

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية **ITU-R P.533-13**
(2015/07)

طريقة التنبؤ بأداء الدارات العاملة
بالموجات الديكامتريّة (HF)

السلسلة **P**
انتشار الموجات الراديوية

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى 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 والمبظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات 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>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بُعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2016

© ITU 2016

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).

التوصية ITU-R P.533-13

طريقة التنبؤ بأداء الدارات العاملة بالموجات الديكامتريّة (HF)*

(2015-2013-2012-2009-2007-2005-2001-1999-1995-1994-1992-1990-1982-1978)

مجال التطبيق

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

مصطلحات أساسية

الأيونوسفير، الموجات الديكامتريّة، التنبؤ

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن الاختبارات التي تستعمل مصرف بيانات 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 والاستقبال¹،

توصي

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.

* نمة برنامج حاسوبي (ITURHFProp) مصاحب لإجراءات التنبؤ الموصوفة في هذه التوصية متاح في الموقع الإلكتروني لقطاع الاتصالات الراديوية في الجزء المخصص للجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية.

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

الملحق 1

جدول المحتويات

الصفحة

4	.....	مقدمة	1
4	.....	الجزء 1 - تيسر الترددات	
4	.....	تحديد موقع نقاط التحكم	2
4	.....	أقصى الترددات المستعملة الأساسية والتشغيلية	3
4	.....	1.3 أقصى الترددات المستعملة الأساسية	
4	.....	2.3 التردد الحرج للطبقة E (foE)	
6	.....	3.3 التردد الأساسي للطبقة E MUF	
6	.....	4.3 خصائص الطبقة F2	
6	.....	5.3 التردد الأساسي للطبقة F2 MUF	
7	.....	6.3 الاحتمالات الشهرية لانتشار الوسيط الأيونوسفيري	
8	.....	7.3 أقصى الترددات MUF التشغيلية على المسير	
8	.....	4 أقصى تردد للحجب بالطبقة E، (f_s)	
9	.....	الجزء 2 - متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية	
9	.....	5 متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية	
9	.....	1.5 زاوية الارتفاع	
11	.....	2.5 مسيرات يصل طولها إلى 9 000 km	
17	.....	3.5 مسيرات يتجاوز طولها 7 000 km	
22	.....	4.5 مسيرات بين 7 000 و 9 000 km	
22	.....	6 القدرة المتوسطة المتيسرة عند المستقبل	
23	.....	الجزء 3 - التنبؤ بأداء النظام	
23	.....	7 المتوسط الشهري لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N)	
23	.....	8 شدة المجال الأيونوسفيري وقدرة الإشارة المستقبلية ونسب الإشارة إلى الضوضاء من أجل نسب مئوية أخرى من الوقت	
24	.....	9 أدنى تردد مستعمل (LUF)	

الصفحة

24	اعتمادية الدارة الأساسية (BCR)	10
24	اعتمادية الأنظمة المشكلة التماثلية	1.10
24	اعتمادية الأنظمة المشكلة رقمياً مع مراعاة تمديد الوقت والتردد للإشارة المستقبلية	2.10
25	الانتشار الاستوائي	3.10
26	المرفق 1 للملحق 1 - نموذج الانتشار الاستوائي لإشارات الموجات الديكامترية (HF)	

1 مقدمة

يطبق هذا الإجراء التنبؤي تحليل مسير الأشعة بالنسبة إلى مسيرات يصل طولها إلى 7 000 km، وعلاقات مستخلصة تجريبياً في أسلوب مركب انطلاقاً من ضبط معطيات القياس لمسيرات تفوق 9 000 km، وانتقالاً سلساً بين هذين النهجين على مدى المسافات بين 7 000 و 9 000 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 لمعلومات وظيفة نقل القناة لاستخدامها في التنبؤ بأداء الأنظمة الرقمية. وتعطى الطرائق لأغراض تقدير اعتمادية الدارة. وتقيس قيم شدة مجال الإشارات وفقاً لمصرف بيانات القياس الخاص بقطاع الاتصالات الراديوية. وتتطلب هذه الطريقة أن يحدد عدد من الخصائص الأيونوسفيرية ومن معلومات الانتشار عند "نقاط تحكم" محددة.

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

الجزء 1

تيسر الترددات

2 تحديد موقع نقاط التحكم

يفترض بأن يتم الانتشار على طول مسير الدائرة العظمى بين موقع المرسل وموقع المستقبل عبر الأساليب E (حتى مدى 4 000 km) وعبر الأساليب F2 (بالنسبة إلى كل المسافات). وتتقوى 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 المعلومات 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. وعندما تؤخذ الأساليب E و F2 معاً يكون التردد الأعلى من التردد MUF الأساسي في الأسلوبين E و F2 من أدنى رتبة هو التردد MUF الأساسي للمسير.

2.3 التردد الحرج للطبقة E (foE)

يحدد المتوسط الشهري للتردد foE كما هو معرّف في التوصية ITU-R P.1239.

الجدول 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

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

ب) الحجب بالطبقة E

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

ج) ارتفاعات الانعكاس المرآوي لمسير الشعاع

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

د) الامتصاص الأيونوسفيري وتردد دوران الإلكترونات المصاحبة له

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

M : نقطة منتصف المسير

T : موقع المرسل

R : موقع المستقبل

d_{max} : أقصى طول للقفرة في الأسلوب F2، محسوباً عند نقطة التحكم في منتصف المسير

d_0 : طول القفرة في الأسلوب من رتبة أدنى

تقدّر المسافات بالكيلومترات (km).

3.3 التردد MUF الأساسي للطبقة E

تقدّر قيمة foE عند نقاط التحكم الواردة في الجدول 1) وتختار أصغر القيم بالنسبة للمسيرات التي يتراوح طولها بين 2 000 و 4 000 km. وتعطي العلاقة التالية التردد MUF الأساسي لأسلوب E بعدد n من القفزات على مسير بطول D:

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

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

ويكون التردد MUF الأساسي للطبقة E على المسير هو قيمة $n_0 E(D)MUF$ في أدنى رتبة من الأسلوب E، n_0 .

