**السلسلة P**

**انتشار الموجات الراديوية**

**طريقة تنبؤ بالانتشار من أجل الخدمات المتنقلة للطيران وخدمات الملاحة الراديوية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) والموجات السنتيمترية (SHF)**

**التوصيـة ITU-R  P.528-4  
(2019/08)**

**تمهيـد**

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU‑T/ITU‑R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU‑R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني [http://www.itu.int/ITU‑R/go/patents/en](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** | **العنـوان** |
| **BO** البث الساتلي | |
| **BR** التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية | |
| **BS** الخدمة الإذاعية (الصوتية) | |
| **BT** الخدمة الإذاعية (التلفزيونية) | |
| **F** الخدمة الثابتة | |
| **M** الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة | |
| **P انتشار الموجات الراديوية** | |
| **RA** علم الفلك الراديوي | |
| **RS** أنظمة الاستشعار عن بُعد | |
| **S** الخدمة الثابتة الساتلية | |
| **SA** التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية | |
| **SF** تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة | |
| **SM** إدارة الطيف | |
| **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، 2020

© ITU 2020

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذا المنشور بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصيـة ITU-R P.528-4[[1]](#footnote-1)\*

طريقة تنبؤ بالانتشار من أجل الخدمات المتنقلة للطيران وخدمات الملاحة الراديوية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) والموجات السنتيمترية (SHF)

(المسألة ITU-R 203/3)

 (2019-2012-1986-1982-1978)

مجال التطبيق

تحتوي هذه التوصية على طريقة للتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية في مدى التردد GHz 15,5-MHz 125 لخدمات الطيران والخدمات الساتلية. وهي تقدم طريقة خطوة بخطوة لحساب خسارة الإرسال الأساسية. ولا تلزم بيانات لهذه الطريقة سوى المسافة بين الهوائيات ومرتفعات الهوائيات فوق متوسط مستوى سطح البحر والتردد، والنسبة المئوية من الوقت.

كما تعطي هذه التوصية أيضاً الحسابات لنسبة الحماية المتوقعة أو نسبة تجاوز الإشارة المطلوبة إلى غير المطلوبة في جهاز الاستقبال لمدة لا تقل عن %95 من الوقت، *R* (0,95). ويتطلب هذا الحساب البيانات الإضافية التالية للإشارات المطلوبة وغير المطلوبة على حد سواء: القدرة المرسَلة، وكسب هوائي الإرسال، وكسب هوائي الاستقبال.

إن جمعية الاتصالات الراديوية بالاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

*أ )* أن هناك احتياجاً لإرشاد المهندسين في تخطيط خدمات الراديو في نطاقات الموجات المترية والديسيمترية والسنتيمترية؛

*ب)* أن نموذج الانتشار الوارد في الملحق 2 مبني على قدر كبير من البيانات التجريبية (انظر الملحق 1)؛

*ج )* أن خدمات الاتصال للطيران توفر غالباً وظيفة سلامة الحياة، وعليه تتطلب نمطاً من التيسر أعلى من كثير من الخدمات الأخرى؛

*د )* يجب استخدام تيسرية من الوقت قدرها 0,95 للحصول على خدمة أكثر اعتمادية،

توصي

**1** باستعمال البرمجية المتكاملة الواردة في هذه التوصية لتحديد قيم ومنحنيات خسارة الإرسال الأساسية لارتفاعات المطاريف والترددات والنسب المئوية من الوقت المحتمل أن تصادف في خدمات الطيران؛

**2** أن يُنظر إلى الملاحظتين التاليتين على أنهما جزء من هذه التوصية.

**الملاحظـة 1** - ينبغي التشديد على أن القيم المتولدة مبنية على بيانات حاصلة أساساً لمناخ قاري معتدل.

**الملاحظـة 2** - تعطي الطريقة خسارة الإرسال الأساسية، أي الخسارة بين هوائيين مثاليين متناحيين خاليين من الخسارة. حيث خُفف انعكاس السطح المتعدد المسيرات في المحطة الأرضية أو المرفق بواسطة أثقال موازنة، وإلا ينبغي أن يتضمن التحليل مخطط إشعاع رأسي اتجاهي يناسب مخطط إشعاع الهوائي.

الملحق 1  
  
إعداد النموذج وتطبيقه

لقد تم تطوير طرائق التنبؤ بخسارة الإرسال بحيث تحدد خسارة الإرسال الأساسية لنسب مئوية من الوقت تتراوح بين %1 و%99 لارتفاعات الهوائيات الممكن تطبيقها على خدمات الطيران. هذه الطرائق مبنية على قدر كبير من البيانات التجريبية، وقد أجريت مقارنات موسعة بين التنبؤ والبيانات، [1979. وعند إجراء هذه الحسابات، استخدمت أرض ملساء (معلمة التضاريس 0 = *Δh*) بعامل نصف القطر الفعال للكرة الأرضية 4/3 = *k* (انكسارية السطح 301 = *NS*) مع تعويض الانحناء المزيد للأشعة المصاحب للنموذج حيث 4/3 = *k* عند الارتفاعات العالية. كذلك استخدمت ثوابت للاستقطاب الأفقي على الأرض الوسطية والهوائيات المتناحية وإحصائيات عن خبو القدرة على المدى الطويل للأجواء القارية المعتدلة. وبالرغم من أن هذه المعلمات يمكن اعتبارها إما معقولة أو تصف أسوأ حال للكثير من الاستخدامات، فإنه ينبغي استخدام القيم المحسوبة بحذر إذا ما اختلفت الظروف كثيراً عن تلك المفترضة.

وباستثناء المنطقة "المجاورة" للأفق الراديوي، حصل على متوسط الخسارة للإرسال الأساسي للمسيرات داخل الأفق بإضافة التوهين بسبب الامتصاص في الغلاف الجوي (ديسيبل) إلى خسارة الإرسال المناظر لأحوال الفضاء الحر. أما داخل المنطقة المجاورة للأفق فقد حسبت قيم خسارة الإرسال باستخدام قواعد الهندسة الضوئية، ليدخل في الحساب تأثير التداخل بين الشعاع المباشر وشعاع منعكس من على سطح الأرض.

لم يقتصر استخدام نموذج التداخل بين شعاعين على المنطقة القريبة من الأفق فقط، حيث إن بنية الفصوص الحاصلة منه للمسيرات القصيرة تعتمد بدرجة عالية على خصائص السطح (الخشونة بالإضافة للثوابت الكهربائية) والأحوال الجوية (يتغير نصف القطر الفعال للكرة الأرضية مع الوقت) وخصائص الهوائي (الاستقطاب والتوجيه ومخطط الكسب). مثل تلك المنحنيات غالباً ما تكون مضللة أكثر مما هي مفيدة، أي أن البنية التفصيلية للفصوص تعتمد كثيراً على معلمات يصعب تحديدها بدقة كافية. مع ذلك، فقد أعطيت بنية الفصوص اعتباراً إحصائياً في حساب التغيرية.

ولأوقات التيسر غير 0,50 لا تزيد دائماً قيم خسارة الإرسال الأساسية *Lb* التي يولدها المستعمل مع المسافة. ويحدث هذا لأن الاختلافات في التغيرية مع المسافة يمكن أن تزيد أحياناً على اختلافات السوية الوسطية. وتحتوي التغيرية على مشاركات من خبو القدرة الوسطى الساعية والخبو على المدى الطويل ومن خبو تداخل الطور أثناء الساعة أو على المدى القصير. ويشمل الخبو القصير المدى الانعكاس السطحي وتعدد المسيرات التروبوسفيرية.

ويمكن استخدام قيم خسارة الإرسال الأساسية *Lb*(0,05) لتقدير قيم *Lb* لإشارة متداخلة غير مطلوبة يتم تجاوزها خلال %95 (%100‑%5) من الوقت. أما ظروف الانتشار الوسطى (%50) فيمكن تقديرها من قيم *Lb*(0,50). أما قيم *Lb*(0,95) فيمكن استخدامها لتقدير حد مدى الخدمة لإشارة مطلوبة، تكون الخدمة متيسرة عندها لنسبة %95 من الوقت في غياب التداخل.

ويمكن تقدير نسبة الحماية المتوقعة أو نسبة الإشارة المطلوبة إلى غير المطلوبة التي يتم تجاوزها عند المستقبل لنسبة %95 من الوقت على الأقل *R*(0,95) كالتالي:

(1) *R*(0.95)  *R*(0.50)  *YR*(0.95)

(2) *R*(0.50)  [*Pt*  *Gt*  *Gr* – *Lb*(0.50)]*Wanted* – [*Pt*  *Gt*  *Gr* – *Lb*(0.50)]*Unwanted*

و:

(3) *YR*  –

وفي المعادلة (2)، *Pt* هي القدرة المرسلة، و*Gt* و*Gr* هما كسبا الهوائيين المتناحيين للإرسال والاستقبال معبراً عنهما بالديسيبل (dB).

ويمكن ضم تغييرات إضافية إلى المعادلة (3)، لمثل كسب الهوائي إذا أمكن تحديد التغيرات لها. إن استمرارية الخدمة (%100) من الوقت أو الاستفادة من قنوات في آن واحد، مضمن في صياغة المقدار *R*(0,95) الوارد أعلاه بحيث يمكن دراسة تأثير التشغيل المتقطع للمرسل على حدة.

ترد البرمجية المتكاملة لحساب قيم ومنحنيات خسارة الإرسال الأساسية في الملف المضغوط الإضافي R-REC-P.528-4-201908-P1 مع الوثائق. وإلى جانب ذلك، توجد قيم مختارة في جدول لخسارة الإرسال الأساسية في الملف المضغوط الإضافي R‑REC‑P.528‑4‑201908‑P2.

الملحق 2  
  
طريقة الخطوة بخطوة

يستخدم هذا الملحق اصطلاحات بحيث إن المتغيرات التي تصف المطراف المنخفض ستُمثل بالرمز “1” أسفل الحرف (أي أن ارتفاع المطراف المنخفض يكون *hr1*) بينما ستُمثل المتغيرات الخاصة بالمطراف المرتفع بالرمز “2” أسفل الحرف (أي أن ارتفاع المطراف المرتفع يكون *hr2*).

