانتشار على طول مسير الدائرة العظمى بين موقع المرسل وموقع المستقبل عبر الأساليب E (حتى مسافة 000 4 km) وعبر الأساليب F2 (بالنسبة إلى كل المسافات). وتنتقى نقاط التحكم حسبما هو مبين في الجدول 1 تبعاً لطول المسير وللطبقة العاكسة.

3 أقصى الترددات المستعملة الأساسية والتشغيلية

يتم تقدير أقصى تردد مستعمل (MUF) تشغيلي، أي أعلى تردد يسمح بتأمين تشغيل مقبول للخدمة الراديوية، على مرحلتين: أولاً تقدير التردد MUF الأساسي انطلاقاً من المعلمات الأيونوسفيرية، وثانياً تحديد عامل تصحيح يسمح بمراعاة آليات الانتشار عند ترددات أعلى من التردد MUF الأساسي.

1.3 أقصى الترددات المستعملة الأساسية

تقدر أقصى الترددات المستعملة MUF الأساسية لمختلف أساليب الانتشار وفقاً للترددات الحرجة للطبقة الأيونوسفيرية المقابلة، ولعامل يتعلق بطول القفزة عندما تؤخذ الأساليب E وF2 معاً. يكون التردد الأعلى من الترددين MUF الأساسيين في الأسلوبين E وF2 من أدنى رتبة هو التردد MUF الأساسي للمسير.

2.3 التردد الحرج للطبقة E (foE)

يحدد التردد foE كما هو معرّف في التوصية ITU-R P.1239.

الجـــدول 1

مواقع نقاط التحكم من أجل تحديد التردد MUF الأساسي وحجب الطبقة E، وارتفاعات الانعكاس المرآوي لمسير الشعاع، والامتصاص الأيونوسفيري

أ) التردد MUF الأساسي وتردد دوران الإلكترونات المصاحبة له

طول المسير، D (km)	الأساليب E	الأساليب F2
$0 < D \le 2\,000$	M	M
$2\,000 < D \le 4\,000$	$R - 1\,000$ ، $T + 1\,000$	–
$2\,000 < D \le d_{max}$	–	M
$D > d_{max}$	–	$R - d_0 / 2$ ، $T + d_0 / 2$

ب) الحجب بالطبقة E

طول المسير، D (km)	الأساليب F2
$0 < D \le 2\,000$	M
$2\,000 < D < 9\,000$	$R - 1\,000$ ، $T + 1\,000$

ج) ارتفاعات الانعكاس المرآوي لمسير الشعاع

طول المسير، D (km)	الأساليب F2
$0 < D \le dmax$	M
$dmax < D < 9\,000$	$R - d0 / 2$ ، M ، $T + d0 / 2$

د) الامتصاص الأيونوسفيري وتردد دوران الإلكترونات المصاحبة له

طول المسير، D (km)	الأساليب E	الأساليب F2
$0 < D \le 2\,000$	M	M
$2\,000 < D \le 4\,000$	$R - 1\,000$ ، M ، $T + 1\,000$	–
$2\,000 < D \le d_{max}$	–	$R - 1\,000$ ، M ، $T + 1\,000$
$d_{max} < D < 9\,000$	–	$R - 1\,000$ ، $R - d_0 / 2$ ، M ، $T + d0 / 2$ ، $T + 1\,000$

M: نقطة منتصف المسير

T: موقع المرسل

R: موقع المستقبل

dmax: أقصى طول للقفزة في الأسلوب F2

d_0: طول القفزة في الأسلوب من رتبة أدنى

تقدَّر المسافات بالكيلومتر (km).

3.3 التردد MUF الأساسي للطبقة E

تقدّر قيمة foE عند نقاط التحكم الواردة في الجدول 1أ) وتختار أصغر القيم بالنسبة للمسيرات التي يتراوح طولها بين 2 000 و4 000 km. وتعطي العلاقة التالية التردد MUF الأساسي لأسلوب E بعدد n من القفزات على مسير بطول D:

$$n\,\mathrm{E}(D)\mathrm{MUF} = \mathrm{foE} \cdot \sec i_{110} \quad (1)$$

حيث i_{110} هي زاوية الورود على ارتفاع من الانعكاس المرآوي عند نقطة وسط القفزة قدره 110 km، بالنسبة إلى قفزة بطول: $d = D/n$.

ويكون التردد MUF الأساسي للطبقة E على المسير هو قيمة E(*D*)MUF في أدنى رتبة من الأسلوب E.

4.3 خصائص الطبقة F2

تؤخذ التمثيلات الرقمية للمتوسط الشهري للخصائص الأيونوسفيرية foF2 وM(3000)F2 لقيمتي الدليل الشمسي $R_{12} = 0$ و$R_{12} = 100$ ولكل شهر من التوصية ITU-R P.1239 حيث يقدر المجال المغنطيسي عند ارتفاع 300 km. وتستعمل هذه التمثيلات من أجل تحديد هذه القيم بالنسبة إلى الأوقات المطلوبة وإلى نقاط التحكم الواردة في الجدول 1أ). ويطبق استكمال داخلي أو خارجي خطي من أجل قيم الدليل الواقعة بين $R_{12} = 0$ و$R_{12} = 160$ (راجع التوصية ITU-R P.371). ويعتبر الدليل R_{12} مساوياً لقيمة 160 في حالة foF2 فقط وبالنسبة إلى نشاط كلف شمسي أقوى.

5.3 التردد MUF الأساسي للطبقة F2

1.5.3 أسلوب الرتبة الأدنى

1.1.5.3 مسيرات لا يتجاوز طولها d_{max} (km)

تحدد الرتبة n_0 لأسلوب الرتبة الأدنى وفقاً لاعتبارات هندسية باستعمال ارتفاع الانعكاس المرآوي h_r المشتق عند نقطة التحكم في منتصف المسير من المعادلة التالية:

$$h_r = \frac{1490}{\text{M(3000)F2}} - 176 \text{ km} \quad (2)$$

، أو 500 km، وتؤخذ أصغر القيمتين

في هذا الأسلوب، يحسب التردد MUF الأساسي للطبقة F2، وهو أيضاً التردد MUF الأساسي للطبقة F2 من أجل المسير، وفقاً للعلاقة التالية:

$$n_0 \text{ F2}(D)\text{MUF} = \left[1 + \left(\frac{C_d}{C_{3000}}\right)(B - 1)\right] \cdot \text{foF2} + \frac{f_H}{2}\left(1 - \frac{d}{d_{max}}\right) \quad (3)$$

حيث:

f_H: قيمة تردد دوران الإلكترونات، من أجل ارتفاع من 300 km، يحدد عند كل نقطة من نقاط التحكم المناسبة الواردة في الجدول 1 أ)

$$C_d = 0.74 - 0.591\, Z - 0.424\, Z^2 - 0.090\, Z^3 + 0.088\, Z^4 + 0.181\, Z^5 + 0.096\, Z^6 \quad (4)$$

وعندما $Z = 1 - 2d/d_{max}$

$$d_{max} = 4\,780 + (12\,610 + 2\,140/x^2 - 49\,720/x^4 + 688\,900/x^6)\ (1/B - 0.303) \quad (5)$$

$$B = \text{M(3000)F2} - 0.124 + [[\text{M(3000)F2}]^2 - 4] \cdot \left[0.0215 + 0.005 \sin\left(\frac{7.854}{\text{x}} - 1.9635\right)\right] \quad (6)$$

حيث:

d : D/n_0 وd_{max} يعبر عنهما بالكيلومترات

C_{3000}: هي قيمة C_d عندما تكون $D = 3000$ km

x : foF2/foE أو $x = 2$، وتؤخذ أكبر القيمتين

تحسب foE كما ورد في الفقرة 2.3.

2.1.5.3 مسيرات يتجاوز طولها d_{max} (km)

يؤخذ التردد MUF الأساسي لأسلوب الرتبة الأدنى n_0 F2(D)MUF من أجل مسير بطول D مساوياً لأدنى القيمتين F2(d_{max})MUF وفقاً للمعادلة (3) بالنسبة إلى نقطتي التحكم الواردتين في الجدول 1أ). وهذا هو أيضاً التردد MUF الأساسي بالنسبة للمسير.

2.5.3 أساليب من الرتبة الأعلى (مسيرات لا يتجاوز طولها 9 000 km)

1.2.5.3 مسيرات لا يتجاوز طولها d_{max} (km)

يحسب التردد MUF الأساسي للطبقة F2 في أسلوب بعدد n من القفزات بواسطة المعادلات (3) إلى (6) عند نقطة التحكم في منتصف المسير الواردة في الجدول 1أ) لقفزة طولها $D/n = d$.