4.3 خصائص الطبقة F2

تؤخذ التمثيلات الرقمية للمتوسط الشهري للخصائص الأيونوسفيرية foF2 و M(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 1). 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:

$$(2) \quad h_r = \frac{1490}{M(3000)F2} - 176 \text{ km} \text{ أو } 500 \text{ km, وتؤخذ أصغر القيمتين}$$

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

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

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)

$$(4) \quad C_d = 0,74 - 0,591 Z - 0,424 Z^2 - 0,090 Z^3 + 0,088 Z^4 + 0,181 Z^5 + 0,096 Z^6$$

وعندما $Z = 1 - 2d/d_{max}$

$$(5) \quad d_{max} = 4780 + (12610 + 2140/x^2 - 49720/x^4 + 688900/x^6) (1/B - 0,303)$$

$$(6) \quad B = M(3000)F2 - 0,124 + [[M(3000)F2]^2 - 4] \cdot \left[0,0215 + 0,005 \sin \left(\frac{7,854}{x} - 1,9635 \right) \right]$$

حيث:

d : D/n و d_{max} يعبر عنهما بالكيلومترات

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

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

تحتسب foE كما ورد في الفقرة 2.3.

وقيمة $nF2(D)MUF$ لأسلوب الرتبة الأدنى، n_0 ، هي القيمة MUF الأساسية للمسير. ولحساب MUF الأساسية للمسير، تقيد d_{max} بحيث لا تزيد عن 4000 km.

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 (أ1). 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 (أ1) لقفزة طولها $d = D/n$.

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 تدرج للمسافات يعتمد على طول القفزات في الأسلوب المعني وفي أسلوب أدنى رتبة ممكنة. ولحساب M_n و M_{n0} ، يعاد حساب مسافة القفزة القصوى، d_{max} ، عند نقطة التحكم ويجوز أن تزيد عن 4 000 km.

$$(7) \quad n F2(D)MUF = n_0 F2(d_{max})MUF \cdot M_n / M_{n0}$$

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

$$(8) \quad \frac{M_n}{M_{n0}} = \frac{n F2(D)MUF}{n_0 F2(D)MUF}$$

وتنتقى أدنى القيمتين المحسوبتين عند نقطتي التحكم في الجدول (أ1).

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 و 5.3 أعلاه القيم المتوسطة للترددات $MUF(50)$ في الانتشار في الطبقتين E و F2.

فيما يتعلق بأساليب الطبقة F2، يعطي الجدول 2 من التوصية ITU-R P.1239 أدنى نسبة عشرية δ_i 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:

$$(9) \quad F_{prob} = 130 - \frac{80}{1 + \text{MUF}(50)/(f \cdot \delta_l)} \quad \text{أو} \quad 100 = F_{prob} \quad \text{أيهما أصغر}$$

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 والكلف الشمسي.

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

$$(10) \quad F_{prob} = \frac{80}{1 + f/(\text{MUF}(50) \cdot \delta_u)} - 30 \quad \text{أو} \quad 0 = F_{prob} \quad \text{أيهما أكبر}$$

والعاملان المناسبان للمدى العشري البيني في أساليب الطبقة E هما 1,05 و 0,95، 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% و 10% 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% و 90% من الأيام ب ضرب متوسط أقصى الترددات التشغيلية بالعوامل الملائمة الواردة في الجدولين 2 و 3 من التوصية ITU-R P.1239، في حالة الأساليب F. وفي حالة الأساليب E يكون العاملان هما 1,05 و 0,95، على التوالي.

4 أقصى تردد للحجب بالطبقة E، (f_s)

يُنظر في الحجب بالطبقة E في الأساليب F2 بالنسبة إلى مسيرات لا يتجاوز طولها 4 000 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.

$$(11) \quad f_s = 1,05 \text{ foE sec } i$$

عندما:

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

حيث:

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. وبالنسبة لمسافات المسيرات الأقل من 7 000 km تجرى تنبؤات متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية باستعمال الطريقة الواردة في الفقرة 2.5 فقط. وبالنسبة لمسافات المسيرات الأطول من 9 000 km تجرى تنبؤات متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية باستعمال الطريقة الواردة في الفقرة 3.5 فقط. وبالنسبة لمسافات المسيرات التي تتراوح بين 7 000 km و 9 000 km، تستعمل الطريقتان وتخضع النتائج للاستكمال الداخلي بالطريقة الواردة في الفقرة 4.5.

1.5 زاوية الارتفاع

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

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

حيث:

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

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:

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

ومع:

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

و $x = y$ أو 1,8 أيهما أكبر.

أ) من أجل $x < 3,33$ و $x_r = f/foF2$ ، حيث f هو تردد الموجة:

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

حيث:

$$h = \begin{cases} A_1 + B_1 2,4^{-a} & \text{for } B_1 \text{ and } a \geq 0 \\ = A_1 + B_1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

ومع:

$$\begin{aligned} A_1 &= 140 + (H - 47) E_1 \\ B_1 &= 150 + (H - 17) F_1 - A_1 \\ E_1 &= -0,09707 x_r^3 + 0,6870 x_r^2 - 0,7506 x_r + 0,6 \end{aligned}$$

وتحدد قيمة F_1 بحيث تكون:

$$\begin{aligned} F_1 &= -1,862 x_r^4 + 12,95 x_r^3 - 32,03 x_r^2 + 33,50 x_r - 10,91 & \text{for } x_r \leq 1,71 \\ F_1 &= 1,21 + 0,2 x_r & \text{for } x_r > 1,71 \end{aligned}$$

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

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

حيث:

$$\begin{aligned} d_s &= 160 + (H + 43) G \\ G &= -2,102 x_r^4 + 19,50 x_r^3 - 63,15 x_r^2 + 90,47 x_r - 44,73 & \text{for } x_r \leq 3,7 \\ G &= 19,25 & \text{for } x_r > 3,7 \end{aligned}$$

(ب) من أجل $1 > x_r$ و $3,33 < x$:

$$(15) \quad h = h_r \text{ أو } 800 \text{ km، أيهما أصغر}$$

حيث:

$$\begin{aligned} h &= A_2 + B_2 b & \text{for } B_2 \geq 0 \\ &= A_2 + B_2 & \text{otherwise} \end{aligned}$$

عندما:

$$\begin{aligned} A_2 &= 151 + (H - 47) E_2 \\ B_2 &= 141 + (H - 24) F_2 - A_2 \\ E_2 &= 0,1906 Z^2 + 0,00583 Z + 0,1936 \\ F_2 &= 0,645 Z^2 + 0,883 Z + 0,162 \end{aligned}$$

حيث:

: $x_r = Z$ أو $0,1$ ، أيهما أكبر، كما تتغير b بتغير المسافة المقاسة d_f و Z و H 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:

$$d_f = \frac{0,115 d}{Z(H + 140)} \text{ أو } 0,65 \text{، أيهما أصغر}$$

(ج) من أجل $3,33 \geq x$:

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

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 1 ج)، وتستعمل القيمة المتوسطة.