# 1 مقدمة

يصف هذا الملحق طريقة خطوة بخطوة لحساب خسارة الإرسال الأساسية لمسير محدد من قبل المستعمل، يعرف بما يلي:

- ارتفاعا المطرافين *hr*1 و*hr*2 بوحدات km فوق متوسط مستوى سطح البحر، حيث 0,99 ≥ *hr*1,2 ≥ 0,0015 (m 1,5 إلى m 20 000)

- التردد، *f*، بوحدات MHz، حيث MHz 15 500 ≥ *f* ≥ 125

- النسبة المئوية من الوقت، *q*، حيث 0,99 ≥ *q* ≥ 0,01

- مسافة المسير، *d*، بوحدات km.

# 2 افتراضات وتعاريف واصطلاحات

تفترض التوصية ITU-R P.528 القيم التالية:

: انكسارية السطح بالوحدات N. تضبط على القيمة 301 وحدة N

: نصف القطر الفعلي للأرض. يضبط على km 6 370

: نصف القطر الفعلي للأرض. يضبط على km 8 493 (تقابل هذه القيمة انكسارية لسطح الأرض قيمتها 301 وحدة N)

: ثابت العزل النسبي. يضبط على 15 (يقابل أرضاً متوسطة)

: الإيصالية. تضبط على S/m 0,005 (تقابل أرضاً متوسطة)

وإضافة إلى ذلك، يفترض أن يكون استقطاب هوائيات المطاريف أفقياً.

# 3 طريقة الخطوة خطوة

*الخطوة 1*: تحسب المعلمات الهندسية الخاصة بكل مطراف. ويستلزم ذلك استخدام الخطوات الواردة في الفقرة 4 لكل من المطراف المنخفض والمطراف العالي. وبعد الانتهاء من ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 2. وتستخدم الفقرة 4 كالتالي:

بافتراض:

: الارتفاع الحقيقي للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر (معلمة يقوم المستعمل بإدخالها) بالكيلومتر؛

تحسب:

: طول القوس لمسافة أفق الأرض المستوية، بالكيلومتر.

: زاوية سقوط الشعاع الساقط من المطراف على مسافة أفق الأرض المستوية، بالتقويم الدائري.

: الاتفاع المعدل للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر الذي سيستخدم في الحسابات اللاحقة، بالكيلومتر.

: حد تصحيح ارتفاع المطراف، بالكيلومتر.

*الخطوة 2*: تحدد مسافة خط البصر القصوى، ، بين المطرفين.

(4)      (km)

*الخطوة 3*: ينمذج انعراج الأرض المستوية خطياً في التوصية ITU-R P.528. ويتم ذلك باختيار مسافتين أبعد كثيراً من ، وتحسب خسارة انعراج الأرض المستوية عند هاتين المسافتين ويكون خط لانعراج الأرض المستوية يمر بهاتين النقطتين.

*الخطوة 1.3*: تحسب المسافتين و اللتان تبعدان كثيراً عن مسافة خط البصر القصوى، ، من المعادلة (4) أعلاه.

(5)      (km)

(6)      (km)

*الخطوة 2.3*: تحسب خسارتا الانعراج و عند المسافتين المقابلتين و. وسيتطلب ذلك استعمال الفقرة 6 مرتين - مرة لكل مسافة مسير، . وبعد الحساب يتم الانتقال إلى الخطوة 3.3. وتستخدم الطريقة الوارد في الفقرة 6 كالتالي:

حيث:

: مسافة المسير المعنية، ، حسب المطلوب للفقرة 10، بالكيلومتر

: طولا القوسين إلى مسافة أفق الأرض المستوية للمطرفين، و، بالكيلومتر على نحو ما تحدد في الخطوة 1 أعلاه.

: التردد، بوحدات MHz.

تحسب:

: خسارة انعراج الأرض المستوية، ، بوحدات dB، المقابلة للمسافة .

ا*لخطوة 3.3*: يرسم خط انعراج الأرض المستوية من المسافتين و، وخسارة الانعراج الخاصة بهما، ، ، بحساب الميل، والقاطع .

(7)      (dB/km)

(8)      (dB)

*الخطوة 4.3*: تحسب خسارة الانعراج عند المسافة والمسافة ، بالكيلومتر، والتي يعطي عندها خط الانعراج قمية خسارة متنبأ بها تساوي dB 0.

(9)      (dB/km)

(10)      (km)

*الخطوة 4*: يحدد ما إذا كان مسير الانتشار في منطقة خط البصر أو عابراً للأفق بالنسبة للمسافة المطلوبة . فإذا كانت ؛ فإن المسير يكون في منطقة خط البصر ويتم الانتقال إلى الخطوة 5. وخلاف ذلك، يكون المسير عابراً للأفق ويتم الانتقال إلى الخطوة 6.

*الخطوة 5*: يتم الرجوع إلى الفقرة 5 من أجل حسابات منطقة خط البصر.

*الخطوة 6*: في منطقة المسير العابر للأفق ، فإنه مع زيادة المسافة، يبدأ مسير الانتشار بانعراج الأرض المستوية وينتقل إلى الانتثار التروبوسفيري. وفيزيائياً، يتعين أن تكون نماذج انعراج الأرض المستوية والانتقال إلى الانتثال التروبوسفيري متسقة عند نقطة الانتقال. ويستوجب الاتساق الفيزيائي عدم وجود انقطاع (عدم استمرارية) عند نقطة الانتقال. وتضمن العملية المتكررة التالية أن الانتقال بين النموذجين يحدث بدون انقطاع.

*الخطوة 1.6*: دعنا نفترض أن المسافتين و هما المسافتان المتكررتان للاختبار وتكون قيمتها الابتدائية:

(11)      (km)

(12)      (km)

*الخطوة 2.6*: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري و عند المسافتين و على التوالي. تستخدم الفقرة 7 كالتالي:

بحيث تكون:

: تمثل مسافة المسير المطلوبة و، بالكيلومتر.

: طول القوس إلى مسافة أفق الأرض المستوية للمطاريفن بالكيلومتر.

: التردد بوحدات MHz.

: الارتفاع المعدل للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر المستخدم في الحسابات اللاحقة، بالكيلومتر.

وتحسب:

: خسارة الانتثار التروبوسفيري، ، بوحدات dB.

*الخطوة 3.6*: يحسب الميل، ، للخط الذي يضم نقطتي الانتثار التروبوسفيري و من الخطوة 2.6. وهذا الخط متماس تقريباً مع خسارة الانتثار التروبوسفيري عند المسافة :

(13)      (dB/km)

*الخطوة 4.6*: قارن بين الميل وميل خط الانعراج، ، من المعادلة (7). فإذا كان ، تزاد المسافتان و بمقدار km 1 وتتم العودة إلى الخطوة 2.6 لمواصلة التكرار. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 5.6.

*الخطوة 5.6*: عندما تكون ، فإن المسافة تمثل المسافة التقريبية بحيث تكون:

الحالة 1: يتوقع أن تكون فيها خسارة انعراج الأرض المستوية أقل من الخسارة الناتجة عن الانتثار التروبوسفيري مع ضمان أن يقطع نموذج الانعراج نموذج الانتثار التروبوسفيري عند مسافة أكبر من أو تساوي تقريباً. وخسارة الانتشار في المنطقة العابرة للأفق تكون متسقة فيزيائياً.

الحالة 2: يوازي خط الانعراج المماس لنموذج الانتثار التروبوسفيري. وبالتالي، قد لا تكون خسارة الانتشار في المنطقة العابرة للأفق متسقة فيزيائياً، أي هناك احتمال لوجود عدم استمرارية.

ولتحديد أي من الحالتين أعلاه هي الحقيقة، تحسب خسارة الانعراج عن المسافة .

(14)      (dB)

إذا كانت ، تكون الحالة 1 في الخطوة 5.6 هي الحقيقة وتنتقل الحسابات إلى الخطوة 7. وخلاف ذلك، ينبغي ضبط ميل خط الانعراج على نقطة التماس ، بما يضمن الاتساق الفيزيائي. ويجرى الضبط إحدى نهايتي خط الانعراج عند النقطة والنهاية الأخرى عند ، ثم يعاد حساب خط انعراج الأرض المستوية الجديد.

(15)      (dB/km)

(16)      (dB)

وعند هذه النقطة، تكون المنطقة العابرة للأفق متسقة فيزيائياً. ويتم الانتقال إلى الخطوة 7.

*الخطوة 7*: تحسب ، الخسارة غير المحتملة بخسارة الفضاء الحر والامتصاص الجوي. وتحدد هذه الخسارة استناداً إلى نماذج الانعراج والانتثار التروبوسفيري، بما في ذلك التعديلات التي أجريت في الخطوة 6.

*الخطوة 1.7*: تحسب خسارة انعراج الأرض المستوية المتنبأ بها، ، لمسافة المسير .

(17)      (dB)

*الخطوة 2.7*: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري، ، لمسافة المسير . وتستعمل الفقرة 7 كالتالي:

حيث:

: مسافة المسير المعنية، بالكيلومتر.

: طول القوس لمسافة أفق الأرض المستوية للمطرافين، بالكيلومتر.

: التردد بوحدات MHz.

: الارتفاع المعدل للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر المستخدم في الحسابات اللاحقة، للكيلومتر.

تحسب:

: خسارة الانتثار التروبوسفيري بوحدات dB.

: ارتفاع الحجم المشترك، بالكيلومتر.

: مسافة الانتثار، بالكيلومتر.

: نصف مسافة الانتثار، بالكيلومتر.