2.2.5.3 مسيرات يتجاوز طولها d_{max} (km)

يحسب التردد MUF الأساسي للطبقة F2 في أسلوب بعدد n من القفزات، بدلالة F2(d_{max})MUF وعامل تدريج للمسافات يعتمد على طول القفزات في الأسلوب المعني وفي أسلوب أدنى رتبة ممكنة.

$$n\,\mathrm{F2}(D)\mathrm{MUF} = \mathrm{F2}(d_{max})\mathrm{MUF} \cdot M_n / M_{n_0} \tag{7}$$

حيث تستخلص M_n/M_{n0} بواسطة المعادلة (3) على النحو التالي:

$$\frac{M_n}{M_{n_0}} = \frac{n\,\mathrm{F2}(d)\mathrm{MUF}}{n_0\,\mathrm{F2}(D)\,\mathrm{MUF}} \tag{8}$$

وتنتقى أدنى القيمتين المحسوبتين عند نقطتي التحكم في الجدول 1 أ).

6.3 الاحتمالات الشهرية لانتشار الوسيط الأيونوسفيري

في بعض الحالات قد يكون كافياً التنبؤ باحتمالات الحصول على تأيّن وافٍ لدعم الانتشار عبر المسير دون الاكتراث بخصائص الهوائي والنظام ومتطلبات الأداء. وفي مثل هذه الحالات لا بدّ من معرفة احتمالات تجاوز الترددات MUF للتردد المعمول به. ويقدم القسمان 3.3 و5.3 أعلاه القيم المتوسطة للترددات MUF(50) في الانتشار في الطبقتين E وF2.

فيما يتعلق بأساليب الطبقة F2 يعطي الجدول 2 من التوصية ITU-R P.1239 أدنى نسبة عشرية δ_l للترددات MUF التي يتم تجاوزها أثناء 90% من أيام الشهر MUF(90) وحتى MUF(50) وذلك تبعاً للتوقيت المحلي وخط العرض والفصل والكلف الشمسي.

أما في الحالات التي يكون فيها تردد التشغيل، f، أقل من MUF(50)، فإن احتمالات الوسيط الأيونوسفيري تعطى في المعادلة التالية:

$$F_{prob} = 130 - \frac{80}{1 + \mathrm{MUF}(50)/\left(f \cdot \delta_l\right)} \quad \text{or} = 100, \text{whichever is the smaller} \tag{9}$$

ويعطي الجدول 3 من التوصية ITU-R P.1239 أعلى نسبة عشرية, δ_u للترددات MUF التي يتم تجاوزها أثناء 10% من أيام الشهر MUF(10) وحتى MUF(50)، وذلك تبعاً للتوقيت المحلي وخط العرض والفصل والكَلَف الشمسي.

أما في الحالات التي يكون فيها تردد التشغيل، f، أكثر من MUF(50)، فإن احتمالات الوسيط الأيونوسفيري تُعطى في المعادلة:

(10) $$F_{prob} = \frac{80}{1 + f/(\mathrm{MUF}(50)\cdot \delta_u)} - 30 \quad \text{or} = 0, \text{ whichever is the larger}$$

والعاملان المناسبات للمدى العشري البيني في أساليب الطبقة E هما 1,05 و0,95 على التوالي.

ويمكن الحصول على توزيع التردد MUF التشغيلي في ساعة معينة من الشهر بتطبيق التوزيع الوارد في الفقرة 6.3.

وجدير بالملاحظة أن الترددين MUF التشغيليين اللذين يتم تجاوزهما خلال 90% و10% من أيام الشهر يتحددان كأفضل تردد تشغيل وأعلى تردد محتمل على التوالي.

7.3 أقصى الترددات MUF التشغيلية على المسير

تكون أقصى الترددات MUF التشغيلية على المسير هي الترددات التشغيلية الأكبر في الأساليب F2 وفي الأساليب E. وتتوقف العلاقة بين الترددين MUF التشغيلي والأساسي على خصائص الأنظمة والهوائيات وعلى طول المسير واعتبارات جغرافية وغيرها. وينبغي أن يتحدد استناداً إلى تجربة عملية لأداء الدارة. وعندما لا تتوفر هذه التجربة تساوي أقصى الترددات MUF التشغيلية في الأساليب F2 ناتج أقصى الترددات MUF الأساسية والقيمة R_{op} حيث R_{op} واردة في الجدول 1 من التوصية ITU-R P.1240؛ أما في الأساليب E فتساوي أقصى الترددات MUF التشغيلية مثيلاتها الأساسية.

ويقدّر أقصى الترددات MUF التشغيلية التي يتم تجاوزها أثناء 10% و90% من الأيام بضرب متوسط أقصى الترددات التشغيلية بالعوامل الملائمة الواردة في الجدولين 2 و3 من التوصية ITU-R P.1239، في حالة الأساليب F. وفي حالة الأساليب E يكون العاملان هما 1,05 و0,95، على التوالي.

4 أقصى تردد للحجب بالطبقة E، (f_s)

يُنظر في الحجب بالطبقة E في الأساليب F2 بالنسبة إلى مسيرات لا يتجاوز طولها 9 000 km (انظر الجدول 1ب)). وتستعمل قيمة foE عند نقطة منتصف المسير (بالنسبة إلى مسيرات لا يتجاوز طولها 2 000 km)، أو تستعمل أعلى قيمتين foE عند نقطتي التحكم على مسافة 1 000 km من كل طرف من المسير (بالنسبة إلى مسيرات يتجاوز طولها 2 000 km)، وذلك في حساب أقصى تردد للحجب.

(11) $$f_s = 1.05 \ \mathrm{foE} \sec i$$

حيث:

(12) $$i = \arcsin\left(\frac{R_0 \cos \Delta_F}{R_0 + h_r}\right)$$

وحيث:

i : زاوية الورود عند ارتفاع h_r = 110 km

R_0: نصف قطر الأرض، 6 371 km

Δ_F: زاوية الارتفاع لأسلوب الطبقة F2 (تحدد من المعادلة (13)).

الجزء 2

متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية

5 متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية

تكون شدة المجال المتوقعة هي المتوسط الشهري لكل أيام الشهر. ويتكون إجراء التنبؤ من ثلاثة أجزاء تبعاً لطول المسير.

1.5 زاوية الارتفاع

تعطي الصيغة التالية زاوية الارتفاع التي تنطبق على كل الترددات بما في ذلك الترددات الأعلى من التردد MUF الأساسي:

$$\Delta = \arctan\left(\cot\frac{d}{2R_0} - \frac{R_0}{R_0 + h_r}\operatorname{cosec}\frac{d}{2R_0}\right) \quad (13)$$

حيث:

d: طول القفزة في أسلوب بعدد n من القفزات على أساس $d = D/n$

h_r: ارتفاع الانعكاس المرآوي المكافئ

وفي الأساليب E يكون $h_r = 110$ km

ويؤخذ h_r في الأساليب F2 بدلالة الوقت والموقع وطول القفزة.

ويحسب ارتفاع الانعكاس المرآوي h_r في الأساليب F2 على النحو التالي، حيث:

$$x = \text{foF2/foE} \qquad \text{و} \qquad H = \frac{1490}{\text{M(3000)F2} + \Delta M} - 316$$

ومع:

$$\Delta M = \frac{0{,}18}{y - 1{,}4} + \frac{0{,}096(R_{12} - 25)}{150}$$

و $y = x$ أو 1,8 أيهما أكبر.