2.5 مسارات التي يصل طولها إلى 9 000 km

بالنسبة لمسافات المسيرات الأقل من 7 000 km تجرى تنبؤات متوسطة شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية باستعمال الطريقة الواردة في الفقرة 2.5 فقط. وبالنسبة لمسافات المسيرات التي تتراوح بين 7 000 km و 9 000 km، تستعمل الطريقتان الواردتان في الفقرتين 2.5 و 3.5. وتخضع النتائج المتحصل عليها من كل طريقة للاستكمال الداخلي بالطريقة الواردة في الفقرة 4.5.

1.2.5 الأساليب المعتمدة

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

- ارتفاع الانعكاس المرآوي:

• للأساليب E، الارتفاع $h_r = 110$ km؛

• للأساليب F2، الارتفاع h_r المحدد في المعادلة (2) حيث يقدر $M(3\ 000)F2$ عند نقطة التحكم في منتصف المسير (لأطوال مسيرات تصل إلى d_{max} (km)) أو عند نقطة تحكم مبينة في الجدول 1 ج) حيث تأخذ $foF2$ أدنى قيمة (لأطوال مسيرات تتراوح بين d_{max} و 9 000 km).

- الأساليب E - أسلوب الرتبة الأدنى مع قفزة يصل طولها إلى 2 000 km والأسلوبان التاليان من الرتب الأعلى؛

- الأساليب F2 - أسلوب الرتبة الأدنى مع قفزة يصل طولها إلى d_{max} (km) وأساليب الرتب الخمس الأعلى التالية 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:

$$(17) \quad E_w = 136,6 + P_t + G_t + 20 \log f - L_b \quad \text{dB}(1 \mu\text{V/m})$$

حيث:

f : تردد الإرسال (MHz)

P_t : قدرة المرسل (dB(1 kW))

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

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

$$(18) \quad L_b = 32,45 + 20 \log f + 20 \log p' + L_i + L_m + L_g + L_h + L_z$$

وعندما تكون:

p' : المسافة المائلة الافتراضية (km)

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

L_i : الخسارة بسبب الامتصاص (dB) في أسلوب بعدد n من القفزات تُستنتج من معادلة تُحسب عند عدد m من نقاط الاختراق. وتحدد نقاط الاختراق بافتراض ارتفاع انعكاس ثابت مقداره 300 km وارتفاع اختراق مقداره 90 km (نقطتا اختراق لكل قفزة):

$$(20) \quad L_i = (1 + 0,0067R_{12}) \cdot \sec i \sum_{j=1}^m \frac{AT_{jnoon}}{(f + f_{Lj})^2} \cdot \frac{F(\chi_j)}{F(\chi_{jnoon})} \cdot \varphi_n \left(\frac{f_v}{foE_j} \right)$$

وعندما تكون:

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

بينما:

$$(22) \quad f_v = f \cos i$$

و:

i : زاوية الورود عند 110 km

m : عدد نقاط الاختراق

f_{Lj} : قيمة ترددات دوران الإلكترونات، للمكونة الطولية مجال الأرض المغنطيسي بالنسبة إلى ارتفاع 100 km، يحدد عند نقطة الاختراق رقم j . وبالنسبة للميل المغنطيسي، I ، تحسب هذه الكمية كالتالي:

$$(23) \quad f_L = |f_H \cdot \sin(I)|$$

χ_j : زاوية السمات الشمسي عند نقطة الاختراق 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_{jnoon} : عامل الامتصاص ظهراً حسب التوقيت المحلي من أجل نقطة الاختراق رقم j و $R_{12} = 0$ بدلالة خط العرض الجغرافي والشهر يؤخذ من الشكل 1

عامل الامتصاص العائد إلى اختراق الطبقة عند نقطة الاختراق رقم j ، 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 على النحو المحدد في المعادلة (1) والمعادلة (3):

$$(24) \quad L_m = 0$$

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

$$(25) \quad L_m = 46 [(f/f_b) - 1]^2 \text{ dB}$$

أو 58 dB، أيهما أصغر.

وبالنسبة إلى الأساليب F2 عندما تكون $f > f_b$:
لمسيرات $\leq 3\,000$ km

$$(26a) \quad L_m = 36[(ff_b) - 1]^{1/2} + 5 \quad \text{dB}$$

أو 60 dB، أيهما أصغر.
ولمسيرات $< 3\,000$ km

$$(26b) \quad L_m = 70[(ff_b) - 1] + 8 \quad \text{dB}$$

أو 80 dB، أيهما أصغر.

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

ففي أسلوب بعدد n من القفزات:

$$(27) \quad L_g = 2(n - 1) \quad \text{dB}$$

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 ممرکز على الأرض باتجاهي $78,5^\circ$ شمالاً و $68,2^\circ$ غرباً: وتؤخذ القيم المتوسطة لنقاط التحكم من الجدول D1). 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 فتبادل أشهر الشتاء والصيف. عندما تكون $G_n > 42,5^\circ$ تكون $L_h = 0$ dB.

L_z : عبارة تتضمن تأثيرات الانتشار بالموجة الأيونوسفيرية غير المدرجة في هذه الطريقة. والقيمة الحالية الموصى بها هي 8,72 dB (راجع الفقرة 2.5).

الملاحظة 1 - جدير بالملاحظة أن قيمة L_z مرتبطة بعناصر طريقة التنبؤ، أي أن أي تغيير في هذه العناصر يستدعي مراجعة للقيمة L_z . والقيمة L_z هي الخسارة الزائدة المحددة من الفارق بين شدة المجال المتنبأ بها (لمسيرات يقل طولها عن 7 000 km) ومصرف البيانات D1.