: زاوية العبور

*الخطوة 3.7*: تختار قيمة الخسارة تبعاً لما يلي:

إذا كانت (حيث تنشأ من التكرار النهائي في الخطوة 6)، فإنه:

(18)      (dB)

وخلاف ذلك، فتبعاً لأي من الحالتين 1 أو 2 هي الحالة الحقيقية في الخطوة 5.6:

(19)      (dB)

*الخطوة 8*: تحسب خسارة الفضاء الحر، ، بوحدات dB للمسير:

(20)      (km)

(21)      (km)

(22)      (dB)

*الخطوة 9*: تحسب خسارة الامتصاص الجوي، ، لمسير عابر للأفق باستخدام الفقرة 13. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 10. وتستخدم الطريقة الواردة في الفقرة 13 كالتالي:

حيث:

: ارتفاعا المطرافين، بالكيلومتر

: مسافتا الأفق للمطرافين، بالكيلومتر

: الزاوية الأولية للشعاع التماسي للمطراف، بالتقويم الدائري

: التردد، بوحدات MHz

: ارتفاع الحجم المشترك، بالكيلومتر، من الخطوة 2.7

: زاوية العبور، من الخطوة 2.7

: نصف مسافة الانتثار، بالكيلومترن من الخطوة 2.7

تحسب:

: خسارة الامتصاص الجوي، بوحدات dB

*الخطوة 10*: تحسب خسارة التغاير طويل الأجل لوحدة التقسيم الزمني . وتستخدم الفقرة 10، ثم يتم الانتقال إلى الخطوة 11.

حيث:

: الارتفاعان الفعليان للمطرافين، بالكيلومتر

: مسافة المسير المعنية، بالكيلومتر

: التردد، بوحدات MHz

: النسبة المئوية للوقت

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 11*: تحسب خسارة الإرسال الأساسية، ، بوحدات dB.

(23)      (dB)

وهنا، ينتهي الإجراء خطوة خطوة للمعلمات المحددة كمدخلات من المستعمل.

# 4 هندسة المطاريف

تحسب في هذا القسم المعلمات الهندسية التالية المرتبطة بأي مطراف.

حيث:

: الارتفاع الحقيقي للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر

تحسب:

: طول القوس لمسافة أفق الأرض المستوية، بالكيلومتر

: زاوية السقوط للشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية، بالتقويم الدائري

: الارتفاع المعدل للمطراف فوق متوسطة مستوى سطح البحر المستخدم في الحسابات اللاحقة، بالكيلومتر

: حد تصحيح ارتفاع المطراف، بالكيلومتر

وكما تحدد سابقاً، فإن نصف القطر الفعلي للأرض، ، يساوي km 8 493.

*الخطوة 1*: يستخدم تتبع الشعاع، على النحو المحدد في الفقرة 5، لتحديد ما يلي:

حيث:

: الارتفاع الحقيقي للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر (من البيانات التي يدخلها المستعمل)، بالكيلومتر

: انكسارية السطح بقيمة 301 وحدة N

تحسب:

: مسافة القوس الحقيقية (الأفق الحقيقي للأرض المستوية)، بالكيلومتر

: زاوية سقوط الشعاع على المطراف، بالتقويم الدائري

*الخطوة 2*: بحسب الارتفاع الفعلي للمطراف، ، بالكيلومتر، باستخدام تقريب صغير للزاوية، إذا استدعى الأمر.

(24)      (rad)

(25)      (km)

*الخطوة 3*: عندما يكون الارتفاع الفعلي، ، أكبر من الاتفاع الحقيقي ، فإن تأثير انحناء الشعاع يمكن الإفراط في تقديره. وبالتالي، تتم مقارنة الارتفاع بالارتفاع لتحديد قيم و و التي يتعين استخدامها لتحديد المعلمات الهندسية للمطراف.

(26)      (km)

(27)      (km)

(28)      (rad)

*الخطوة 4: يحسب حد تصحيح ارتفاع المطراف، .*

(29)      (km)

*الخطوة 5*: إذا كانت km 0 = ، تجرى التعديلات التالية على كل من و:

(30)      (rad)

(31)      (km)

*وهنا ينتهي القسم الخاص بحساب هندسة المطاريف*

# 5 تتبع الشعاع

تنحني الموجات الراديوية التي تسافر في الغلاف الجوي نتيجة للتغيرات في الانكسارية الجوية. وفي النماذج الأرضية التقليدية، يراعي ذلك عادة من أجل استخدام طريقة المعيار "4/3 Earth"، التي تنمذج الانكسارية الجوية الحيطة وهي تقريب صالح للمسيرات القريبة من السطح. ومع ذلك، يعد التدرج الجوي الفعلي أسياً في طبعه ومن شأن استخدام نموذج خطى في مسيرات الانتشار من الجو إلى الأرض أن يتسبب في أخطاء كبيرة.

وتستخدم التوصية ITU-R P.528 تقنيات تتبع الأشعة لحساب مسير شعاع عبر الغلاف الجوي. وينمذج الغلاف الجوي كمجموعة من الطبقات الجوية متحدة المركز مع انخفاض أسي في الانكسارية. وتطبق استخدامات قانون Snell في بيئة كروية، على النحو المبين في المعادلة (32)، بعد ذلك لتتبع الشعاع.

(32)

ويعرض الشكل 1 الهندسة العامة لشعاع يمر عبر طبقة وحيدة من الغلاف الجوي.

الشكل 1

هندسة تتبع شعاع عبر طبقة من الغلاف الجوي



شعاع راديوي

بالنسبة للنموذج الجوي، تستخدم التوصية ITU-R P.528 الغلاف الجوي المرجعي المكون من 25 طبقة المبين في الجدول 1. والأشعة فوق km 475 يفترض أن تسافر خطوط مستقيمة.

الجـدول 1

تفاصيل الطبقات المرجعية للغلاف الجوي البالغ عددها 25 طبقة

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| الطبقة، | الارتفاع (AGL)، | الطبقة، | الارتفاع (AGL)، | الطبقة، | الارتفاع (AGL)، |
| 0 | km 0 | 9 | km 1,00 | 18 | km 50,00 |
| 1 | km 0,01 | 10 | km 1,524 | 19 | km 70,00 |
| 2 | km 0,02 | 11 | km 2,00 | 20 | km 90,00 |
| 3 | km 0,05 | 12 | km 3,048 | 21 | km 110,00 |
| 4 | km 0,10 | 13 | km 5,00 | 22 | km 225,00 |
| 5 | km 0,20 | 14 | km 7,00 | 23 | km 350,00 |
| 6 | km 0,305 | 15 | km 10,00 | 24 | km 475,00 |
| 7 | km 0,50 | 16 | km 20,00 |  |  |
| 8 | km 0,70 | 17 | km 30,48 |  |  |

وحيث:

: الارتفاع الحقيقي للمطراف فوق مستوى سطح الأرض، بالكيلومتر

: انكسارية السطح، بالوحدات N

تحسب:

: طول القوس لمسافة أفق الأرض المستوية، بالكيلومتر

: زاوية سقوط الشعاع التماسي عند المطراف، بالتقويم الدائري

وكما تحدد سابقاً، يبلغ نصف القطر الفعلي للأرض، ، من القيمة km 6 370.

*الخطوة 1*: يحسب عامل التغير، :

(33)

*الخطوة 2*: يحسب المقدار الثابت، :

(34)

*الخطوة 3*: تتبع الشعاع عبر الغلاف الجوية عملية متكررة، تبدأ عند سطح الأرض وتتبع صعوداً عبر كل طبقة جوية إلى أن يتم الوصول إلى ارتفاع المطراف ويتم تكرار الخطوات الفرعية التالية إلى أن يتم تتبع الشعاع حتى الارتفاع *hr*. ويشير استخدام الرمزين الفرعيين *i* و*i+*1 إلى الحدان السفلي والعلوي الطبقة الجوية للتكرار الحالي، على التوالي، كما هو موضح في الشكل 1. وبالنسبة للتكرار الأول (*i =* 0)، يفترض أن بالتقويم الدائري (وهو ما يمثل شعاع تماسي).

*الخطوة 1.3*: تحسب الانكسارية، ، ودليل الانكسار، ، والشعاع من مركز الأرض، ، للطبقة الجوية الحالية:

(35)      (km)

(36)      (N-Units)

(37)

*الخطوة 2.3: إذا كان ، المقابل للمطراف الموجود داخل الطبقة الجوية الحالية، تلحق معلمات تكرار الطبقة الحالية بارتفاع المطراف ويتم حساب الانكسارية ودليل الانكسار مجدداً:*

(38)      (km)

(39)      (N-Units)

(40)

*الخطوة 3.3: تحسب زاوية خروج الشعاع، :*

(41)      (rad)

*الخطوة 4.3: تحسب مساهمة انحناء الطبقة الجوية، :*

(42)

(43)      (rad)

*الخطوة 5.3*: *تكرر الخطوة* 3 *للطبقة الجوية التالية إلى أن ( أ ) يتم الوصول إلى ارتفاع المطراف أو (ب) يهرب الشعاع خارج الغلاف الجوي، أي يعمل إلى ارتفاع يساوي* km 475*.*

*الخطوة 4*: إذا وصل الشعاع إلى ارتفاع km 475 ولم يصل بعد إلى ارتفاع المطراف ، تحسب زاوية السقوط، بتطبيق تكرار أخير لقانون Snell، على أساس أن و و. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 5.

(44)      (rad)

*الخطوة 5*: والأن وبعد تتبع الشعاع من سطح الأرض حتى المطراف، تكون زاوية السقوط، كالتالي:

(45)      (rad)

*الخطوة 6: زاوية الانحناء الكلي، ، عبارة عن مجموع مساهمات انحناء كل طبقة يتم تتبعها:*

(46)      (rad)

*الخطوة 7: تحسب مسافة القوس عبر سطح الأرض الذي يقطعه الشعاع باستخدام الزاوية المركزية .*

(47)      (rad)

(48)      (km)

وبهذه الخطوة ينتهي القسم الخاص بتتبع الشعاع.

# 6 منطقة خط البصر

وصف هذا القسم مجموعة خطوات حساب خسارة الانتشار لمسير على لخط البصر.