أ) من أجل $x < 3{,}33$ و$x_r = \text{foF2}/f \le 1$، حيث f هو تردد الموجة:

$$h = h_r \text{ أو } 800 \text{ km، أيهما أصغر} \quad (14)$$

حيث:

$$\begin{aligned} h &= A_1 + B_1\, 2.4^{-a} \text{ for } B_1 \text{ and } a \ge 0 \\ &= A_1 + B_1 \qquad \text{otherwise} \end{aligned}$$

$$\text{with} \quad A_1 = 140 + (H - 47)\, E_1$$

$$B_1 = 150 + (H - 17)\, F_1 - A_1$$

$$E_1 = -0.09707\, x_r^3 + 0.6870\, x_r^2 - 0.7506\, x_r + 0.6$$

وتحدد قيمة F_1 بحيث تكون:

$$F_1 = -1.862\ x_r^4 + 12.95\ x_r^3 - 32.03\ x_r^2 + 33.50\ x_r - 10.91 \quad \text{for} \quad x_r \le 1.71$$
$$F_1 = 1.21 + 0.2\ x_r \quad \text{for} \quad x_r > 1.71$$

وتتغير a بتغير المسافة d ومسافة التخطي d_s على النحو التالي:

$$a = (d - d_s) / (H + 140)$$

حيث: $d_s = 160 + (H + 43)\ G$

$$G = -2.102\ x_r^4 + 19.50\ x_r^3 - 63.15\ x_r^2 + 90.47\ x_r - 44.73 \quad \text{for} \quad x_r \le 3.7$$
$$G = 19.25 \quad \text{for} \quad x_r > 3.7$$

ب) من أجل $x > 3{,}33$ و$x_r = < 1$:

$h = h_r$ أو 800 km، أيهما أصغر (15)

حيث:

$$h = A_2 + B_2\ b \quad \text{for } B_2 \ge 0$$
$$= A_2 + B_2 \quad \text{otherwise}$$

With $A_2 = 151 + (H - 47)\ E_2$

$B_2 = 141 + (H - 24)\ F_2 - A_2$

$E_2 = 0.1906\ Z^2 + 0.00583\ Z + 0.1936$

$F_2 = 0.645\ Z^2 + 0.883\ Z + 0.162$

حيث: $xr = Z$ أو 0,1، أيهما أكبر، كما تتغير b بتغير المسافة المقيّسة df وZ وH على النحو التالي:

$$b = -7.535\ d_f^4 + 15.75\ d_f^3 - 8.834\ d_f^2 - 0.378\ d_f + 1$$

حيث: $d_f = \dfrac{0.115\ d}{Z(H + 140)}$ أو 0,65، أيهما أصغر

ج) من أجل $x \ge 3{,}33$:

$h_r = 115 + H\ J + U\ d$ أو 800 km، أيهما أصغر (16)

عندما $J = -0{,}7126\ y^3 + 5{,}863\ y^2 - 16{,}13\ y + 16.07$

و $U = 8 \times 10^{-5}\ (H - 80)\ (1 + 11\ y^{-2{,}2}) + 1{,}2 \times 10^{-3}\ H\ y^{-3{,}6}$

وفي حالة المسيرات التي لا يتجاوز طولها d_{max} (km)، تقدر قيمة h_r عند نقطة منتصف المسير ويحدد في حالة المسيرات الأطول عند كل نقاط التحكم المبينة في الجدول 1ج)، وتستعمل القيمة المتوسطة.

2.5 مسارات لا يتجاوز طولها km 7 000

1.2.5 الأساليب المعتمدة

ينتقى عدد من الأساليب E تصل إلى ثلاثة (لمسيرات يصل طولها إلى km 4 000) وعدد من الأساليب F2 تصل إلى ستة يفي كل منها لجميع المعايير التالية:

- ارتفاع الانعكاس المرآوي:
  - للأساليب E، الارتفاع h_r = km 110
  - للأساليب F2، الارتفاع h_r المحدد في المعادلة (2) حيث يقدر F2 (3 000) M عند منتصف السير (لأطوال مسيرات تصل إلى d_{max} (km)) أو عند نقطة تحكم مبينة في الجدول 1ج) حيث تأخذ F2 أدنى قيمة (لأطوال مسيرات تتراوح بين d_{max} و000 9 km).
- الأساليب E – أسلوب الرتبة الأدنى مع قفزة يصل طولها إلى km 2 000 وأحد الأسلوبين من الرتبتين الأعلى مباشرة؛
- الأساليب F2 – أسلوب الرتبة الأدنى مع قفزة يصل طولها إلى d_{max} (km) وأحد أساليب الرتب الخمس الأعلى مباشرة حيث يقدر أقصى تردد حجب في الطبقة E على النحو الوارد وصفه في الفقرة 4 وهو أقل من تردد التشغيل.

2.2.5 تحديد شدة المجال

تعطي العلاقة التالية متوسط شدة المجال لكل أسلوب w مذكور في الفقرة 1.2.5:

$$E_{tw} = 136.6 + P_t + G_t + 20 \log f - L_t \quad \text{dB}(1\ \mu\text{V/m}) \tag{17}$$

حيث:

f: تردد الإرسال (MHz)

P_t: قدرة المرسل (dB(1 kW))

G_t: كسب هوائي الإرسال في زاوية السمت وزاوية الارتفاع (Δ) المطلوبتين نسبةً إلى هوائي متناحٍ (dB)

L_b: خسارة الإرسال الأساسي على مسير الشعاع للأسلوب المعني كما يلي:

$$L_b = 32.45 + 20 \log f + 20 \log p' + L_i + L_m + L_g + L_h + L_z \tag{18}$$

وعندما تكون:

p': المسافة المائلة الافتراضية (km)

$$p' = 2R_0 \sum_1^n \left[\frac{\sin\left(d / 2R_0\right)}{\cos\left[\Delta + \left(d / 2R_0\right)\right]} \right] \tag{19}$$

L_i: الخسارة بسبب الامتصاص (dB) في أسلوب بعدد n من القفزات تحسب من العلاقة التالية:

$$L_i = \frac{n\left(1 + 0.0067R_{12}\right) \cdot \sec i}{\left(f + f_L\right)^2} \cdot \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} AT_{noon} \cdot \frac{F(\chi_j)}{F(\chi_{jnoon})} \cdot \varphi_n\left(\frac{f_v}{\text{foE}}\right) \tag{20}$$

وعندما تكون:

$$F(\chi) = \cos^{p}(0{,}881\,\chi) \quad \text{أو } 0{,}02\text{، أيهما أكبر} \tag{21}$$

بينما:

$$f_v = f\cos i \tag{22}$$

و:

i: زاوية الورود عند 110 km

k: عدد نقاط التحكم (من الجدول 1د))

f_L: متوسط قيم ترددات دوران الإلكترونات، للمكونة الطولية لمجال الأرض المغنطيسي بالنسبة إلى ارتفاع 100 km، يحدد عند نقاط التحكم الواردة في الجدول 1د)

χ_j: زاوية السمت الشمسي عند نقطة التحكم من الرتبة j أو 102° أيهما أصغر. وتدرج في حساب هذه المعلمة معادلة الوقت في منتصف الشهر المعني

χ_{jnoon}: قيمة χ_j ظهراً حسب التوقيت المحلي

AT_{noon}: عامل الامتصاص ظهراً حسب التوقيت المحلي من أجل: $R_{12} = 0$ بدلالة خط العرض الجغرافي والشهر يؤخذ من الشكل 1

$\varphi_n\left(\frac{f_v}{\text{foE}}\right)$: عامل الامتصاص العائد إلى اختراق الطبقة بدلالة نسبة تردد الموجة المكافئ للورود الرأسي f_v إلى foE، يؤخذ من الشكل 2

p: أس الامتصاص النهاري بدلالة الميل المعدل المغنطيسي (راجع الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.1239) وبدلالة الشهر، يؤخذ من الشكل 3.

أما بالنسبة إلى الترددات الأعلى من التردد MUF الأساسي، فيستمر تغير الامتصاص بتغير التردد ويحسب على افتراض أن مسيرات الأشعة هي نفس مسيرات التردد MUF الأساسي.

L_m: الخسارة "فوق التردد MUF".

بالنسبة إلى تردد f مساو للتردد MUF الأساسي (f_b) في الأسلوب المعين أو أدنى منه:

$$L_m = 0 \tag{23}$$

وبالنسبة إلى الأساليب E عندما تكون: $f > f_b$:

$$L_m = 130\left[(f / f_b) - 1\right]^2 \quad \text{dB} \tag{24}$$

أو 81 dB أيهما أصغر.

وبالنسبة إلى الأساليب F2 عندما تكون $f > f_b$:

$$L_m = 36\left[(f / f_b) - 1\right]^{1/2} \quad \text{dB} \tag{25}$$

أو 62 dB أيهما أصغر.

L_g: مجموع الخسائر بسبب الانعكاس على الأرض عند نقاط الانعكاس المتوسطة:

ففي أسلوب بعدد n من القفزات:

$$L_g = 2(n-1) \quad \text{dB} \tag{26}$$

L_h: العامل الذي يسمح بمراعاة الخسارة الشفقية وخسارة الإشارات الأخرى المشار إليها في الجدول 2. وتقدر كل قيمة بدلالة خط العرض المغنطيسي الأرضي G_n (شمال خط الاستواء أو جنوبه) والوقت المحلي t لثنائي أقطاب ممركز على الأرض باتجاهي 78,5° شمالاً و68,2° غرباً: وتؤخذ القيم المتوسطة لنقاط التحكم من الجدول 1د).