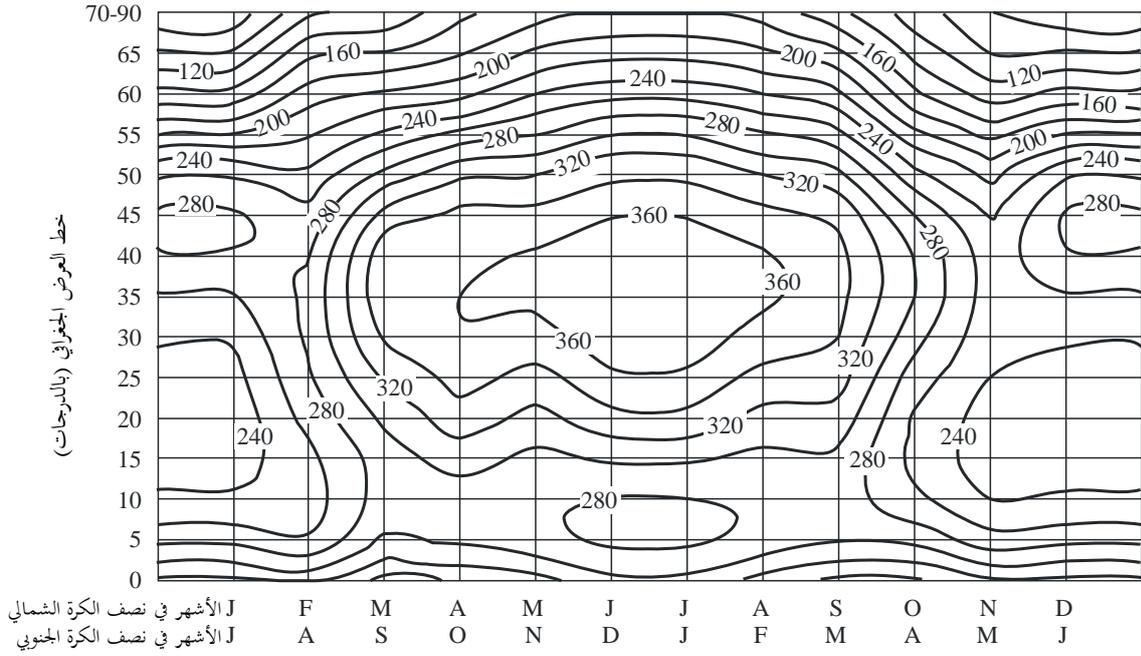
بصرف النظر عن الأساليب التي تحجبها الطبقة E، تؤخذ المحصلة الإجمالية لمتوسط القيمة المكافئة لشدة المجال الموجة الأيونوسفيرية E_{ts} ، باعتبارها جذر التربيع لمجموع المجالات لعدد N من الأساليب حيث يختار N على نحو يشمل الأسلوبين F2 و E اللذين تم التنبؤ بشأتهما، أي:

$$(28) \quad E_s = 10 \log_{10} \sum_{w=1}^N 10^{E_w/10} \quad \text{dB}(1 \mu\text{V/m})$$