وحيث:

: مسافة خط البصر القصوى، بالكيلومتر

: المسافة، بالكيلومتر

: ارتفاعا المطارفين، بالكيلومتر

: مسافتا خط الأفق للمطرافين، بالكيلومتر

: التردد، بوحدات MHz

: خسارة الانعراج عن المسافة ، بوحدات dB

: النسبة المئوية من الوقت المعنية

: مسافة المسير المعنية

تحسب:

: خسارة الإرسال الأساسية، بوحدات dB

: قيمة تستخدم في حسابات التغاير اللاحقة

*الخطوة 1: سحب طول الموجة،* .

(49)

*الخطوة 2*: لا يوجد في الحسابات الخاصة بحساب الخسارة في منطقة خط البصر حل لمعادلة معلقة، وبالتالي يلزم إجراء تكرارات متعددة من أجل الاقتراب من النتيجة السليمة. وللمساعدة في هذه العملية، من المفيد إنشاء جدول من التتابعات ، يمكن الرجوع إليه طوال هذا القسم كوسيلة للاستكمال الداخلي. وفي هذا الجدول، ، هي زاوية انعكاس الشعاع غير المباشر بالتقويم الدائري، و هي الاختلاف في طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، و هي مسافة المسير بين المطرافين. وتوفر الخطوات الفرعية التالية نقاط مفيدة لتوضيح هذا الجدول المرجعي.

*الخطوة 1.2*: يضاف التتابع إلى الجدول، وهو ما يمثل أقصى مدى لمنطقة خط البصر.

*الخطوة 2.2*: تضاف مجموعة من التتابعات تستند إلى أجزاء طول الموجة . نفترض أن هي مجموعة القيم الثابتة . ولكل قيمة ثابتة لا تنتمي إلى ، تحسب الزاوية :

(50)       (rad)

ثم تستخدم طريقة المعلمات البصرية للشعاع المشروحة في القسم 7 لتحديد القيمة والقيمة لزاوية الانعكاس . ويضاف هذا التتابع إلى الجدول. ويتم الانتقال إلى الخطوة 3.2 بعد حساب جميع التتابعات العشرة وإضافتها إلى الجدول. ويستخدم القسم 7 كالتالي:

حيث:

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

: الارتفاعان الفعليان للمطرافين، بالكيلومتر؛

: حدا تصحيح ارتفاعي المطرافينن بالكيلومتر؛

تحسب:

: مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر؛

: المسافة بين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ، بالكيلومتر.

*الخطوة 3.2*: تضاف مجموعة أخرى من التتابعات التي تستند أيضاً إلى أجزاء من طول الموجه . وباستخدام نفس المجموعة المحددة في الخطوة 2.2، تحسب الزاوية لكل قيمة ثابتة تنتمي إلى :

(51)      (rad)

ثم تستخدم طريقة المعلمات البصرية للشعاع المشروحة في القسم 7 لتحديد القيمة والقيمة لزاوية الانعكاس . ويضاف هذا التتابع إلى الجدول. ويتم الانتقال إلى الخطوة 4.2 بعد حساب جميع التتابعات العشرة وإضافتها إلى الجدول. ويستخدم القسم 7 كالتالي:

حيث:

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري

: الارتفاعان الفعليان للمطرافين، بالكيلومتر

: حدا تصحيح ارتفاعي المطرافينن بالكيلومتر

تحسب:

: مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر

: المسافة بين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ، بالكيلومتر

*الخطوة 4.2*: تكون مجموعة من التتابعات على أساس المجموعة التالية ، من زوايا الانعكاس . وبافتراض  
، من الدرجات، تحسب لكل قيمة تنتمي إلى المجموعة ، الزاوية ، بالتقويم الدائري،

(52)      (rad)

ثم تستخدم طريقة المعلمات البصرية للشعاع المشروحة في القسم 7 لتحديد القيمة والقيمة لزاوية الانعكاس . ويضاف هذا التتابع إلى الجدول. ويتم الانتقال إلى الخطوة 5.2 بعد الانتهاء من جميع التتابعات البالغ عددها 24 وإضافتها إلى الجدول. ويستخدم القسم 7 كالتالي:

حيث:

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري.

: الارتفاعان الفعليان للمطرافين، بالكيلومتر

: حدا تصحيح ارتفاعي المطرافينن بالكيلومتر

تحسب:

: مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر

: المسافة بين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ، بالكيلومتر

*الخطوة 5.2*: يضاف التتابع الأخير إلى الجدول.

*الخطوة 3: يستعمل الجدول المنشأ من أجل الاستكمال الداخلي وتحديد المسافة ، وهي المسافة المقابلة للمسافة التي تكون فيها القيمة مساوية للقيمة . وهذه هي المسافة الدنيا التي تراعي فيها التوصية* ITU-R P.528 *تأثيرات التداخل الضار عبر نموذج من شعاعين.*

*الخطوة 4: تحدد الزاوية ، زاوية الانعكاس المقابلة للمسافة باستخدام الجدول المنشأ والاستكمال الداخلي مجدداً.*

*الخطوة 5: يستخدم الجدول المنشأ لتحديد المسافة ، المسافة التي يساوي فيها الفارق في طولي المسيرين بين الموجة المباشرة والموجة المنعكسة من الأمتار.*

*الخطوة 6: تحسب المسافة بالكيلومتر.*

إذا كانت أو ،

(53)      (km)

*وخلاف ذلك، إذا كانت*  و،

(54)      (km)

*الخطوة 7: والقيمة الحالية للمسافة يمكن أن تكون تقريباً غير دقيق لبعض المسيرات. ولتوليفها، تحول المسافة بشكل تكراري إلى زاوية انعكاس باستخدام الجدول وتحسب المعلمات البصرية للشعاع على النحو المحدد في القسم* 7*. وإذا كانت المسافة له الناتجة عن القسم* 7 *تزيد عن أو تساوي المسافة الأصلية ، أو إذا أدت زيادة المسافة بمقدار متر واحد إلى أن تتجاوز المسافة ، تستخدم المسافة الناتجة عن المعلمات البصرية للشعاع كقيمة للمسافة . وخلاف ذلك تتم زيادة المسافة بمقدار متر واحد وتعاد طريقة حساب المعلمات البصرية للشعاع.*

*الخطوة 8: تحسب خسارة خط البصر عند المسافة . ويستخدم الجدول للحصول زاوية الانعكاس المقابلة. ويستخدم بعد ذلك القسم* 7 *لحساب المعلمات البصرية للشعاع للزاوية . وفي نهاية المطاف يستخدم القسم* 8 *لتحديد الخسارة، .*

*الخطوة 9: تحول المسافة المطلوبة إلى زاوية انعكاسها المقابلة باستخدام الجدول. وبعد ذلك، تطبق حسابات المعلمات البصرية للشعاع الخاصة بالقسم* 7*. وفي معظم الحالات، تختلف المسافة الناتجة عن حسابات المعلمات البصرية للشعاع عن المسافة المطلوبة . وهذا أحد مصادر الخطأ في النتيجة النهائية. وللحد من هذا الخطأ، يطبق تعديل طفيف على الزاوية . وأي زيادة في الزاوية ينتج عنها نقص في المسافة الناتجة عن حسابات المعلمات البصرية للشعاع. ويجرى التكرار إلى أن يقع الفارق بين المسافة الناتجة عن حسابات المعلمات البصرية للشعاع والمسافة المطلوبة ضمن مدى الخطأ المقبول. وعموماً، تعتبر القيمة كافية لجميع الحالات. يفترض أن المسافة الناتجة النهائية عن حسابات المعلمات البصرية للشعاع تسمى .*

*الخطوة 10: يستخدم القسم* 8 *لحساب خسارة خط البصر. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة* 11*. ويستخدم القسم* 8 *كالتالي:*

حيث:

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري

: الارتفاعان الفعليان للمطرافين، بالكيلومتر

: حدا تصحيح ارتفاعي المطرافينن بالكيلومتر

تحسب:

: مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر

: المسافة بين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ، بالكيلومتر

*الخطوة 11: تحسب خسارة الامتصاص الجوي للمسير. ويختلف السمك الفعلي لطبقة الامتصاص للأكسجين عن بخار الماء. فبالنسبة للأكسجين، يبلغ السمك الفعلي لطبقة الامتصاص القيمة* km 3,25*. وبالنسبة لبخار الماء، تبلغ هذه القيمة، ، المقدار*km 1,36*.*

*الخطوة 1.11*: يحسب الطولان الفعليان للشعاعين عبر طبقتي امتصاص الأكسجين وبخار الماء للمسير باستخدام الخطوات الموضحة في القسم 8. ويتطلب ذلك تطبيق القسم 8 مرتين. مرة من أجل طبقة امتصاص الأكسجين ومرة من أجل طبقة امتصاص بخار الماء. ويتم بعد ذلك الانتقال إلى الفترة 2.11. ويستخدم القسم 8 كالتالي:

حيث:

: شعاع النقطة الدنيا، بالكيلومتر

: شعاع النقطة العليا، بالكيلومتر

: نصف القطر الفعلي للأرض، بالكيلومتر. يضبط على km 8 493

: مسافة القوس بين النقطتين، بالكيلومتر، من المعادلة (74)

: زاوية انطلاق الشعاع، بالتقويم الدائري، من المعادلة (77)

: سمك طبقة الامتصاص، ، بالكيلومتر حيث للأكسجين  
و لبخار الماء

يحسب:

: الطول الفعلي للشعاع، ، بالكيلومتر. طول الشعاع عبر طبقة امتصاص الأكسجين، ، المقابل للسمك . وطول الشعاع عبر طبقة امتصاص بخار الماء، ، المقابل للسمك .

*الخطوة 2.11*: يحدد معدلا الامتصاص الجوي لكل من الأكسجين، ، وبخار الماء ، بالوحدات dB/Km باستخدام القسم 14، ويتم بعد ذلك الانتقال إلى الخطوة 3.11. ويستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

: التردد، بالوحدات MHz.