يقابل الشتاء في النصف الشمالي من الكرة الأرضية أشهر ديسمبر إلى فبراير والاعتدال أشهر مارس إلى مايو وسبتمبر إلى نوفمبر والصيف أشهر يونيو إلى أغسطس. أما في نصف الكرة الجنوبي فتتبادل أشهر الشتاء والصيف.

عندما تكون $G_n > 42,5°$ تكون $L_h = 0$ dB.

L_z: عبارة تتضمن تأثيرات الانتشار بالموجة الأيونوسفيرية غير المدرجة في هذه الطريقة. والقيمة الحالية الموصى بها هي 9,9 dB (راجع الفقرة 2.5).

الملاحظة 1 – يجدر ملاحظة أن قيمة L_z مرتبطة بعناصر طريقة التنبؤ، أي أن أي تغيير في هذه العناصر يستدعي مراجعة للقيمة L_z.

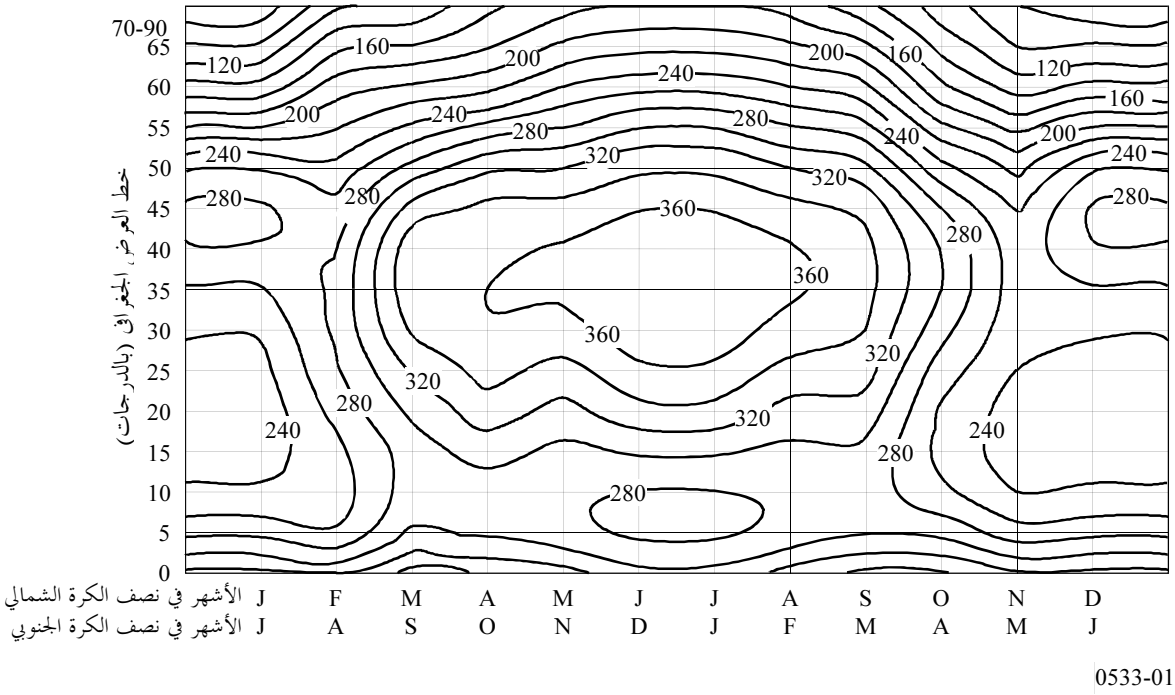
بصرف النظر عن الأساليب التي تحجبها الطبقة E، تؤخذ المحصلة الإجمالية لمتوسط القيمة المكافئة لشدة مجال الموجة الأيونوسفيرية E_{ts}، باعتبارها جذر التربيع لمجموع المجالات لعدد N من الأساليب حيث يختار N على نحو يشمل الأسلوبين F2 وE اللذين تم التنبؤ بشأنهما، أي:

$$E_{ts} = 10 \log_{10} \sum_{w=1}^{N} 10^{E_{tw}/10} \quad \text{dB}(1\ \mu\text{V/m}) \tag{27}$$

وفيما يتعلق بالتنبؤ بأداء الأنظمة المشكلة رقمياً، تراعى القيمة المتوسطة المكافئة لشدة المجال الأيونوسفيري الخاصة بكل أسلوب، انظر الفقرة 2.10.

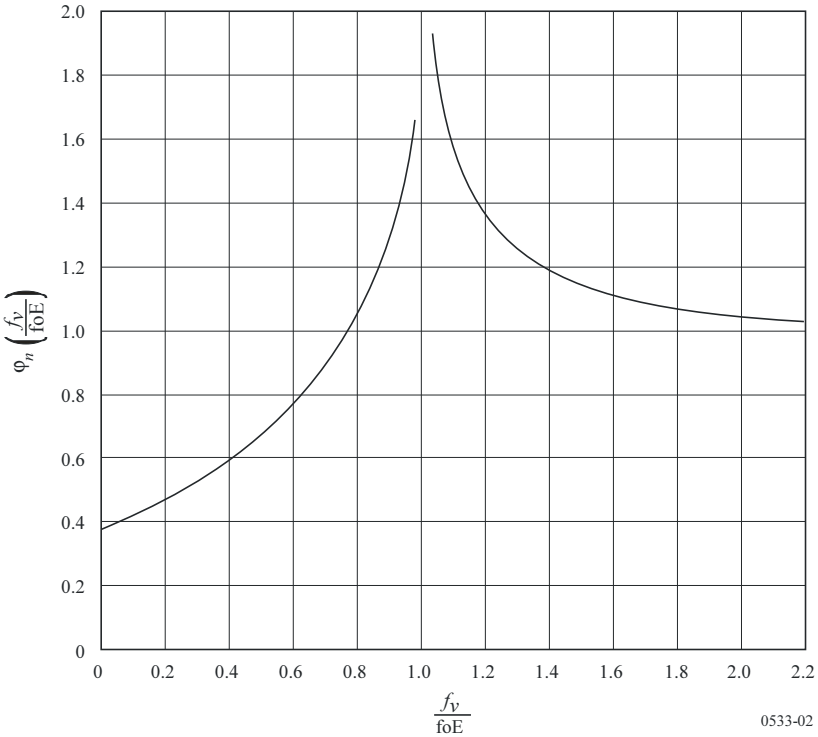
الشـــكل 1

عامل الامتصاص، $A\ T_{noon}$



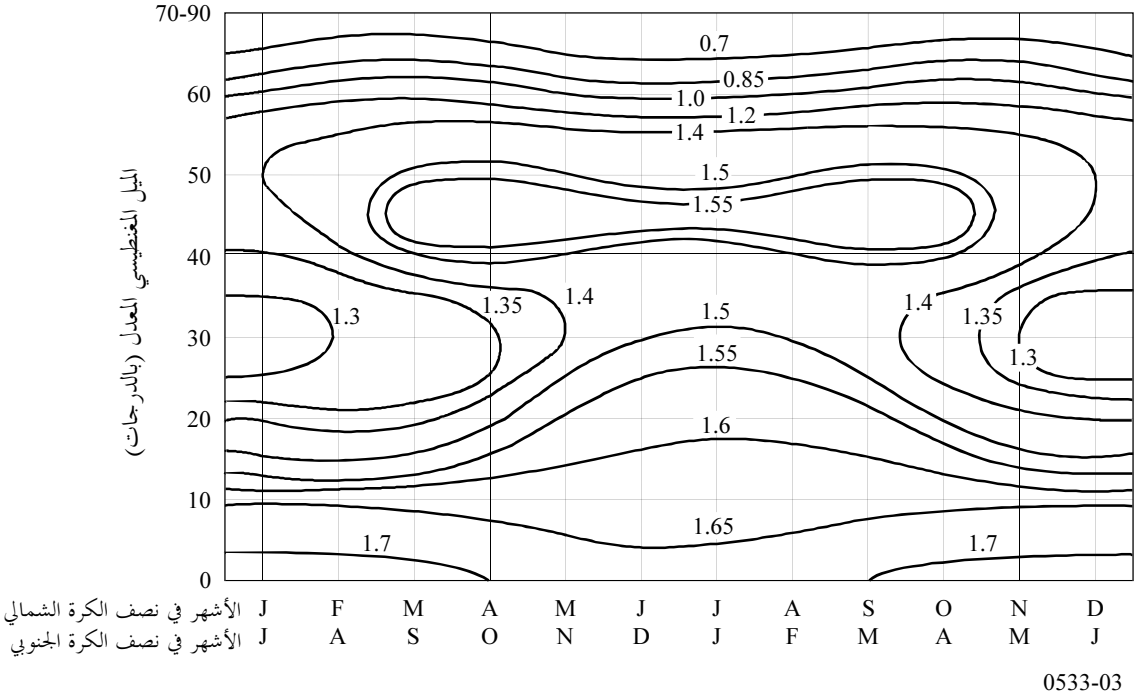
الشـــكل 2

عامل الامتصاص العائد إلى اختراق الطبقة $\varphi_n \left(\frac{f_V}{foE}\right)$



الشـــكل 3

أس الامتصاص النهاري p



الجـــدول 2

قيم L_h تدل على الخسارة الشفقية وخسارات الإشارة الأخرى (dB)