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

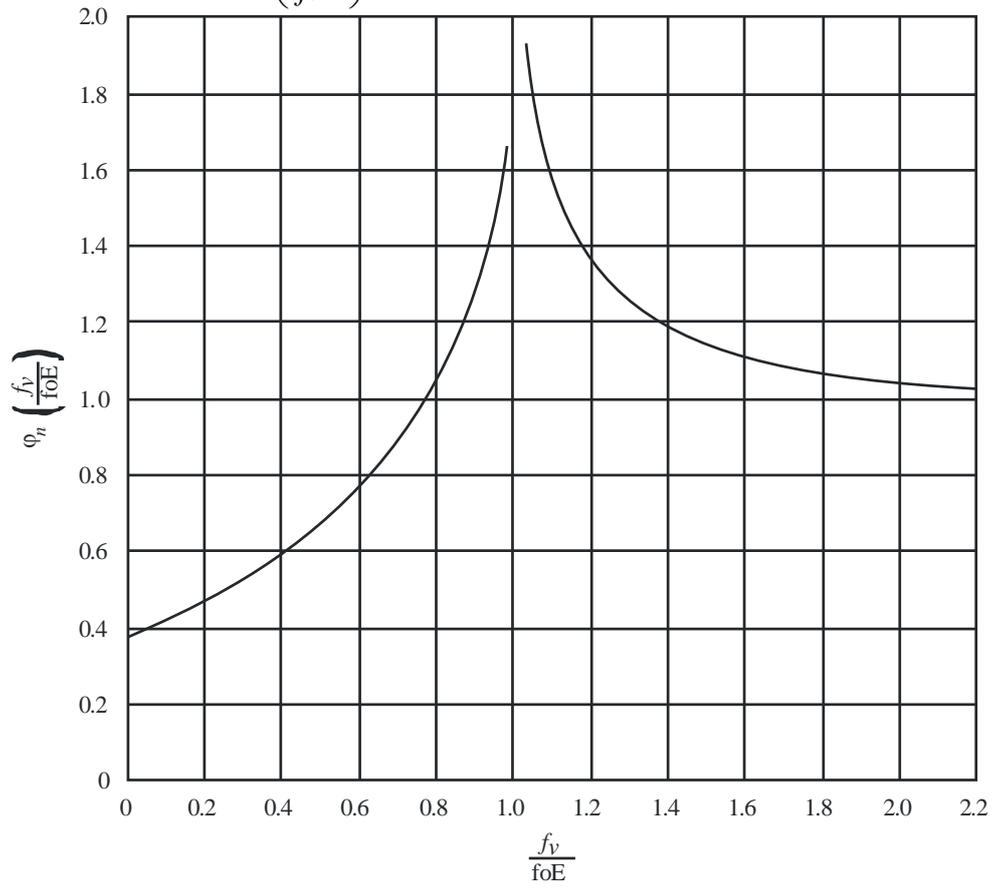
الشكل 1

عامل الامتصاص، AT_{noon}



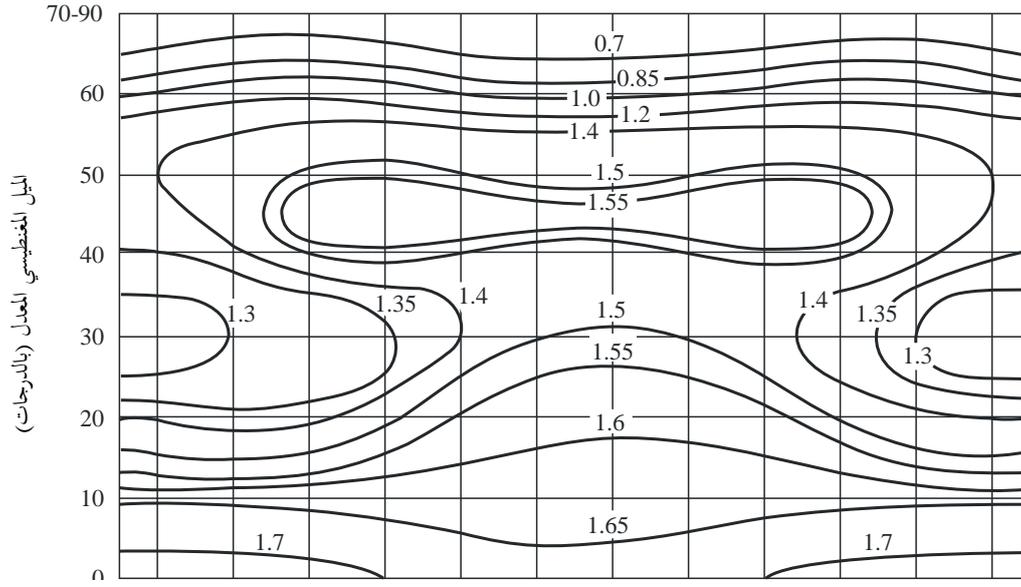
الشكل 2

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



الشكل 3

أس الامتصاص النهاري p



J الأشهر في نصف الكرة الشمالي
 J الأشهر في نصف الكرة الجنوبي

P0533-03

الجدول 2

قيم L_n 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								
		$22 \leq t < 01$	$19 \leq t < 22$	$16 \leq t < 19$	$13 \leq t < 16$	$10 \leq t < 13$	$07 \leq t < 10$	$04 \leq t < 07$	$01 \leq t < 04$	
الشتاء		1,0	1,5	1,4	0,5	1,5	6,2	6,6	2,0	G_n $77,5^\circ \leq G_n$
		3,0	3,0	2,5	0,5	0,9	8,6	8,3	3,4	$72,5^\circ \leq G_n < 77,5^\circ$
		5,0	7,0	4,6	1,5	2,3	12,8	15,6	6,2	$67,5^\circ \leq G_n < 72,5^\circ$
		6,6	9,8	6,8	2,0	3,6	14,0	16,0	7,0	$62,5^\circ \leq G_n < 67,5^\circ$
		2,0	3,0	2,7	0,8	1,4	6,6	4,5	2,0	$57,5^\circ \leq G_n < 62,5^\circ$
		0,9	2,3	1,8	0,4	0,3	3,2	1,0	1,3	$52,5^\circ \leq G_n < 57,5^\circ$
		0,6	1,5	1,2	0,2	0,2	2,2	0,6	0,9	$47,5^\circ \leq G_n < 52,5^\circ$
		0,3	0,7	0,6	0,1	0,1	1,1	0,3	0,4	$42,5^\circ \leq G_n < 47,5^\circ$
الاعتدال		3,3	2,4	2,4	1,0	3,8	7,4	2,5	1,4	$77,5^\circ \leq G_n$
		7,0	6,0	4,0	2,6	5,1	11,6	11,0	3,3	$72,5^\circ \leq G_n < 77,5^\circ$
		13,7	10,0	6,0	4,8	8,5	21,4	12,0	6,5	$67,5^\circ \leq G_n < 72,5^\circ$
		15,0	10,9	9,0	7,2	9,0	17,0	11,2	6,7	$62,5^\circ \leq G_n < 67,5^\circ$
		6,1	5,5	4,8	2,6	5,0	7,5	4,4	2,4	$57,5^\circ \leq G_n < 62,5^\circ$
		4,0	3,0	4,0	2,2	3,0	5,0	2,0	1,7	$52,5^\circ \leq G_n < 57,5^\circ$
		2,6	2,0	2,6	1,4	2,0	3,3	1,3	1,1	$47,5^\circ \leq G_n < 52,5^\circ$
		1,3	1,0	1,3	0,7	1,0	1,6	0,6	0,5	$42,5^\circ \leq G_n < 47,5^\circ$

الجدول 2 (تتمة)

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

3.5 مسيرات يتجاوز طولها 7 000 km

تجري التنبؤات لشدة مجال الموجة الأيونوسفيرية المتوسطة في المسيرات الأطول من 9 000 km باستخدام الطريقة الواردة في الفقرة 3.5 فقط. وبالنسبة للمسيرات التي يتراوح طولها بين 7 000 و 9 000 km، تستخدم الطريقتان الواردتان في الفقرتين 2.5 و 3.5. وتخضع النتائج المتحصل عليها من كل طريقة للاستكمال الداخلي بالطريقة الواردة في الفقرة 4.5.

وبالنسبة للمسيرات الأطول من 7 000 km، لا يمكن عملياً حساب جميع الأساليب المحتملة. وبالتالي تطبق الطريقة التالية عندما تحدد كل من $LUF(f_L)$ و $MUF(f_M)$ التشغيلية مدى ترددات الإرسال. وتعد قيمتا f_L و f_M أهم معلمتين في الصيغة التجريبية لحساب شدة

المجال. ومع ذلك، بالنسبة إلى المسيرات التي يتراوح طولها بين 7 000 و 9 000 km، يستخدم الاستكمال الداخلي لنتائج الطريقتين من أجل توفير انتقال سلس (انظر الفقرة 4.5).

وتتضمن هذه الطريقة ثلاث خطوات أساسية:

- تحديد f_M ؛
- تحديد f_L ؛
- تقدير شدة المجال.

1.3.5 تحديد f_M

لتحديد f_M ، تجري التنبؤات بتقسيم المسير إلى أقل عدد (n_M) من القفزات متساوية الطول (d_M)، km 4 000 أو أقل. وتحسب زاوية الارتفاع طبقاً للمعادلة (13)، مع مراعاة طول القفزة وارتفاع ثابت مقداره 300 km. فإذا كانت زاوية الارتفاع أقل من 3,0 درجات، تضاف قفزة واحدة ويعاد حساب طول القفزة وزاوية الارتفاع إلى أن تزيد زاوية الارتفاع عن 3,0 درجات. وبعد ذلك، يحدد موقع نقطتي التحكم من الجدول (أ1). وفي هذه الحالة تكون d_0 مساوية للطول d_M ، وبالتالي تقع نقطتا التحكم في منتصف القفزة ($d_M/2$) من كل من المرسل والمستقبل.