يحسب:

: معدل امتصاص الأكسجين، بالوحدات dB/km

: معدل امتصاص بخار الماء، بالوحدات dB/km

*الخطوة 3.11*: تحسب الخسارة الكلية للامتصاص الجوي، ، باستخدام معدلي الامتصاص و من الخطوة 2.11 والطولين الفعليين للشعاعين و من المعادلة (153).

(55)      (dB)

*الخطوة 12*: تحسب خسارة الفضاء الحر، ، بالوحدات dB.

*الخطوة 1.12*: تحسب الزاوية .

(56)      (rad)

*الخطوة 2.12*: يحسب الشعاعان، ، بالكيلومتر

(57)      (km)

*الخطوة 3.12*: يحسب طول الشعاع، ، بالكيلومتر

(58)      (km)

*الخطوة 4.12*: تحسب الخسارة الكلية في الفضاء الحر، ، بالوحدات dB.

(59)      (dB)

(60)      (dB)

*الخطوة 13*: تحسب مساهمة التغاير في الخسارة الكلية. ويستخدم القسم 16 لحساب . ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 14. ويستخدم القسم 16 كالتالي:

حيث:

: الطولان الفعليان للمطرافين، بالكيلومتر

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

: التردد، بالوحدات MHz

: النسبة المئوية للوقت.

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 14*: تحسب خسارة الإرسال الأساسية

(61)      (dB)

وهذه هي نهاية هذا القسم.

# 7 المعلمات البصرية لشعاع خط البصر

يوضح هذا القسم كيفية حساب معلمات المسير الهندسية لمطرافين ضمن مسافة خط البصر لكل منهما باستخدام المعلمات البصرية للشعاع.

والمدخلات في هذا القسم هي:

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري

: الاتفاعان الفعليان للمطرافين، بالكيلومتر

: حد تصحيح ارتفاعي المطرافين، بالكيلومتر.

ومخرجات هذا القسم هي:

: مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر

: المسافة بين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ، بالكيلومتر

*الخطوة 1*: يحسب نصف قطر الأرض المعدل، :

(62)

(63)

(64)      (km)

*الخطوة 2: يحسب حدا تصحيح ارتفاعي المطرافين المعدلين من الأرض،* .

(65)      (km)

*الخطوة 3: يحسب الارتفاعان،* .

(66)      (km)

*الخطوة 4*: *تحسب المعلمات الهندسية للمطرافين،*  و و و.

(67)      (km)

(68)      (rad)

(69)      (km)

(70)      (km)

*الخطوة 5: تحسب ، الفارق في شعاعي المطرافين.*

(71)      (km)

*الخطوة 6*: تحسب مسافة المسيرين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس .

(72)      (km)

*الخطوة 7*: بعد حساب المعلمات الهندسية، يحدد طول الشعاع المباشر، والشعاع غير المباشر، .

(73)      (rad)

(74)      (km)

(75)      (km)

*الخطوة 8*: يحسب الفارق في الطول بين الشعاعين.

(76)      (km)

*الخطوة 9*: تحسب الزاويتان .

(77)      (rad)

(78)      (rad)

وبذلك ينتهي هذا القسم.

# 8 حسابات خسارة خط البصر

يوضح هذا القسم كيفية إجراء حسابات الخسارة لمسير على خط البصر.

حيث:

: المسافة المطلوبة المسير، بالكيلومتر

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري

: مسافة المسير التي تبدأ عندها تأثير الانعراج على منطقة خط البصر، بالكيلومتر

: التردد، بالوحدات MHz

تحسب:

: خسارة خط البصر، بوحدات dB

*الخطوة 1*: إذا كانت مسافة المسير أكبر من ، فإن المسير يقع ضمن منطقة خلط انعراج خط البصر، وتحدد الخسارة باستخدام المعادلة (79). وخلاف ذلك، تكون ، ويتم الانتقال إلى الخطوة 2.

(79)      (dB)

*الخطوة 2*: إذا كانت زاوية الانعكاس ، تحدد الخسارة بالمقدار dB 0 وتتم العودة، حيث أن التوصية ITU‑R P.528 لم تتناول نموذج الشعاعين داخل هذه المنطقة. وخلاف ذلك تكون ، ويتم الانتقال إلى الخطوة 3.

*الخطوة 3*: طول المسير ، على أساس أن التوصية ITU-R P.528 تستخدم نموذج الشعاعين يسب طول الموجه، .

(80)

*الخطوة 4*: يحسب معاملا الانعكاس المركبان و باستخدام القسم 9.

*الخطوة 5*: عامل التباعد ، يأخذ في الاعتبار أن الانعكاس من سطح منحنى مستوى للأرض يكون أقل كفاءة من الأرض غير المنحنية. ويحسب عامل التباعد للمسير.

(81)

*الخطوة 6*: عامل طول الشعاع، ، يأخذ في الاعتبار العوامل الهندسية التي يكون فيها الشعاع المباشر أكبر بكثير (وأقصر) من الشعاع غير المباشر، بحيث يقابل الوضع الذي يكون فيه المطرافان عاليين وقريبين من بعضهما في حالة وجودهما على طائرتين. يحسب العامل :

(82)

*الخطوة 7*: يحسب معاملا الانعكاس الفعليان و.

(83)

(84)

*الخطوة 8*: تحسب الخسارة، .

(85)

(86)

(87)

(88)

وهنا ينتهي هذا القسم.

# 9 معاملات الانعكاس الأرضي

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لحساب معاملات الانعكاس الأرضي.

حيث:

: زاوية الانعكاس، بالتقويم الدائري

: التردد، بوحدات MHz.

يحسب:

: الجزء الحقيقي من معامل الانعكاس

: الجزء التخيلي من معامل الانعكاس.

وباستخدام الافتراضات المذكورة أفقاً للخواص الكهربائية للأرض، و (تقابل مجموعة متوسطة).

*الخطوة 1*: تحسب القيم التالية،

(89)

(90)

(91)

(92)

(93)

(94)

(95)

*الخطوة 2*: يحسب الجزأن الحقيقي والتخيلي لمعامل الانعكاس.

(96)

(97)

وهنا ينتهي هذا القسم.

# 10 انعراج الأرض المستوية

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة في حساب خسارة انعراج الأرض المستوية عند مسافة محددة داخل منطقة الانعراج. ويفترض النموذج "أرضاً متوسطة" بإيصالية تساوي S/m 0,005 وقيمة لثابت العزل النسبي تساوي 15. وتفترض قيمة لعامل نصف قطر الأرض الفعلي، *k*، تساوي 4/3 (تقابل انكسارية للسطح، ، تساوي 300 وحدة N). ويفترض الاستقطاب الأفقي.

حيث:

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

: مسافة خط الأفق للمطرافين، بالكيلومتر

: التردد، بوحدات MHz

تحسب:

: خسارة انعراج الأرض المستوية، بوحدات dB.

ويحسب انعراج الأرض المستوية باستخدام المعادلة (98):

(98)      (dB)

*الخطوة 1*: تحسب المسافات المقيسة

(99)      (km)

*الخطوة 2*: يحسب الحد الذي يعتمد على المسافة لجميع المسافات المقيسة الثلاث.

(100)      (dB)

*الخطوة 3*: يحسب الحد .

(101)      (dB)

*الخطوة 4*: تحسب دالتا الارتفاعين.

إذا كانت :

(102)      (dB)

وإذا كانت :

(103)

(104)      (dB)

وإذا كانت، .

(105)      (dB)

*الخطوة 5*: بعد حساب الدالتين و، تستخدم المعادلة (98) أعلاه لحساب خسارة انعراج الأرض المستوية.

وهذه هي نهاية هذا القسم.

# 11 الانتثار التروبوسفيري

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة في حساب الانتثار التروبوسفيري عند مسافة معينة. ويجرى حساب خسارة الانتثار التروبوسفيري باستخدام تقنيات رياضية تنظر في مسيرات الأشعة المنحنية التي تحيط بالحجم المشترك للمطرافين. ويفترض عامل نصف قطر الأرض *k* الذي يساوي 4/3 (انكسارية السطح وحدة N). ويحسب الانتثار التروبوسفيري باستخدام المعادلة (106) والموضحة أدناه).

(106)      (dB)

حيث:

: طول القوس عبر سطح الأرض المستوية، بالكيلومتر

: ارتفاعاً المطرافين، بالكيلومتر

: التردد، بوحدات MHz

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

تحسب:

: خسارة الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB.

*الخطوة 1*: تحسب مسافة الانتثار، ، بالكيلومتر.

(107)      (km)

*الخطوة 2*: إذا كانت ، لا يوجد حجم مشترك في هندسة المسير وبالتالي، لا يدعم الانتشار عبر الانتثار التروبوسفيري. تضبط النتائج أدناه وتتم العودة إلى القسم 7. وإذا كانت ، ثم مواصلة الحساب بالخطوة 3.

(108)      (dB)

(109)      (km)

(110)      (km)

(111)      (rad)

(112)      (rad)

*الخطوة 3*: مسافة قوس الأرض المستوية من كل شعاع مماس للمطراف إلى مركز الحجم المشترك، :

(113)      (km)

*الخطوة 4*: تحسب معلمات التدرج الجوي:

(114)

(115)

(116)

*الخطوة 5*: تستخدم المعادلات التالية لتحديد المعلمات الهندسية المرتبطة بالانتثار التروبوسفيري، بما في ذلك ارتفاع حجم المشترك، ، بالكيلومتر، وميل لحل شعاع من الشعاعين عند زاوية العبور، ، بالتقويم الدائري.

(117)      (km)

(118)      (km)

(119)

(120)

(121)      (km)

(122)      (km)

(123)

(124)      (km)

(125)      (rad)

(126)      (rad)

*الخطوة 6*: يحسب حد حجم الانتثار، .

(127)

(128)

(129)

(130)      (dB)

*الخطوة 7*: يحسب حد حجم الانتثار، .

(131)

(132)      (km)

(133)      (km)

(134)

(135)

(136)

(137)      (km)

(138)      (dB)

حيث:

(139)

(140)

(141)

(142)

(143)

(144)

(145)

*الخطوة 8*: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري باستخدام المعادلة (106).