	أ) مديات الإرسال أقل من 2 500 km أو مساوية لها								
	التوقيت المحلي عند منتصف المسير، t								
	$22 \le t < 01$	$19 \le t < 22$	$16 \le t < 19$	$13 \le t < 16$	$10 \le t < 13$	$07 \le t < 10$	$04 \le t < 07$	$01 \le t < 04$	
									G_n
الشتاء	1,0	1,5	1,4	0,5	1,5	6,2	6,6	2,0	$77,5° \le G_n$
	3,0	3,0	2,5	0,5	0,9	8,6	8,3	3,4	$72,5° \le G_n < 77,5°$
	5,0	7,0	4,6	1,5	2,3	12,8	15,6	6,2	$67,5° \le G_n < 72,5°$
	6,6	9,8	6,8	2,0	3,6	14,0	16,0	7,0	$62,5° \le G_n < 67,5°$
	2,0	3,0	2,7	0,8	1,4	6,6	4,5	2,0	$57,5° \le G_n < 62,5°$
	0,9	2,3	1,8	0,4	0,3	3,2	1,0	1,3	$52,5° \le G_n < 57,5°$
	0,6	1,5	1,2	0,2	0,2	2,2	0,6	0,9	$47,5° \le G_n < 52,5°$
	0,3	0,7	0,6	0,1	0,1	1,1	0,3	0,4	$42,5° \le G_n < 47,5°$
الاعتدال	3,3	2,4	2,4	1,0	3,8	7,4	2,5	1,4	$77,5° \le G_n$
	7,0	6,0	4,0	2,6	5,1	11,6	11,0	3,3	$72,5° \le G_n < 77,5°$
	13,7	10,0	6,0	4,8	8,5	21,4	12,0	6,5	$67,5° \le G_n < 72,5°$
	15,0	10,9	9,0	7,2	9,0	17,0	11,2	6,7	$62,5° \le G_n < 67,5°$
	6,1	5,5	4,8	2,6	5,0	7,5	4,4	2,4	$57,5° \le G_n < 62,5°$
	4,0	3,0	4,0	2,2	3,0	5,0	2,0	1,7	$52,5° \le G_n < 57,5°$
	2,6	2,0	2,6	1,4	2,0	3,3	1,3	1,1	$47,5° \le G_n < 52,5°$
	1,3	1,0	1,3	0,7	1,0	1,6	0,6	0,5	$42,5° \le G_n < 47,5°$
الصيف	3,8	4,2	3,8	2,2	2,3	1,2	2,7	2,2	$77,5° \le G_n$
	4,5	4,8	4,2	2,7	3,0	2,8	3,0	2,4	$72,5° \le G_n < 77,5°$
	7,2	7,7	5,4	3,8	4,5	6,2	4,2	4,9	$67,5° \le G_n < 72,5°$
	8,9	9,5	9,1	4,8	6,0	9,0	4,8	6,5	$62,5° \le G_n < 67,5°$
	5,0	6,7	6,5	3,0	3,0	4,0	2,7	3,2	$57,5° \le G_n < 62,5°$
	4,0	4,6	5,0	2,6	2,3	2,4	1,8	2,5	$52,5° \le G_n < 57,5°$
	2,6	3,1	3,3	1,7	1,5	1,6	1,2	1,6	$47,5° \le G_n < 52,5°$
	1,3	1,5	1,6	0,8	0,7	0,8	0,6	0,8	$42,5° \le G_n < 47,5°$

الجـــدول 2 *(تتمة)*

	ب) مديات الإرسال أكبر من 2 500 km								
	التوقيت المحلي عند منتصف المسير، t								
	$22 \le t < 01$	$19 \le t < 22$	$16 \le t < 19$	$13 \le t < 16$	$10 \le t < 13$	$07 \le t < 10$	$04 \le t < 07$	$01 \le t < 04$	
									G_n
الشتاء	1,6	0,8	0,9	0,0	0,8	2,5	2,7	1,5	$77,5° \le G_n$
	4,8	2,0	1,6	0,3	0,8	4,3	4,5	2,5	$72,5° \le G_n < 77,5°$
	9,6	4,5	3,0	0,5	1,9	7,0	5,0	5,5	$67,5° \le G_n < 72,5°$
	10,0	4,5	4,0	0,7	2,0	5,9	7,0	5,3	$62,5° \le G_n < 67,5°$
	3,5	1,8	1,7	0,4	0,6	2,7	2,4	1,6	$57,5° \le G_n < 62,5°$
	1,4	1,5	1,0	0,1	0,1	1,3	1,0	0,9	$52,5° \le G_n < 57,5°$
	0,5	1,0	0,6	0,1	0,1	0,8	0,6	0,6	$47,5° \le G_n < 52,5°$
	0,4	0,5	0,3	0,0	0,0	0,4	0,3	0,3	$42,5° \le G_n < 47,5°$
الاعتدال	1,6	2,3	2,0	0,6	3,0	2,7	1,2	1,0	$77,5° \le G_n$
	3,6	5,6	3,2	1,5	5,7	4,1	2,9	1,8	$72,5° \le G_n < 77,5°$
	7,3	9,5	5,0	3,5	8,1	7,7	5,6	3,7	$67,5° \le G_n < 72,5°$
	7,9	10,0	7,5	5,0	9,0	7,6	5,2	3,9	$62,5° \le G_n < 67,5°$
	3,4	5,4	4,0	1,8	3,8	3,2	2,0	1,4	$57,5° \le G_n < 62,5°$
	2,0	2,7	3,1	1,3	2,0	1,8	0,9	0,9	$52,5° \le G_n < 57,5°$
	1,3	1,8	2,0	0,8	1,3	1,2	0,6	0,6	$47,5° \le G_n < 52,5°$
	0,6	0,9	1,0	0,4	0,6	0,6	0,3	0,3	$42,5° \le G_n < 47,5°$
الصيف	2,4	2,3	1,2	2,1	1,1	2,2	3,8	1,9	$77,5° \le G_n$
	2,7	2,8	1,3	2,2	1,3	2,9	4,6	1,9	$72,5° \le G_n < 77,5°$
	4,5	4,4	1,7	3,3	1,9	5,9	6,3	4,4	$67,5° \le G_n < 72,5°$
	5,7	5,5	3,2	4,2	2,6	7,6	8,5	5,5	$62,5° \le G_n < 67,5°$
	3,2	4,5	1,6	2,7	1,4	3,7	3,8	2,8	$57,5° \le G_n < 62,5°$
	2,5	4,4	1,2	2,2	1,0	2,2	2,4	2,2	$52,5° \le G_n < 57,5°$
	1,6	2,9	0,8	1,4	0,6	1,4	1,6	1,4	$47,5° \le G_n < 52,5°$
	0,8	1,4	0,4	0,7	0,3	0,7	0,8	0,7	$42,5° \le G_n < 47,5°$

3.5 مسيرات يتجاوز طولها 9 000 km

تتم التنبؤات في هذه الطريقة بأن يقسم المسير إلى عدد أدنى، n، من القفزات متساوية الطول لا يتجاوز طول أي منها 4 000 km.

تحسب محصلة متوسط شدة المجال E_{tl}:

$$E_{tl} = E_0 \left[1 - \frac{(f_M + f_H)^2}{(f_M + f_H)^2 + (f_L + f_H)^2} \left[\frac{(f_L + f_H)^2}{(f + f_H)^2} + \frac{(f + f_H)^2}{(f_M + f_H)^2} \right] \right]$$

$$-36.4 + P_t + G_{tl} + G_{ap} - L_y \qquad \text{dB}(1\ \mu\text{V/m}) \tag{28}$$

وتكون E_0 هي شدة المجال في الفضاء الحر من أجل قدرة مشعة e.i.r.p. بقيمة 3 MW، وفي هذه الحالة:

$$E_0 = 139.6 - 20 \log p' \qquad \text{dB}(1\ \mu\text{V/m}) \tag{29}$$

حيث يحسب p' بواسطة المعادلتين (19) و(13) على أساس h_r = 300 km.