ويحدد كل من foF2 و M(3000) وتردد الدوران (f_H) عند كل نقطة من نقطتي التحكم طبقاً للفقرة 4.3. وتستعمل هذه القيم لحساب f_z و F2(Zero)MUF (f_z) و F2(4000)MUF (f_4) و f_{BM} و MUF الأساسية لنقطتي التحكم:

$$(29) \quad f_{BM} = f_z + (f_4 - f_z)f_D \quad \text{MHz}$$

حيث:

$$f_4 = 1,1 \cdot foF2 \cdot M(3000)F2$$

$$f_z = foF2 + \frac{f_H}{2}$$

ويستعمل عامل خفض المسافة (f_D) لخفض طول MUF البالغ km 4 000 إلى الطول الفعلي للقفزة. ويتراوح عامل الخفض f_D بين 0,0 (لقفزة طولها 0 km) و 1,0 (لقفزة طولها 4 000 km).

$$(30) \quad f_D = \left(\left(\left(\left(\left((C_6 d_M + C_5) d_M + C_4 \right) d_M + C_3 \right) d_M + C_2 \right) d_M + C_1 \right) d_M + C_0 \right) d_M$$

حيث:

C_6 :	$-2,40074637494790 \cdot 10^{-24}$
C_5 :	$25,8520201885984 \cdot 10^{-21}$
C_4 :	$-92,4986988833091 \cdot 10^{-18}$
C_3 :	$102,342990689362 \cdot 10^{-15}$
C_2 :	$22,0776941764705 \cdot 10^{-12}$
C_1 :	$87,4376851991085 \cdot 10^{-9}$
C_0 :	$29,1996868566837 \cdot 10^{-6}$
d_M :	طول القفزة (km)

وتحدد قيمة f_{BM} بشكل منفصل لنقطتي التحكم وتؤخذ القيمة الأقل بوصفها MUF الأساسية. وتؤخذ القيمة الأقل بوصفها MUF الأساسية للمسير بالكامل.

وتحدد قيمة f_M بشكل منفصل لنقطتي التحكم وتؤخذ القيمة الأقل من ناتج ضرب العامل K و MUF الأساسية. وتؤخذ القيمة الأقل بوصفها MUF التشغيلية للمسير بالكامل.

$$(31) \quad f_M = K \cdot f_{BM} \quad \text{MHz}$$

ويستعمل العامل k لحساب MUF التشغيلية، f_M ، من MUF الأساسية، f_{BM} :

$$(32) \quad K = 1,2 + W \frac{f_{BM}}{f_{BM,noon}} + X \left[\sqrt[3]{\frac{f_{BM,noon}}{f_{BM}}} - 1 \right] + Y \left[\frac{f_{BM,min}}{f_{BM,noon}} \right]^2$$

حيث:

$f_{BM,noon}$: قيمة f_{BM} لوقت يقابل الظهر المحلي

$f_{BM,min}$: قيمة f_{BM} الأدنى التي تسجل خلال 24 ساعة.

تحصل على W و X و Y من الجدول 3. وتحدد زاوية سمت مسير الدائرة العظمى في مركز المسير بالكامل؛ وتستعمل هذه الزاوية من أجل الاستكمال الداخلي الخطي للزاوية بين قيم الشرق-الغرب والشمال-الجنوب.

الجدول 3

قيم Y, X, W المستعملة في حساب عامل التصحيح K

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

2.3.5 تحديد f_L

تتأثر LUF بشدة بالامتصاص غير الانحراقي. وتمتص الموجات HF عند اختراق الطبقة D. ولتحديد LUF ، يقسم المسير إلى عدد n_L من القفزات المتساوية في الطول d_L ، (لا تزيد عن 3 000 km). وتحدد نقاط الاختراق بافتراض ارتفاع انعكاس ثابت مقداره 300 km وارتفاع اختراق مقداره 90 km (نقطتنا اختراق لكل قفزة).

وتحسب f_L بواسطة المعادلة (33):

$$(33) \quad f_L = \left(5,3 \left[\frac{(1+0,009R_{12}) \sum_1^m \cos^{0,5}(\chi)}{\cos(i_{90}) \log_e \left(\frac{9,5 \cdot 10^6}{p'} \right)} \right]^{0,5} - f_H \right) (A_w + 1) \quad \text{MHz}$$

حيث:

m : عدد نقاط الاختراق، $2n_L$

R_{12} : عدد البقع الشمسية التي لا تصل إلى حالة التشبع بالنسبة للقيم الكبيرة ويمكن أن تتجاوز 160.

χ : زاوية سمت الشمس والتي يمكن حسابها باستعمال المعادلة التالية:

$$(34) \quad \cos(\chi) = \sin(\varphi_m) \sin(\delta) + \cos(\varphi_m) \cos(\delta) \cos(\eta)$$

حيث:

δ : الميل الشمسي (بالتقويم الدائري)

φ_m : خط العرض الجغرافي لنقطة الاختراق رقم m^{th} (بالتقويم الدائري)

η : زاوية الساعة الشمسية (بالتقويم الدائري).

ويمكن تقريب الميل، δ ، بخط العرض الفرعي للشمس عند منتصف الشهر (s_x) من الجدول 4:

الجدول 4

خط العرض الفرعي للشمس عند منتصف الشهر

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
s_x (بالدرجات)	21,2-	12,7-	2,2-	9,7	18,8	23,3	21,6	14,1	3,1	8,4-	18,4-	23,3-

ويمكن تقريب زاوية الساعة الشمسية بالمعادلة:

$$(35) \quad \eta \cong \left(\frac{UTC}{12} - 1\right) \cdot \pi + y_m$$

حيث:

UTC : التوقيت العالمي (الساعة)

y_m : خط الطول الجغرافي لنقطة الاختراق رقم m (بالتقويم الدائري).

وتحدد χ إجمالاً لكل اختيار للمسار الإشعاعي عبر ارتفاع مقداره 90 km. وعندما تكون $\chi > 90^\circ$ ، تقرب $\cos^{0.5}\chi$ إلى الصفر

i_{90} : زاوية السقوط عند ارتفاع 90 km

p' : طول المسار المائل

A_w : معامل الانحراف الشتوي، ويحدد عند نقطة منتصف المسار ويكون متساوياً عند خطوط العرض الجغرافية من 0° إلى 30° وعند 90° ويصل إلى قيمه القصوى الواردة في الجدول 5 عند 60° . وتحدد القيم عند خطوط العرض البينية باستخدام الاستكمال الداخلي الخطي.

الجدول 5

قيم معامل الانحراف الشتوي، A_w ، عند خط عرض جغرافي 60° المستعمل في حساب f_L

نصف الكرة	الشهر											
	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الشمالي	0,30	0,15	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,15	0,30
الجنوبي	0,00	0,00	0,00	0,03	0,15	0,30	0,30	0,15	0,03	0,00	0,00	0,00

مبدئياً، تحدد f_L لمدة 24 ساعة من المعادلة (33) أو من LUF الليلية (f_{LN}). ويحدد f_{LN} من المعادلة:

$$(36) \quad f_{LN} = \sqrt{\frac{D}{3000}}$$

وفي كل ساعة، تؤخذ القيمة الأكبر من القيم المحسوبة من المعادلتين (32) و(35) بوصفها f_L لهذه الساعة. وبهذه الطريقة تكون قيمة f_L الأدي خلال 24 ساعة هي f_{LN} . وبعد ذلك سحب الانحطاط من day-LUF إلى night-LUF ومرجع ذلك أن الامتصاص لا يتبع زاوية سمت الشمس تماماً، بل يتأخر حول غروب الشمس. والإجراء التالي ضروري لتحديد من day إلى night.