وهذه هي نهاية هذا القسم.

# 12 طول الشعاع الفعلي

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لتحديد الطول الفعلي للشعاع لاستخدامه في حسابات الامتصاص الجوي. ويستخدم هذا القسم نموذجاً هندسياً تقع فيه طبقة الامتصاص فوق سطح الأرض ويحدد بسمك فعال وتجرى بعد ذلك الحسابات الهندسية لتحديد طول الشعاع الفعلي، جزء مسير الشعاع الذي يقع داخل طبقة الامتصاص.

وتوجد ثلاثة افتراضات هندسية، كما هو مبين في الشكل 2:

1 السيناريو 1: تقع كل من النقطتين الطرفيتين داخل طبقة الامتصاص

2 السيناريو 2: تقع نقطة طرفية داخل طبقة الامتصاص والأخرى فوقها

3 السيناريو 3: تقع كل من النقطتين الطرفيتين فوق طبقة الامتصاص، بالرغم من أن مسير الشعاع قد يستمر في قطع طبقة الامتصاص

الشكل 2

الافتراضات الهندسية الثلاثة لتحديد طول الشعاع الفعلي نسبة إلى طبقة امتصاص



السيناريو (1

السيناريو (3

السيناريو (2

حيث:

: الشعاعان، بالكيلومتر

: نصف قطر الأرض، بالكيلومتر. يعتمد نصف القطر على نوع المسير

: طول القوس بين الشعاعين عبر سطح الأرض، بالكيلومتر

: زاوية انطلاق الشعاع، نسبة إلى مماس سطح الأرض، بالتقويم الدائري

: السمك الفعلي بطبقة الامتصاص، بالكيلومتر

يحسب:

: طول الشعاع الفعلي، بالكيلومتر.

*الخطوة 1*: تحسب الزاوية والشعاع .

(146)      (rad)

(147)      (km)

*الخطوة 2*: لابد من تحديد الافتراض الهندسي الصحيح طبقاً للمعلمات المقدمة. فإذا كان ، فإن النقطتين الطرفيتين تقعان داخل طبقة الامتصاص وهو ما يقود إلى السيناريو 1 في الشكل 2. ويحسب الطول باستخدام المعادلة (148) ثم العودة إلى الخطوات. وخلاف ذلك نواصل إلى الخطوة 3.

(148)      (km)

*الخطوة 3*: إذا كان ، فإن المطرافين يقعان فوق طبقة الامتصاص وهو ما يقودنا إلى السيناريو 3 في الشكل 2 وبالتالي نستمر في هذه الخطوة. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 4.

ولتحديد ما إذا كان مسير الشعاع يتقاطع مع طبقة الامتصاص، يحسب الشعاع الخاص به ، أو في نقطة طوال مسير الشعاع. وتستخدم المعادلة (150) بعد ذلك لتحديد القيمة السليمة للطول .

(149)      (km)

(150)      (km)

*الخطوة 4*: يحدد الافتراض الهندسي بحيث يكون السيناريو 2 في الشكل 2، بحيث يقع المطراف المنخفض داخل طبقة الامتصاص والمطراف المرتفع فوقها. وتستخدم المعادلات التالية لتحديد جزء مسير الشعاع الذي يقع داخل طبقة الامتصاص.

(151)      (rad)

(152)      (rad)

(153)      (km)

وهنا تنتهي هذا القسم.

# 13 خسارة الامتصاص الجوي للمسيرات العابرة للأفق

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لحساب الخسارة الناجمة عن الامتصاص الجوي لمسيرات عبارة للأفق.

حيث:

: ارتفاعا المطرافين، بالكيلومتر

: مسافتا خط الأفق، بالكليو متر

: التردد، بوحدات MHz

: ارتفاع الحجم المشترك، بالكيلومتر

: زاوية العبور عند الحجم المشترك، بالتقويم الدائري

تحسب:

: خسارة الامتصاص الجوي، بوحدات dB

*الخطوة 1*: تحسبت الأشعة و و من مركز الأرض إلى المطراف المنخفض والمطراف المرتفع والحجم المشترك، على التوالي.

(154)      (km)

(155)      (km)

(156)      (km)

*الخطوة 2*: يتم التركيز على جزء المسير من المطراف المنخفض إلى الحجم المشترك، مع ملاحظة أن ارتفاع الحجم المشترك يمكن أن يقع فوق أو تحت ارتفاع المطراف المنخفض أو لحساب طول الشعاع الفعلي لهذا الجزء من المسير، تحدد المعلمات و و بحيث تتفق المعلمات الهندسية مع الطريقة التي تظهر بها حسابات طول الشعاع الفعلي.

(157)      (km)

(158)      (km)

(159)      (rad)

*الخطوة 3*: الآن، يتم التركيز على جزء المسير من الحجم المشترك إلى المطراف المرتفع، مع ملاحظة أن ارتفاع الحجم المشترك يمكن أن يقع فوق أو تحت ارتفاع المطراف المرتفع. ولحساب طول الشعاع الفعلي لهذا الجزء من المسير، تحدد المعلمات و و بحيث تتفق المعلمات الهندسية مع الطريقة التي تظهر بها حسابات طول الشعاع الفعلي.

(160)      (km)

(161)      (km)

(162)      (rad)

*الخطوة 4*: تحسب مسافتا القوس لكل جزء من جزئي المسير أعلاه.

(163a)      (km)

(163b)      (km)

*الخطوة 5*: يختلف السمك الفعلي لطبقة الامتصاص للأكسجين عن بخار الماء. فبالنسبة للأكسجين، يبلغ السمك الفعلي لطبقة الامتصاص، ، القيمة km 3,25. وبالنسبة لبخار الماء تبلغ هذه القيمة، ، المقدار km 1,36. ويحسب طولا الشعاعين الفعلييان عبر طبقتي امتصاص الأكسجين وبخار الماء للجزء الأول من المسير (من المطراف المنخفض إلى الحجم المشترك) باستخدام الخطوات الموضحة أن القسم 8. ويتطلب ذلك تطبيق القسم 8 مرتين: واحدة لطبقة امتصاص الأكسجين والثانية لطبقة امتصاص بخار الماء. ثم يتم الانتقال إلى الخطوة 6. ويستخدم القسم 8 كالتالي:

حيث:

: شعاع النقطة المنخفضة، بالكيلومتر، من المعادلة (157)

: شعاع النقطة المرتفعة، بالكيلومتر، من المعادلة (158)

: نصف القطر الفعلي للأرض، بالكيلومتر، يحدد بالقيمة km 8 493

: مسافة القوس بين النقطتين، بالكيلومتر، من المعادلة (163a)

: زاوية انطلاق الشعاع، بالتقويم الدائري، من المعادلة (159)

: سمك طبقة الامتصاص، ، بالكيلومتر، حيث لطبقة امتصاص الأكسجين و لطبقة امتصاص بخار الماء

يحسب:

: طول الشعاع الفعلي، ، بالكيلومتر. طول الشعاع عبر طبقة امتصاص الأكسجين، ، المقابل للسمك . وطول الشعاع عبر طبقة امتصاص بخار الماء، ، المقابل للسمك

*الخطوة 6*: ويحسب طولا الشعاعين الفعلييان عبر طبقتي امتصاص الأكسجين وبخار الماء للجزء الثاني من المسير (من ارتفاع الحجم المشترك إلى المطراف المرتفع)، بنفس الطريقة المتبعة في الخطوة 5 ولكن مع استخدام المعلمات الهندسية الخاصة بجزء المسير من الحجم المشترك إلى المطراف المرتفع. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 7. ويستخدم القسم 8 كالتالي:

حيث:

: شعاع النقطة المنخفضة، بالكيلومتر، من المعادلة (160)

: شعاع النقطة المرتفعة، بالكيلومتر، من المعادلة (161)

: نصف القطر الفعلي للأرض، بالكيلومتر، يحدد بالقيمة km 8 493

: مسافة القوس بين النقطتين، بالكيلومتر، من المعادلة (163b)

: زاوية انطلاق الشعاع، بالتقويم الدائري، من المعادلة (162)

: سمك طبقة الامتصاص، ، بالكيلومتر، حيث لطبقة امتصاص الأكسجين و لطبقة امتصاص بخار الماء

يحسب:

: طول الشعاع الفعلي، ، بالكيلومتر. طول الشعاع عبر طبقة امتصاص الأكسجين، ، المقابل للسمك . وطول الشعاع عبر طبقة امتصاص بخار الماء، ، المقابل للسمك .

*الخطوة 7*: يحسب طولا الشعاعين الفعليين الكليين لطبقة بامتصاص الأكسجين، ، ولطبقة امتصاص بخار الماء، ، بالكيلومتر.

(164a)      (km)

(164b)      (km)

*الخطوة 8*: يحدد معدلا الامتصاص الجوي للأكسجين، ، ولبخار الماء، ، بالوحدات dB/km باستخدام القسم 14. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 9. ويستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

: التردد، بالوحدات MHz

يحسب:

: معدل امتصاص الأكسجين، بالوحدات dB/km

: معدل امتصاص بخار الماء، بالوحدات dB/km.

*الخطوة 9*: تحسب الخسارة الكلية للامتصاص الجوي، ، باستخدام معدلي الامتصاص و من الخطوة 8 وطولي الشعاعين الفعليين و من المعادلة (164).

(165)      (dB)

وبهذه الخطوة ينتهي حساب الامتصاص الجوي للمسيرات العابرة للأرض.

# 14 معدلات الامتصاص الجوي

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لتحديد معدل امتصاص الأكسجين، ، وبخار الماء، ، بالوحدات dB/km.

حيث:

: التردد، بالوحدات MHz

يحسب:

: معدل امتصاص الأكسجين، بالوحدات dB/km

: معدل امتصاص بخار الماء، بالوحدات dB/km.