G_{tl}: أعلى قيمة لكسب هوائي الإرسال عند السمت المطلوب في مدى الارتفاع 0° إلى 8°(dB)

G_{ap}: الزيادة في شدة المجال بسبب التبئير عند المسافات الطويلة، حسب العلاقة التالية:

$$G_{ap} = 10 \log \frac{D}{R_0 \left| \sin \left(D / R_0 \right) \right|} \quad \text{dB} \tag{30}$$

ولما كانت G_{ap} في العلاقة أعلاه تميل إلى ما لا نهاية عندما تكون D من مضاعفات πR_0، فإنها تحدد بقيمة 15 dB.

L_y: عبارة مماثلة لمفهوم L_z والقيمة الحالية الموصى بها هي –3,7 dB.

ملاحظة – يشار إلى أن القيمة L_y تتعلق بعناصر طريقة التنبؤ، ومن ثم يجب أن يقترن أي تعديل في هذه العناصر بمراجعة للقيمة L_y.

f_H: متوسط قيم تردد دوران الإلكترونات الذي يحدد عند نقاط التحكم الواردة في الجدول 1أ)

f_M: التردد المرجعي العلوي. وهو يحدد بشكل منفصل لنقطتي التحكم الواردتين في الجدول 1أ) وتستخلص القيمة الأدنى من:

$$f_M = K \cdot f_g \quad \text{MHz} \tag{31}$$

$$K = 1.2 + W \frac{f_g}{f_{g,\,noon}} + X \left[\sqrt[3]{\frac{f_{g,\,noon}}{f_g}} - 1 \right] + Y \left[\frac{f_{g,\,min}}{f_{g,\,noon}} \right]^2 \tag{32}$$

f_g: F2(4000)MUF = 1,1 F2(3000)MUF

$f_{g,noon}$: قيمة f_g في ساعة مقابلة لمنتصف النهار محلياً

$f_{g,min}$: أدنى قيمة f_g تحدث خلال 24 ساعة.

ويعطي الجدول 3 قيم W وX وY. ويحدد سمت مسير الدائرة العظمى عند منتصف كامل المسير وتستعمل هذه الزاوية في الاستكمال الداخلي الخطي للزاوية بين القيم شرق – غرب والقيم شمال – جنوب.

الجـــدول 3

قيم *W* و*X* و*Y* المستعملة لتحديد عامل التصحيح *K*

Y	*X*	*W*	
0,6	1,2	0,1	شرق–غرب
0,4	0,2	0,2	شمال–جنوب

f_L: تردد مرجعي أدنى:

$$f_L \left(5.3 \times I \left[\frac{\left(1 + 0.009 R_{12}\right) \sum_{1}^{2n} \cos^{0.5} \chi}{\cos i_{90} \, \log_e \left[\frac{9.5 \times 10^6}{p'} \right]} \right]^{1/2} - f_H \right) \cdot A_w \quad \text{MHz} \tag{33}$$

حيث R_{12} لا يتشبع بالنسبة للقيم المرتفعة.

يحدد χ في المجموع بالنسبة إلى كل عبور لمسير الشعاع عند ارتفاع 90 km. وعندما يكون $\chi > 90°$، يعتبر $\cos^{0,5}\chi$ مساوياً للصفر.

i_{90}: زاوية الورود عند ارتفاع 90 km

I: يعطى في الجدول 4.

الجـــدول 4

قيم I المستعملة في المعادلة الخاصة بالتردد f_L

خطوط العرض الجغرافية		الشهر											
المطراف الأول	المطراف الآخر	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
> 35° N	> 35° N	1,1	1,05	1	1	1	1	1	1	1	1	1,05	1,1
> 35° N	35° N-35° S	1,05	1,02	1	1	1	1	1	1	1	1	1,02	1,05
> 35° N	> 35° S	1,05	1,02	1	1	1,05	1,05	1,02	1	1	1	1,02	1,05
35° N-35° S	35° N-35° S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35° N-35° S	> 35° S	1	1	1	1	1,05	1,05	1,02	1	1	1	1	1
> 35° S	> 35° S	1	1	1	1	1,1	1,1	1,05	1	1	1	1	1

A_w: عامل الشذوذ في الشتاء يحدد عند نقطة منتصف المسير، ويساوي 1 في خطوط العرض الجغرافية من 0° إلى 30° وعند 90°، ويصل إلى القيم القصوى المذكورة في الجدول 5 عند 60°. وتستخلص القيم عند خطوط العرض المتوسطة بواسطة الاستكمال الداخلي الخطي.

الجـــدول 5

قيم عامل الشذوذ في الشتاء A_w عند خط العرض الجغرافي 60°
المستعمل في المعادلة الخاصة بالتردد f_L

نصف الكرة الأرضية	الشهر											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
الشمالي	1,30	1,15	1,03	1	1	1	1	1	1,03	1,15	1,30	1,30
الجنوبي	1	1	1	1,03	1,15	1,30	1,30	1,15	1,03	1	1	1

تحسب قيم f_L في كل ساعة حتى التوقيت المحلي t_r عندما يكون $f_L \leq 2f_{LN}$

حيث:

$$f_{LN} = \sqrt{\frac{D}{3000}} \quad \text{MHz} \tag{34}$$

ويحسب f_L خلال الساعات الثلاث التالية وفقاً للصيغة التالية:

$$f_L = 2\, f_{LN}\, e^{-0,23t} \tag{35}$$

حيث t هو عدد الساعات بعد اللحظة t_r. أما بالنسبة إلى الساعات اللاحقة فإن $f_{LN} = f_L$ إلى الوقت الذي تعطي فيه المعادلة (33) قيمة أعلى.

4.5 مسيرات بين 000 7 و000 9 km

يتحدد متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية E_{ti} في هذا المدى من المسافات من خلال الاستكمال الداخلي بين القيم E_s وE_l. حيث E_s هو جذر التربيع لشدة المجال من المعادلة (27). وتشير إلى E_l أسلوب مركب كما في المعادلة (28).

$$E_i = 100 \log_{10} X_i \qquad \text{dB}(1\ \mu\text{V/m}) \tag{36}$$

على أساس

$$X_i = X_s + \frac{D - 7\,000}{2\,000}(X_l - X_s)$$

حيث:

$$X_s = 10^{0.01E_s}$$

و

$$X_l = 10^{0.01E_l}$$

ويساوي التردد MUF الأساسي للمسير أصغر قيم F2(d_{max})MUF حسب المعادلة (3) من أجل نقطتي التحكم المشار إليهما في الجدول 1 أ).

6 القدرة المتوسطة المتيسرة عند المستقبل

بالنسبة إلى مدى المسافات حتى 000 7 km حيث تحسب شدة المجال بواسطة الطريقة المذكورة في الفقرة 2.5 من أجل أسلوب w معين تكون شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية فيه E_w (dB(1 μV/m)) عند التردد f (MHz)، تحدد قدرة الإشارة المقابلة المتيسرة P_{rw} (dBW) عند هوائي استقبال بلا خسارة يساوي كسبه G_{rw} (dB بالنسبة إلى الهوائي المتناحي) في اتجاه ورود الإشارة على النحو التالي:

$$P_{rw} = E_w + G_{rw} - 20 \log_{10} f - 107{,}2 \qquad \text{dBW} \tag{37}$$

ويعطى متوسط القدرة الناتجة المتيسرة P_r (dBW) من خلال جمع القدرات الصادرة عن مختلف الأساليب، ويتعلق إسهام كل من هذه الأساليب بكسب هوائي الاستقبال في اتجاه ورود هذا الأسلوب. وبالنسبة إلى العدد N من الأساليب المساهمة في المجموع:

$$P_r = 10 \log_{10} \sum_{w=1}^{N} 10^{P_{rw}/10} \qquad \text{dBW} \tag{38}$$

أما بالنسبة إلى مسافات تفوق 000 9 km، حيث تحسب شدة المجال بواسطة الطريقة المذكورة في الفقرة 3.5، فإن شدة المجال الناتجة E_l تقابل محصلة الأساليب المركبة. ويحدد P_r في هذه الحالة بواسطة المعادلة (37) حيث G_{rw} هي أكبر قيمة لكسب هوائي الاستقبال عند السمت المطلوب في مدى الارتفاع بين 0° إلى 8°.

وتحدد القدرة، في المدى المتوسط 000 7 إلى 000 9 km من المعادلة (36) بواسطة القدرتين المقابلتين لقيمتي E_s وE_l.