وتعرف الساعة من day-LUF إلى night-LUF، t_r ، بالساعة التي تقل فيها f_L في هذه اللحظة عن $2*f_{LN}$ ، في حين تكون الساعة التي تسبقها أكبر من $2*f_{LN}$. وفي حالة عدم وجود الساعة t_r ، يكون قد تم استكمال تحديد f_L خلال الساعات الأربع والعشرين.

في حالة وجود الساعة t_r ، تجب إعادة حساب f_L لهذه الساعة والساعات الثلاث التالية بالطريقة التالية. وبالنسبة للساعة t_r ، تحسب f_L باستخدام المعادلة:

$$(37) \quad f_L(t_r) = e^{-0,23} \cdot f_L(t_r - 1) \cdot (dt \cdot (1 - e^{-0,23}) + e^{-0,23})$$

حيث:

$$dt = \frac{2 \cdot f_{LN} - f_L(t_r)}{f_L(t_r - 1) - f_L(t_r)}$$

وبالنسبة للساعات الثلاث التالية ($n = 1, 2, 3$)، تحسب f_L بالمعادلة:

$$(38) \quad f_L(t_r + n) = f_L(t_r + n - 1) \cdot e^{-0,23}$$

وتحل قيم f_L المعاد حسابها حديثاً محل قيم f_L الأولية فقط عندما تكون أكبر وبمجرد حساب جميع قيم f_L في فترة 24 ساعة، يتم اختيار قيمة f_L للساعة الحالية ويستكمل حساب f_L .

3.3.5 تقدير شدة المجال E_H

تحسب محصلة متوسط شدة المجال E_H :

$$(39) \quad E_H = E_0 \left[1 - \frac{(f_M + f_H)^2}{(f_M + f_H)^2 + (f_L + f_H)^2} \left[\frac{(f_L + f_H)^2}{(f + f_H)^2} + \frac{(f + f_H)^2}{(f_M + f_H)^2} \right] \right] - 30,0 + P_t + G_H + G_{ap} - L_y \quad \text{dB}(1 \mu\text{V/m})$$

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

$$(40) \quad E_0 = 139,6 - 20 \log p' \quad \text{dB}(1 \mu\text{V/m})$$

حيث:

p' يحسب بواسطة المعادلتين (19) و(13) على أساس $h_r = 300 \text{ km}$.

G_H : أعلى قيمة لكسب هوائي الإرسال عند السمتم المطلوب في مدى الارتفاع 0° إلى 8° (dB)

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

$$(41) \quad G_{ap} = 10 \log \left[\frac{D}{R_0 \left| \sin\left(\frac{D}{R_0}\right) \right|} \right] \quad \text{dB}$$

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 -0,14 dB.

الملاحظة 1 - يشار إلى أن القيمة L_y تتعلق بعناصر طريقة التنبؤ، ومن ثم يجب أن يقتصر أي تعديل في هذه العناصر بمراجعة للقيمة L_y .

f_H : متوسط قيم تردد دوران الإلكترونات الذي يحدد عند نقطتي التحكم

f_M : MUF (انظر الفقرة 1.3.5)

f_L : LUF (انظر الفقرة 2.3.5).

4.5 مسيرات بين 7 000 و 9 000 km

يتحدد متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية E_{fi} في هذا المدى من المسافات من خلال الاستكمال الداخلي بين القيم E_s و E_l . حيث E_s هو جذر التربيع لشدة المجال من المعادلة (28). وتشير إلى E_l أسلوب مركب كما في المعادلة (39).

$$(42) \quad E_i = 100 \log_{10} X_i \quad \text{dB}(1 \mu\text{V/m})$$

على أساس

$$X_i = X_s + \frac{D - 7000}{2000} (X_l - X_s)$$

$$X_s = 10^{0,01E_s}$$

حيث:

$$X_l = 10^{0,01E_l}$$

و

ويساوي التردد MUF الأساسي للمسير أصغر قيم MUF الأساسية حسب المعادلة (3) من أجل نقطتي التحكم المشار إليهما في الجدول (أ1).

6 القدرة المتوسطة المتيسرة عند المستقبل

بالنسبة إلى مدى المسافات حتى 7 000 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 $\mu\text{V/m}$)) 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:

$$(43) \quad P_{rw} = E_w + G_{rw} - 20 \log_{10} f - 107,2 \quad \text{dBW}$$

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:

$$(44) \quad P_r = 10 \log_{10} \sum_{w=1}^N 10^{P_{rw}/10} \quad \text{dBW}$$

أما بالنسبة إلى مسافات تفوق 9 000 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 (43) حيث G_{rw} هي أكبر قيمة لكسب هوائي الاستقبال عند السمتم المطلوب في مدى الارتفاع بين 0° إلى 8° .

وتحدد القدرة، في المدى المتوسط 7 000 إلى 9 000 km من المعادلة (42) بواسطة القدرتين المقابلتين لقيمتي E_s و E_l .

الجزء 3

التنبؤ بأداء النظام

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

تعطي التوصية ITU-R P.372 قيمةً 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 ثابت 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:

$$(45) \quad S/N = P_r - F_a - 10 \log_{10} b + 204$$

حيث:

P_r : هي القدرة المتوسطة المتيسرة في المستقبل والمحددة في الفقرة 6 أعلاه.

8 شدة المجال الأيونوسفيري وقدرة الإشارة المستقبلية 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 الانحرافات الإشارة والضوضاء خلال ساعة واحدة ومن يوم إلى آخر. وفي غياب بيانات أخرى يمكن اعتماد النسب المسموح بها لحبو الإشارة هي النسب التي تبناها المؤتمر WARC HFBC-87 مع انحراف قصير للأجل للعشرية العليا بقيمة 5 dB وانحراف للعشرية الدنيا بقيمة 8 dB. أما بالنسبة إلى خبو الإشارة طويل الأجل فتؤخذ الانحرافات 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 أي نسبة يسمح بها للتغير في خلال الساعة الواحدة. وتؤخذ الانحرافات العشرية للضوضاء الاصطناعية في غياب المعلومات المباشرة عن التغيرات الزمنية على النحو المحدد للانحرافات العشرية في التوصية ITU-R P.372 على الرغم من أنها تتعلق حصراً بتركيبية من احتمالات التغير في المكان والزمان.