الجدول 2

بيانات عن معدلات الامتصاص مقابل التردد

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (MHz) | (dB/km) | (dB/km) | (MHz) | (dB/km) | (dB/km) | (MHz) | (dB/km) | (dB/km) |
| 100 | 0,000 19 | 0 | 550 | 0,002 5 | 0 | 4 000 | 0,010 | 0,0001 7 |
| 150 | 0,000 42 | 0 | 700 | 0,003 | 0 | 4 900 | 0,011 | 0,003 4 |
| 205 | 0,000 70 | 0 | 1 000 | 0,004 2 | 0 | 8 300 | 0,014 | 0,002 1 |
| 300 | 0,000 96 | 0 | 1 520 | 0,005 | 0 | 10 200 | 0,015 | 0,009 |
| 325 | 0,001 3 | 0 | 2 000 | 0,007 | 0 | 15 000 | 0,017 | 0,025 |
| 350 | 0,001 5 | 0 | 3 000 | 0,008 8 | 0 | 17 000 | 0,018 | 0,045 |
| 400 | 0,001 8 | 0 | 3 400 | 0,009 2 | 0,000 1 |  |  |  |

*الخطوة 1*: تستعمل القيم الواردة في الجدول 2 من أجل الاستكمال الداخلي للمعدلين و. ليتم اختيار الترددين و من الجدول بحيث تتحقق العلاقة . وبالمثل و.

*الخطوة 2*: يحسب عامل تدرج الاستكمال الداخلي، .

(166)

*الخطوة 3*: يجرى الاستكمال الداخلي للقيمة .

(167)

(168)      (dB/km)

*الخطوة 4*: يجرى الاستكمال الداخلي للقيمة . يرجى العلم أن القيم الثلاث عشرة الأولى من المعدل في الجدول 2 تساوي dB/km 0. لذا، ينبغي توخي الحذر عند إجراء الاستكمال الداخلي. فإذا كانت ،

فإن المعدل 0. وخلاف ذلك:

(169)

(170)      (dB/km)

وبذلك ينتهي هذا القسم.

# 15 التغاير الإجمالي للمسيرات العابرة للأفق

يحدد هذا القسم الطريقة التي تحسب بها المساهمة الإجمالية للتغاير في خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة لمسير عابر للأفق.

حيث:

: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

: النسبة المئوية من الوقت المطلوبة. متغير خاص بدخل النموذج

: التردد، بالوحدات MHz

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB

: زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري

تحسب:

: خسارة التغاير الإجمالية، بوحدات dB.

*الخطوة 1*: تحسب مساهمة التغاير طول الأجل للنسبة المئوية من الوقت ، باستخدام القسم 17. ويتم بعد ذلك الانتقال إلى الخطوة 2. ويستخدم القسم 17 كالتالي:

حيث:

: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

: التردد، بالوحدات MHz

: النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

: تضبط على القيمة

: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 2*: لكي يتم الجمع بشكل سليم بين تأثير كل من التغاير طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة، وكل منهما في صورة توزيع، يلزم وجود القيمة المتوسطة لتوزيع التغاير طويل الأجل. وتحسب مساهمة التغاير طويل الأجل لنسبة مئوية من الوقت تساوي 0,50 باستخدام القسم 17. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3. وتستخدم القسم 17 كالتالي:

حيث:

: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

: التردد، بالوحدات MHz

: النسبة المئوية المتوسطة من الوقت ()

: تضبط على القيمة

: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 3*: لنقل تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة بسلاسة من منطقة خط البصر إلى المنطقة العابرة للأفق، ينبغي تحديد قيمة  التي تتحدد من عندها المسيرات التربوسفيرية المتعددة عند نقطة الانتقال من منطقة خط البصر والمنطقة خارج خط البصر. وتحسب خسارة خط البصر، كما هو موضح في القسم 6. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 4. ويستخدم القسم 6 كالتالي:

حيث:

: مسافة خط البصر القصوى، بالكيلومتر

: المسافة، بالكيلومتر

: ارتفاعا المطرافين، بالكيلومتر

: مسافتا خط الأفق، بالكيلومتر

: التردد، بوحدات MHz.

: خسارة الانعارج عند المسافة ، بوحدات dB

: النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

: مسافة المسير المطلوبة

تحسب:

: خسارة الإرسال الأساسية، بوحدات dB

: قيمة تستخدم في حسابات التغاير اللاحقة.

*الخطوة 4*: تحسب القيمة التي تستخدم لتحديد تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة. نفترض أن بالتقويم الدائري (1,5 درجة).

(171)

*الخطوة 5*: تحسب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة للنسبة المئوية من الوقت باستخدام القسم 18. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 6. ويستخدم القسم 18 كالتالي:

حيث:

: القيمة *K*

: النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

تحسب:

: مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة عند النسبة المئوية من الوقت ، بوحدات dB.

*الخطوة 6*: الجمع بين تأثير كل من التغاير طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة للحصول على مساهمة التغاير الإجمالي، ، باستخدام القيم التي تم حسابها من قبل و و. والقيمة المتوسطة للمسيرات المتعددة التروبوسفيرية تكون 0 = .

(172)

(173)

(174)      (dB)

وبذلك ينتهي هذا القسم.

# 16 التغاير الإجمالي لمسيرات خط البصر

يحدد هذه القسم كيفية حساب مساهمة التغاير في خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة.

حيث:

: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

: متغير خاص بدخل النموذج

: التردد، بالوحدات MHz

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

: الخسارة المتنبأ بها، بوحدات dB

: زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري

: قيمة دخل

تحسب:

: خسارة التغاير الإجمالي، بوحدات dB.

*الخطوة 1*: تحسب القيمة باستخدام القيمة من حسابات المعلمات البصرية للشعاع التي أجريت قبل ذلك.

(175)

*الخطوة 2*: تحسب مساهمة التغاير طويل الأجل للنسبة المئوية من الوقت، ، باستخدام القسم 17. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3. ويستخدم القسم 17 كالتالي:

حيث:

: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

: متغير خاص بدخل النموذج، بالكيلومتر

: التردد، بالوحدات MHz

: النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

: قيمة دخل لهذا القسم

: الخسارة المتنبأ بها، بوحدات dB

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 3*: لكي يتم الجمع بشكل سليم بين تأثير كل من التغاير طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة، وكل منهما في صورة توزيع، يلزم وجود القيمة المتوسطة لتوزيع التغاير طويل الأجل. وتحسب مساهمة التغاير طويل الأجل لنسبة مئوية من الوقت تساوي 0,50 باستخدام القسم 17. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3. وتستخدم القسم 17 كالتالي:

حيث:

: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

: التردد بالوحدات MHz.

: النسبة المئوية المتوسطة من الوقت ()

: تضبط على القيمة

: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB.

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 4*: تحسب القيمة التالية للمتغير ، المستخدمة في تحديد تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة، على النحو التالي:

(176)

(177)

(178)

إذا كان ، مسير الشعاع الفعلي عبر طبقة امتصاص بخار الماء يساوي km 0، فإن . وخلاف ذلك، تحسب قيمة ، كالتالي:

(179)      (dB)

ثم يستخدم الجدول 7 للاستكمال الدخلي بقيمة المقابلة لقيمة وتستخدم قيمة تلك في حساب كالتالي:

(180)

وبعد حساب ، يستكمل حساب ، كالتالي:

(181)

(182)

(183)

*الخطوة 5*: تحسب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة للنسبة المئوية من الوقت ، باستخدام القسم 18. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 6. ويستخدم القسم 18 كالتالي:

حيث:

: قيمة تضبط على القيمة

: النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

تحسب:

: مساهمة المسيرات التروبو سفيرية المتعددة عند النسبة المئوية من الوقت ، بوحدات dB

*الخطوة 6*: يتم الجمع بين تأثير كل من التغاير طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة للحصول على مساهمة التغاير الإجمالي،، باستخدام القيم المحسوبة من قبل و و. والقيمة المتوسطة للمسيرات التروبوسفيرية المتعددة تكون 0 = .

(184)

(185)

(186)      (dB)

وتنهي هذه الخطوة هذا القسم.

# 17 التغاير طويل الأجل

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لحساب التوزيع الإحصائي للتغاير طويل الأجل للنسبة المئوية المطلوبة من الوقت، . ويستخدم التغاير طويل الأجل مسافة فعلية مقيسة، ، على نصف قطر فعلى للأرض يبلغ km 9 000 (يقابل وحدة N). ويعتمد هذا القسم على معلمات إحصائية تستند إلى بيانات قياس تجربية طويلة الأجل.

حيث:

: ارتفاعا المطرافين، بالكيلومتر

: النسبة المئوية من الوقت المطلوبة. متغير خاص بدخل النموذج

: التردد، بالوحدات MHz

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

: معلمة حسبت من قبل

: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن نموذج خط البصر أو نموذج الانعراج أو نموذج الانتثار التروبوسفيري (حسبت من قبل)، بوحدات dB

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

ملاحظة: دالة مقلوب التوزيع العادي التراكمي التكميلي، ، تستخدم في عدة مواضع في هذا القسم. وترد في التوصية ITU‑R P.1057 تقنية لتقريب قيمتها لطريقة الخطوة خطوة هذه.

*الخطوة 1*: تحسب مسافتا أفق الأرض المستوية عبر تتبع الشعاع لكل مطراف. يُفترض تحديد خط الأفق الخاص بكل مطراف بالمتغير . ويستخدم القسم 4 كالتالي:

حيث:

: ارتفاعا المطرفين، بالكيلومتر

: انكسارية السطح وتبلغ 329 وحدة N

تحسب:

: مسافة القوس (أفق الأرض المستوية)، بالكيلومتر.

*الخطوة 2*: تحسب المسافة ، المسافة الفعلية بين المطرافين بالكيلومتر.

(187)      (km)

(188)      (km)

(189)      (km)

(190)      (km)

*الخطوة 3*: يحسب و.

(191)

(192)

*الخطوة 4*: تحسب و و باستخدام المعادلات أدناه والقيم الأخوذة من الجدول 3.