الجزء 3

التنبؤ بأداء النظام

7 المتوسط الشهري لنسبة الإشارة إلى الضوضاء *(S/N)*

تعطي التوصية ITU-R P.372 قيماً لمتوسط قدرة الضوضاء الجوية عند الاستقبال على هوائي رأسي قصير أحادي القطب بلا خسارة فوق أرض موصلة تماماً، وتعطي أيضاً قيم شدة الضوضاء الاصطناعية والضوضاء الكونية. وإن F_a (dB(kTb)) هو عامل الضوضاء الخارجية الناتجة عند التردد f (MHz) حيث K هي ثابتة بولتزمان، ودرجة الحرارة المرجعية T بمقدار 288 K. فعندما يستعمل، عموماً، هوائي استقبال عملي آخر فقد يختلف عامل الضوضاء الناتج عن هذه القيمة F_a. ولكن بما أن معطيات قياس كاملة عن الضوضاء في هوائيات مختلفة غير متوفرة، فقد يكون من المناسب أن يفترض تطبيق القيمة F_a الناتجة في التوصية ITU-R P.372 كتقدير أولي. ومن ثم فإن المتوسط الشهري للنسبة إشارة إلى ضوضاء S/N (dB) المحققة داخل عرض نطاق b (Hz) هو:

$$S/N = P_r - F_a - 10 \log 10\, b + 204 \quad (39)$$

حيث:

P_r: هي القدرة المتوسطة المتيسّرة في المستقبِل والمحددة في الفقرة 6 أعلاه.

8 شدة المجال الأيونوسفيري وقدرة الإشارة المستقبلة ونسب الإشارة إلى الضوضاء من أجل نسب مئوية أخرى من الوقت

يمكن تحديد شدة المجال الأيونوسفيري والقدرة المتاحة للمستقبل والنسبة إشارة إلى ضوضاء من أجل نسبة مئوية محددة من الوقت بدلالة انحرافات الإشارة والضوضاء خلال ساعة واحدة ومن يوم إلى آخر. وفي غياب معطيات أخرى يمكن اعتماد النسب المسموح بها لخبو الإشارة هي النسب التي تبناها المؤتمر WARC HFBC-87 مع انحراف قصير الأجل للعشرية العليا بقيمة 5 dB وانحراف للعشرية الدنيا بقيمة 8 dB. أما بالنسبة إلى خبو الإشارة طويل الأجل فتؤخذ انحرافات العشرية بدلالة نسبة تردد التشغيل إلى التردد MUF الأساسي المشار إليه في الجدول 2 من التوصية ITU-R P.842.

أما في حالة الضوضاء الجوية فتؤخذ الانحرافات العشرية لقدرة الضوضاء التي يسببها التغير من يوم إلى آخر من التوصية ITU-R P.372. ولا تطبق حالياً أية نسبة يسمح بها للتغير في خلال الساعة الواحدة. وتؤخذ الانحرافات العشرية للضوضاء الاصطناعية في غياب المعلومات المباشرة عن التغاير الزمني على النحو المحدد للانحرافات العشرية في التوصية ITU-R P.372 على الرغم من أنها تتعلق حصراً بتركيبة من احتمالات التغير في المكان والزمان.

وتعتبر التغيرات المركبة للقيمة العشرية للضوضاء المجرّية خلال الساعة الواحدة ومن يوم إلى آخر مساوية لقيمة ±2 dB.

تعطي النسبة إشارة إلى ضوضاء التي يتم تجاوزها أثناء 90% من الوقت في المعادلة:

$$S/N_{90} = S/N_{50} - (S^2_{wh} + S^2_{dd} + N^2_{dd})^{1/2} \quad (40)$$

حيث:

S_{wh}: أدنى انحراف عشري للإشارة المطلوبة لمتوسط شدة المجال في الساعة الواحدة والناتج ضمن تغيير الساعة (dB)

S_{dd}: أدنى انحراف عشري للإشارة المطلوبة لمتوسط شدة المجال في الشهر والناتج ضمن التغييرات اليومية (dB)

N_{dd}: أعلى انحراف عشري للضوضاء الخلفية لمتوسط شدة المجال في الشهر الواحد الناتج من التغييرات اليومية (dB)

ويمكن الحصول على قيم الانحراف لنسب مئوية أخرى من معلومات التوزيع اللوغاريتمي العادي الوارد في التوصية ITU-R P.1057.

9 أدنى تردد مستعمل (LUF)

يعرّف أدنى تردد مستعمل (LUF) في التوصية ITU-R P.373. ويقدر هذا التردد وفقاً للتعريف على أنه أدنى تردد، مقدراً إلى أقرب 0,1 MHz، يمكن عنده الحصول على نسبة الإشارة إلى الضوضاء المطلوبة المساوية للمتوسط الشهري لنسبة الإشارة إلى الضوضاء.

10 اعتمادية الدارة الأساسية (BCR)

1.10 اعتمادية الأنظمة المشكلة التماثلية

تعرّف الاعتمادية BCR في التوصية ITU-R P.842، حيث الاعتمادية (وهي معطاة في هذه التوصية كنسبة مئوية) هي احتمال تحقيق معايير الأداء المحددة (أي النسبة إشارة إلى ضوضاء المحددة). وفي حالة الأنظمة التماثلية تقدر على أساس النسب إشارة إلى ضوضاء التي تدمج التغيرات العشرية لشدة مجال الإشارة والضوضاء الخلفية خلال الساعة الواحدة ومن يوم إلى آخر. ويرد وصف التوزيع حول القيمة المتوسطة في الفقرة 8 ويرد الإجراء الخاص بذلك في التوصية ITU-R P.842.

2.10 اعتمادية الأنظمة المشكلة رقمياً مع مراعاة تمديد الوقت والتردد للإشارة المستقبَلة

الاعتمادية في أنظمة التشكيل الصلبة فيما يتعلق بالتمديد المتوقع للوقت والتردد، هي النسبة المئوية من الوقت التي يتوقع أثناءها الحصول على النسبة إشارة إلى ضوضاء المطلوبة باستخدام الإجراء الوارد في الفقرة 8.

وينبغي عموماً مراعاة تمديد الوقت والتردد للإشارة المستقبَلة في الأنظمة المشكلة رقمياً.

1.2.10 معلمات النظام

يستخدم التمثيل المبسَّط لوظيفة النقل في القناة. ويقوم تقدير الاعتمادية فيما يتعلق بطريقة التشكيل المعينة على أربع معلمات:

- *نافذة الوقت* T_w: وهي الفاصل الزمني الذي تعمل ضمنه أساليب الإشارة على تحقيق أداء النظام والذي يحدُّ تجاوزه من هذا الأداء.
- *نافذة التردد* F_w: وهي فاصل التردد الذي تعمل أساليب الإشارة ضمنه على تحقيق أداء النظام والذي يحد تجاوزه من هذا الأداء.
- *النسبة إشارة إلى ضوضاء المطلوبة،* S/N_r: نسبة مجموع قدرة متوسط أساليب الإشارة في الساعة إلى الضوضاء المطلوبة لتحقيق الأداء المحدد في الظروف التي تحيط بأساليب الإشارة ضمن نافذتي الوقت والتردد T_w وF_w.
- *نسبة الاتساع،* A: يتم التنبؤ بالقيمة المتوسطة في الساعة لشدة المجال لكل أسلوب انتشار، مع مراعاة قدرة المرسل وكسب الهوائي في ذلك الأسلوب. ويتحدد الأسلوب الأكثر شدة في تلك الساعة وتكون نسبة الاتساع، A، هي نسبة شدة مجال الأسلوب الفرعي إلى الأسلوب المهيمن، والتي قد تؤثر على أداء النظام إذا ما ترافقت مع تأخير انتشار يفوق T_w وتمديد تردد أعلى من F_w.

2.2.10 وقت الانتشار

يُحسب وقت الانتشار لأسلوب ما بالمعادلة التالية:

$$\tau = (p'/c) \times 10^3 \quad \text{ms} \tag{41}$$

حيث:

p': مسافة مائلة افتراضية (km) تعطى في المعادلتين (13) و(19) وارتفاع الانعكاس h_r، محدد في القسم 1.5

c: سرعة الضوء (km/s) في الفضاء الحر.

يمكن تحديد التأخير الزمني التفاضلي بين الأساليب استناداً إلى قيم التأخير الزمني لكل أسلوب.

3.2.10 إجراء التنبؤ بالاعتمادية

يستخدم الإجراء التالي في التنبؤ بالاعتمادية:

المسيرات التي يصل طولها إلى 9 000 km:

الخطوة 1: تتحدد شدة المجال للأسلوب المهيمن، E_w باتباع الطريقة الواردة في الفقرتين 2.5 و3.5.

الخطوة 2: يتم تحديد جميع الأساليب النشيطة الأخرى التي يتم فيها تجاوز شدة المجال ($E_W - A$ (dB)).