وتعتبر التغيرات المركبة للقيمة العشرية للضوضاء المحرّبة 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:

$$(46) \quad S/N_{90} = S/N_{50} - (S_{wh}^2 + S_{dd}^2 + N_{dd}^2)^{1/2}$$

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 التغيرات اليومية (dB)

N_{dd} : أعلى انحراف عشري للضوضاء الخلفية لمتوسط شدة المجال في الشهر الواحد الناتج من التغيرات 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 المشكّلة التماثلية

تعرف 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 المشكّلة رقمياً مع مراعاة تمديد الوقت والتردد للإشارة المستقبلية

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 المستقبلية في الأنظمة المشكّلة رقمياً.

1.2.10 معلمات النظام

- يستخدم التمثيل المبسّط 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 يُحدّ تجاوزه من هذا الأداء.
- نافذة التردد، F_w : وهي فاصل التردد الذي تعمل أساليب الإشارة ضمنه على تحقيق أداء النظام والذي يحدّ 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 و F_w .
- نسبة الانتعاش، 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 الانتعاش، A ، هي نسبة شدة مجال الأسلوب الفرعي إلى الأسلوب المهيمن، والتي قد تؤثر على أداء النظام إذا ما تراكمت مع تأخير انتشار يفوق T_w وتمديد تردد أعلى من F_w .

2.2.10 وقت الانتشار

يُحسب وقت الانتشار لأسلوب ما بالمعادلة التالية:

$$\tau = (p'/c) \times 10^3 \quad \text{ms} \quad (47)$$

حيث:

p' : مسافة مائلة افتراضية (km) تعطى في المعادلتين (13) و(19) وارتفاع الانعكاس h_r ، محدد في الفقرة 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 $9\ 000\text{ km}$:

الخطوة 1: تتحدد شدة المجال للأسلوب المهيمن، E_{w} باتباع الطريقة الواردة في الفقرتين 2.5 و 3.5.

الخطوة 2: يتم تحديد جميع الأساليب النشيطة الأخرى التي يتم فيها تجاوز شدة المجال $(E_{\text{w}} - A)$ ((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 $7\ 000\text{ km}$ ، يتم جمع قدرة الأساليب الواصلة في النافذة، أو يستخدم إجراء الاستكمال الداخلي الوارد في الفقرة 4.5 فيما يتعلق بالمسيرات التي يتراوح طولها بين $7\ 000$ و $9\ 000\text{ km}$ ، 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 أعلاه أوقات انتشار تفاضلي تتجاوز نافذة الوقت، T_{w} ، فإن نقص الاعتمادية الناجم عن هذه الأساليب يتحدد باستخدام طريقة ماثلة لتلك الخاصة باعتمادية الدارة الإجمالية الواردة في الجدول 3 من التوصية ITU-R P.842، والتي تستعوض عن نسب الحماية النسبية الواردة في الخطوة 3 من الجدول 3 بالنسبة A وتتجاهل عامل التعيير من يوم إلى يوم بإعطاء جميع معلمات الخطوتين 5 و 8 القيمة 0 dB . والنتائج المتحصل عليها من الخطوة 14 بالتوصية ITU-R P.842 هي اعتمادية الدارة الرقمية، DCR، في غياب الانتشار. وبالتالي، فإن انحطاط الاعتمادية الناجم عن تداخل الأساليب المتعددة، MIR ، هو نسبة القيم المتحصل عليها من الخطوات من 1 إلى 13 من الجدول 3 بالتوصية ITU-R P.842، أي أن $\text{DCR} \text{ تساوي } \% (MIR/100) \times (BCR)$.

ويلاحظ أنه قد يكون من الضروري إعادة النظر في قيم الانحرافات العشرية الواردة في الخطوتين 6 و 9 من الجدول 3 إذ إن توزيع الاحتمالات قد يختلف باختلاف الأساليب.

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

المسيرات التي يفوق طولها عن $9\ 000\text{ km}$

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

3.10 الانتشار الاستوائي

بالإضافة إلى الإجراء المتخذ في الفقرة 2.10 أعلاه، ينبغي القيام بالخطوات التالية من أجل حساب التمديد الناجم عن الانتشار والذي يستدعي نموذج الانتشار الاستوائي الوارد في المرفق 1:

الخطوة 7: إذا انطوى المسير على تمديد وقت مرده الانتشار في الأوقات والمناطق الجغرافية المحددة في المرفق 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 المرفق 1 التمديد المحتمل في التردد الناجم عن الانتشار ودالة الانتشار الترددي هذه، $p_{Fspread}$ ، تطبق في الأوقات وفي المناطق الجغرافية المحددة في المرفق 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 $(A - E_w)$ ، فإن احتمال حدوث انتشار ينبغي تحديده عند نقاط التحكم الخاصة بأساليب المنطقة F على النحو الوارد في الفقرة 3 من المرفق 1. وعند مراعاة أكثر من نقطة تحكم واحدة لأسلوب انتشار ما، يؤخذ الاحتمال الأكبر.

الخطوة 10: تعطى اعتمادية الدارة الرقمية في الدالة التالية:

$$(48) \quad DCR = ((BCR) \times (MIR) \times (1 - prob_{occ})/100)\%$$

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

المرفق 1 للملحق 1

نموذج الانتشار الاستوائي لإشارات الموجات الديكامترية (HF)

1 يعطى نموذج الانتشار الزمني للقدرة المتيسرة 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 المستقبلية من الانعكاس المرآوي للأسلوب

τ : التأخير الزمني المعني

τ_m : التأخير الزمني في الأسلوب المرآوي

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

2 الانتشار في تمديد التردد متناظر حول التردد المرسل وشكل تغيره 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 المرسل

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:

$$\begin{aligned} F_{\lambda_d} &= 1 && \text{for } 0^\circ < |\lambda_d| < 15^\circ \\ F_{\lambda_d} &= \left(\frac{25 - |\lambda_d|}{10} \right)^2 \left(\frac{|\lambda_d| - 10}{5} \right) && \text{for } 15^\circ < |\lambda_d| < 25^\circ \\ F_{\lambda_d} &= 0 && \text{for } 25^\circ < |\lambda_d| < 90^\circ \end{aligned}$$

حيث λ_d هو الميل المغنطيسي

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

حيث:

$$\begin{aligned} T_l &: \text{التوقيت المحلي عند نقطة المراقبة مقدراً بالساعات؛} \\ F_R &= (0,1 + 0,008R_{12}) \text{ أو } 1 \text{ أيهما أصغر، و } R_{12} \text{ هو الكلف الشمسي} \end{aligned}$$

و

$$F_S = 0,55 + 0,45 \sin(60^\circ (m - 1,5))$$

حيث m هو رقم الشهر.

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