الجدول 3

قيم لحساب معادلات التغاير طويل الأجل

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 1,59e-5 | 5,25e-4 | 2,93e-4 |
|  | 1,56e-11 | 1,57e-6 | 3,75e-8 |
|  | 2,77e-8 | 4,70e-7 | 1,02e-7 |
|  | 2,32 | 1,97 | 2,00 |
|  | 4,08 | 2,31 | 2,88 |
|  | 3,25 | 2,90 | 3,15 |
|  | 0,0 | 5,4 | 3,2 |
|  | 3,9 | 10,0 | 8,2 |

(193)

(194)      (dB)

*الخطوة 5*: تحسب ، التغاير المرتبط بخبو القدرة طويل الأجل (ساعة بساعة)، استناداً إلى النسبة المئوية من الوقت المطلوبة، .

إذا كانت ، فإن:

(195)      (dB)

وإذا كانت ، فإن:

(196)

(197)

(198)

(199)      (dB)

(200)      (dB)

وإذا كانت ، تتخذ خطوات إضافية. وإذا كانت ، فإن:

(201)

(202)

(203)

     (dB) (204)

     (dB) (205)

وخلاف ذلك، أي ، تستخدم قيم الجدول 4 من أجل الاستكمال الداخلي الخطى للمتغير من المتغير . وتطبق بعد ذلك المعادلتان (204) و(205) للحصول على .

الجدول 4

قيم الاحتمال المنخفض للمتغير

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 0,10 | 1,000 0 |
| 0,05 | 1,326 5 |
| 0,02 | 1,716 6 |
| 0,01 | 1,950 7 |

*الخطوة 6*: تحسب ، التغاير المرتبط بخبو القدرة طويل الأجل (كل ساعة) للقيمة .

(206)      (dB)

*الخطوة 7*: تحسب و.

(207)      (dB)

(208)      (dB)

*الخطوة 8*: تحسب ، التي تستخدم لمنع القيم المتاحة لقدرة الإشارة من تجاوز المستويات المتوقعة للانتشار في الفضاء الحر بمقادير غير واقعية عندما يكون التغاير حول القيمة المتوسطة كبيراً وقريباً من مستوياته في الفضاء الحر.

(209)      (dB)

(210)      (dB)

*الخطوة 9*: إذا كانت ، تحسب خسارة التغاير الإجمالي، وهو ما ينهي هذا القسم. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 10 ومواصلة الحسابات.

(211)      (dB)

*الخطوة 10*: لقيم النسبة المئوية من الوقت الأقل من %10 ، قد يلزم تطبيق تصحيح إضافي. وتحسب قيمة .

(212)      (dB)

*الخطوة 11*: يستخدم الجدول 5 لإجراء الاستكمال الداخلي الخطى للمتغير من المتغير .

الجدول 5

قيم تصحيح الاحتمال المنخفض

|  |  |
| --- | --- |
| 0,10 | 0,00 |
| 0,05 | 3,70– |
| 0,02 | 4,50– |
| 0,01 | 5,00– |

*الخطوة 12*: تحسب خسارة التغاير الإجمالي.

(213)

وبذلك ينتهي قسم التغاير طويل الأجل.

# 18 المسيرات التروبوسفيرية المتعددة

يشرح هذا القسم كيفية حساب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة في التغاير الإجمالي.

حيث:

: معلمة دخل

: النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

تحسب:

: التغاير للنسبة ، بوحدات dB.

ويستخدم هذا القسم بيانات جدولية لتوزيع ناكاغامي-رايس. ويعرض الجدول 6 البيانات للنسبة بينما يعرض الجدول 7 البيانات للنسبة . بالنسبة لجميع القيم التي تكون فيها النسبة ، فإن التغاير .

الجدول 6

قيم النسب المئوية المنخفضة من الوقت من أجل توزيع ناكاغامي-رايس

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 40− | 0,1417− | 0,1252− | 0,1004− | 0,1784− | 0,0634− | 0,0516− | 0,0321− | 0,0155− |
| 25− | 0,7676− | 0,6811− | 0,5496− | 0,4312− | 0,3487− | 0,2855− | 0,1764− | 0,0852− |
| 20− | 1,3184− | 1,1738− | 0,9524− | 0,7508− | 0,6072− | 0,5003− | 0,3076− | 0,1484− |
| 18− | 1,6264− | 1,4508− | 1,1846− | 0,9332− | 0,7609− | 0,6240− | 0,3888− | 0,1878− |
| 16− | 1,9963− | 1,7847− | 1,4573− | 1,1558− | 0,9441− | 0,7760− | 0,4835− | 0,2335− |
| 14− | 2,4355− | 2,1829− | 1,7896− | 1,4247− | 1,1664− | 0,9613− | 0,5989− | 0,2893− |
| 12− | 2,9491− | 2,6507− | 2,1831− | 1,7455− | 1,4329− | 1,1846− | 0,7381− | 0,3565− |
| 10− | 3,5384− | 3,1902− | 2,6408− | 2,1218− | 1,7471− | 1,4495− | 0,9032− | 0,4363− |
| 8− | 4,1980− | 3,7975− | 3,1602− | 2,5528− | 2,1091− | 1,7566− | 1,0945− | 0,5287− |
| 6− | 4,9132− | 4,4591− | 3,7313− | 3,0307− | 2,5127− | 2,1011− | 1,3092− | 0,6324− |
| 4− | 5,6559− | 5,1494− | 4,3315− | 3,5366− | 2,9421− | 2,4699− | 1,5390− | 0,7434− |
| 2− | 6,3811− | 5,8252− | 4,9219− | 3,9366− | 3,3234− | 2,8363− | 1,5390− | 0,7434− |
| 0 | 7,0246− | 6,8861− | 5,4449− | 4,4782− | 3,7425− | 3,1580− | 1,9678− | 0,9505− |
| 2 | 7,5228− | 6,8861− | 5,8423− | 4,8088− | 4,0196− | 3,3926− | 2,1139− | 1,0211− |
| 4 | 7,8525− | 7,1873− | 6,0956− | 5,0137− | 4,1879− | 3,5218− | 2,2007− | 1,0630− |
| 6 | 8,1435− | 7,3588− | 6,2354− | 5,1233− | 4,2762− | 3,6032− | 2,2451− | 1,0845− |
| 20 | 8,2238− | 7,5154− | 6,3565− | 5,2137− | 4,3470− | 3,6584− | 2,2795− | 1,1011− |

الجدول 7

قيم النسب المئوية المرتفعة من الوقت من أجل توزيع ناكاغامي-رايس

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 40− | 0,0156 | 0,0323 | 0,0518 | 0,0639 | 0,0790 | 0,1016 | 0,1270 | 0,1440 |
| 25− | 0,0897 | 0,1857 | 0,2953 | 0,3670 | 0,4538 | 0,5868 | 0,7391 | 0,8421 |
| 20− | 0,1624 | 0,3363 | 0,5309 | 0,6646 | 0,8218 | 1,0696 | 1,3572 | 1,5544 |
| 18− | 0,2023 | 0,4188 | 0,6722 | 0,8373 | 1,0453 | 1,3660 | 1,7416 | 2,0014 |
| 16− | 0,2564 | 0,5308 | 0,8519 | 1,0647 | 1,3326 | 1,7506 | 2,2463 | 2,5931 |
| 14− | 0,3251 | 0,6730 | 1,0802 | 1,3558 | 1,7028 | 2,2526 | 2,9156 | 3,3872 |
| 12− | 0,4123 | 0,8535 | 1,3698 | 1,7289 | 2,1808 | 2,9119 | 3,8143 | 4,4715 |
| 10− | 0,5221 | 1,0809 | 1,7348 | 2,2053 | 2,7975 | 3,7820 | 5,0372 | 5,9833 |
| 8− | 0,6587 | 1,3638 | 2,1887 | 2,3535 | 3,5861 | 4,9287 | 6,7171 | 8,1418 |
| 6− | 0,8239 | 1,7057 | 2,7374 | 3,5494 | 4,5714 | 6,4059 | 8,9732 | 11,0972 |
| 4− | 1,0115 | 2,0942 | 3,3610 | 4,4009 | 5,7101 | 8,1216 | 11,5185 | 14,2546 |
| 2− | 1,1969 | 2,0942 | 3,9770 | 4,6052 | 6,7874 | 9,6278 | 13,4690 | 16,4258 |
| 0 | 1,3384 | 2,7709 | 4,4471 | 5,8105 | 7,5267 | 10,5553 | 14,5401 | 18,0527 |
| 2 | 1,4189 | 2,9376 | 4,7145 | 6,1724 | 8,0074 | 11,0005 | 15,0271 | 18,0527 |
| 4 | 1,4563 | 3,0149 | 4,8385 | 6,2705 | 8,0732 | 11,1876 | 15,2273 | 18,3573 |
| 6 | 1,8080 | 3,7430 | 6,0071 | 6,9508 | 8,1386 | 11,2606 | 15,3046 | 18,3361 |
| 20 | 1,4815 | 3,0672 | 4,9224 | 6,3652 | 8,1814 | 11,3076 | 15,3541 | 18,3864 |

*الخطوة 1*: يجرى باستخدام الجدولية 6 و7 الاستكمال الداخلي الخطي من أجل تحديد التغاير للقيم المطلوبة لكل من و. يرجى العلم بأن .

وبذلك ينتهي هذا القسم.

الملحق 3  
  
النتائج التجريبية

أجريت اختبارات انتشار عند التردد MHz 930 لمسيرات من الجو إلى الأرض في اليابان في نوفمبر 1982 وأبريل ويونيو 1983. وطبقاً لنتائج الاختبارات فإن خسارات الانتشار داخل مسيرات خط البصر اتفقت بصورة جيدة مع القيم في الفضاء الحر. وقد كانت مسافة خط البصر كما تم حسابها مع المعطيات المقيسة على ارتفاع m 10 000، أقصر من المسافة المعتبرة في منحنيات الملحق 3 (قيد الانتظار).

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. \* ترفع هذه التوصية إلى علم لجنة الدراسات 5. [↑](#footnote-ref-1)