الخطوة 3: من الأساليب المحددة في الخطوتين 1) أو 2)، يتحدد الأسلوب الواصل أولاً، وتتحدد جميع الأساليب في النافذة T_w المقيسة من الأسلوب الواصل أولاً.

الخطوة 4: فيما يتعلق بالمسيرات التي يصل طولها إلى 7 000 km، يتم جمع قدرة الأساليب الواصلة في النافذة، أو يستخدم إجراء الاستكمال الداخلي الوارد في الفقرة 4.5 فيما يتعلق بالمسيرات التي يتراوح طولها بين 7 000 و9 000 km، وتتحدد اعتمادية الدارة الأساسية (BCR) باستخدام الإجراء الوارد في الفقرة 1.10 والذي يستعمل إجراء الجدول 1 من التوصية ITU-R P.842. وتستعمل نسبة الإشارة إلى الضوضاء المطلوبة، S/N_r، في الخطوة 10 من ذلك الجدول.

الخطوة 5: إذا كان لأي أسلوب نشيط من الأساليب التي تحددت في الخطوة 2 أوقات انتشار تفاضلي تتجاوز نافذة الوقت، T_w، فإن نقص الاعتمادية الناجم عن هذه الأساليب يتحدد باستخدام طريقة مماثلة لتلك الخاصة باعتمادية الدارة الإجمالية الواردة في الجدول 3 من التوصية ITU-R P.842، والتي تستعيض عن نسب الحماية النسبية الواردة في الخطوة 3 من الجدول 3 بالنسبة A وتتجاهل عامل التغيُّر من يوم إلى يوم بإعطاء جميع معلمات الخطوتين 5 و8 القيمة 0 dB. وانحطاط الاعتمادية الناجمة عن تداخل الأساليب المتعددة، *MIR*، هو العامل الناتج في الخطوة 12 من الجدول 3. والاعتمادية الإجمالية للدارة في غياب الانتشار (تقابل الخطوة 14 من الجدول 3 بالتوصية ITU-R P.842) تساوي %(*MIR*/100) × (*BCR*)).

ويلاحظ أنه قد يكون من الضروري إعادة النظر في قيم الانحرافات العشرية الواردة في الخطوتين 6 و9 من الجدول 3 إذ إن توزيع الاحتمالات قد يختلف باختلاف الأساليب.

الخطوة 6: خارج المناطق والأوقات التي يتوقع فيها الانتشار، يتوقع أن يكون تخالف التردد الناجم عن حركة وسط طبقات الانعكاس بحدود 1 Hz، وتفترض هذه الطريقة أن تردداً من هذا القبيل يُهمل.

المسيرات التي يفوق طولها عن 9 000 km

شدة مجال الإشارة المركبة هي تلك الناتجة في الفقرة 3.5. ويُفترض أن الأساليب التي تُنتج هذه الإشارة المركبة تندرج ضمن تمديد وقت انتشار قدره 3 ms عند 7 000 km ويزداد تدريجياً ليصل إلى 5 ms عند 20 000 km. وإذا كانت نافذة الوقت المخصصة للنظام أقل من تمديد وقت الانتشار هذا يمكن التنبؤ بأن النظام لن يفي بشروط أدائه.

3.10 الانتشار الاستوائي

فضلاً عن ذلك، ينبغي القيام بالخطوات التالية من أجل حساب التمديد الناجم عن الانتشار والذي يستدعي نموذج الانتشار الاستوائي الوارد في التذييل 1:

الخطوة 7: إذا انطوى المسير على تمديد وقت مردّه الانتشار في الأوقات والمناطق الجغرافية المحددة في التذييل 1، الفقرة 1 طبقت دالة انتشار الوقت في أوقات الزيادة على كل أسلوب من أساليب المنطقة F داخل نافذة الوقت وشدة الانتشار $p_{Tspread}$ الموجود في حافة نافذة الوقت T_w.

الخطوة 8: يرد في الفقرة 2 من التذييل 1 التمديد المحتمل في التردد الناجم عن الانتشار ودالة الانتشار الترددي هذه، $p_{Fspread}$، تطبق في الأوقات وفي المناطق الجغرافية المحددة في التذييل على الأسلوب المهيمن للمنطقة F ووجدت شدة انتشار التردد متناظرة في حواف نافذة التردد F_w.

الخطوة 9: إذا تجاوزت قيمة أي $p_{Tspread}$ و/أو $p_{Fspread}$ على حواف النوافذ (E_W وA)، فإن احتمال حدوث انتشار ينبغي تحديده عند نقاط التحكم الخاصة بأساليب المنطقة F على النحو الوارد في الفقرة 3 من التذييل 1. وعند مراعاة أكثر من نقطة تحكم واحدة لأسلوب انتشار ما، يؤخذ الاحتمال الأكبر.

الخطوة 10: تعطى اعتمادية الدارة الإجمالية في الدالة التالية:

$$(BCR) \times (R_M) \times (1 - (1 - R_{Smax})\,(prob_{occ})) \tag{42}$$

حيث احتمال ظهور الانتشار $prob_{occ}$ معرف في التذييل 1.

التذييل 1
للملحق 1

نموذج الانتشار الاستوائي لإشارات الموجات الديكامترية (HF)

1 يعطى نموذج الانتشار الزمني للقدرة المتيسِّرة من المكونة المنتشرة $p_{Tspread}$ في توزيع لوغاريتمي نصف عادي:

$$p_{Tspread} = 0.056\, p_m \; e^{\frac{-(\tau-\tau_m)^2}{2T^2 spread}}$$

في الحالات التي تكون فيها τ أكبر من τ_m.

حيث:

p_m: القدرة المتيسرة المستقبلة من الانعكاس المرآوي للأسلوب

τ: التأخير الزمني المعني

τ_m: لتأخير الزمني في الأسلوب المرآوي

T_{spread}: الانحراف المعياري لتمديد الوقت في هذا التوزيع النصفي وهو 1 ms.

2 الانتشار في تمديد التردد متناظر حول التردد المرسل وشكل تغيُّره مماثل لتمديد الوقت:

$$p_{Fspread} = 0.056\, p_m \; e^{\frac{-(f-f_m)^2}{2F^2 spread}}$$

حيث:

f: التردد المعني؛

f_m: التردد المركزي المرسَل؛

F_{spread}: الانحراف المعياري لتمديد التردد وهو 3 Hz

3 احتمال ظهور الانتشار في يوم محدد في شهر، $prob_{occ}$، يعطى في العلاقة:

$$prob_{occ} = F\lambda_d \, F_{T_l} \, F_R F_S$$

حيث:

$$F_{\lambda_d} = 1 \qquad \text{for} \quad 0° < |\lambda_d| < 15°$$

$$F_{\lambda_d} = \left(\frac{25 - |\lambda_d|}{10}\right)^2 \left(\frac{|\lambda_d| - 10}{5}\right) \qquad \text{for } 15° < |\lambda_d| < 25°$$

$$F_{\lambda_d} = 0 \qquad \text{for } 25° < |\lambda_d| < 90°$$

حيث λ_d هو الميل المغنطيسي

$$F_{T_l} = 1 \qquad \text{for } 00 < T_l < 03$$
$$F_{T_l} = \left(\frac{7 - T_l}{4}\right)^2 \left(\frac{T_l - 1}{2}\right) \qquad \text{for } 03 < T_l < 07$$
$$F_{T_l} = 0 \qquad \text{for } 07 < T_l < 19$$
$$F_{T_l} = (T_l - 19)^2 (41 - 2T_l) \qquad \text{for } 19 < T_l < 20$$
$$F_{T_l} = 1 \qquad \text{for } 20 < T_l < 24$$

حيث:

T_l: التوقيت المحلي عند نقطة المراقبة مقدراً بالساعات؛

F_R= (0.1 + 0.008R_{12}) أو 1) أيهما أصغر، وR_{12} هو الكَلَف الشمسي

و

$$F_S = 0.55 + 0.45 \sin\left(60^\circ (m - 1.5)\right)$$

حيث m هو رقم الشهر.

4 سيكون إجراء التنبؤ تحديد سويات مكونات انتشار الوقت والتردد تبعاً لحدود نافذتي الوقت والتردد المحددتين في نظام التشكيل المستخدم. وإذا كانت نسبة أعلى سوية بينهما إلى سوية المكونة المرآوية للأسلوب المهيمن تقع ضمن حدود التداخل بين الرموز المخصصة للنظام، يتوقع أن يكون النظام ضمن الاحتمال الذي يعطيه نموذج احتمال ظهور الانتشار.

_____