

## التوصية ITU-R P.533-9

## طريقة التنبؤ بأداء الدارات العاملة بالموجات الديكامتريية\*\* (HF)

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

## مجال التطبيق

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

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن الاختبارات التي تستعمل بنك معطيات قطاع الاتصالات الراديوية D1 تبين أن دقة الطريقة الموصوفة في الملحق 1 بهذه التوصية مماثلة لدقة الطرائق الأخرى الأكثر تعقيداً؛
- ب) أن التطبيق العملي لهذه الطريقة يتطلب معلومات عن خصائص الأداء لهوائيات الإرسال والاستقبال<sup>1</sup>؛

توصي

- 1 بأن تستعمل المعلومات الواردة في الملحق 1 في التنبؤات المحوسبة بانتشار الموجة الأيونوسفيرية عند ترددات تتراوح بين 2 و 30 MHz؛
- 2 بأن تبذل الإدارات وقطاع الاتصالات الراديوية جهوداً لتحسين طرائق التنبؤ من أجل تعزيز مرافق التشغيل وتحسين مستوى الدقة.

## الملحق 1

## المحتويات

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1 | المقدمة                 |
| 1 | الجزء 1 - تيسر الترددات |
| 2 | تحديد موقع نقاط التحكم  |

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

\*\* ملاحظة من أمانة مكتب الاتصالات الراديوية - أدخلت تعديلات صياغية على الصفحات 1 و 3 و 18 و 23 في النسخة الإنكليزية (المعادلة الواردة في الفقرة 3) في فبراير 2008.

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

|   |   |
|---|---|
| أقصى الترددات المستعملة الأساسية والتشغيلية   | 3 |
| 1.3 أقصى الترددات المستعملة   |   |
| 2.3 التردد الحرج للطبقة E (foE)   |   |
| 3.3 التردد MUF الأساسي للطبقة E   |   |
| 4.3 خصائص الطبقة F2   |   |
| 5.3 التردد MUF الأساسي للطبقة F2  |   |
| 1.5.3 أسلوب الرتبة الأدنى   |   |
| 1.1.5.3 مسيرات لا يتجاوز طولها $d_{max}$ (km)   |   |
| 2.1.5.3 مسيرات يتجاوز طولها $d_{max}$ (km)  |   |
| 2.5.3 أساليب من الرتبة الأعلى (مسيرات لا يتجاوز طولها 9 000 km)   |   |
| 1.2.5.3 مسيرات لا يتجاوز طولها $d_{max}$ (km)   |   |
| 2.2.5.3 مسيرات يتجاوز طولها $d_{max}$ (km)  |   |
| 6.3 احتمالات الشهر لوسيط الانتشار الأيونوسفيري  |   |
| 7.3 أقصى الترددات (MUF) التشغيلية على المسير  |   |
| 4 أقصى ترددات الحجب بالطبقة E، $(f_s)$  |   |
| الجزء 2 - متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية   |   |
| 5 متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية   |   |
| 1.5 زاوية الارتفاع  |   |
| 2.5 مسيرات لا يتجاوز طولها 7 000 km   |   |
| 1.2.5 الأساليب المعتمدة   |   |
| 2.2.5 تحديد شدة المجال  |   |
| 3.5 مسيرات يتجاوز طولها 9 000 km  |   |
| 4.5 مسيرات بين 7 000 و 9 000 km   |   |
| 6 القدرة المتوسطة المتيسرة في المستقبل  |   |
| الجزء 3 - التنبؤ بأداء النظام   |   |
| 7 المتوسط الشهري لنسبة الإشارة إلى الضوضاء  |   |
| 8 شدة المجال الأيونوسفيري، وقدرة الإشارة المستقبلية ونسب الإشارة إلى الضوضاء من أجل نسب مئوية أخرى من الوقت |   |
| 9 أدنى تردد مستعمل (LUF)  |   |

|   |    |
|---|----|
| اعتمادية الدارة الأساسية (BCR)  | 10 |
| 1.10 اعتمادية الأنظمة المشكلة تماثلياً  |    |
| 2.10 اعتمادية الأنظمة المشكلة رقمياً مع مراعاة تمديد الوقت والتردد للإشارة المستقبلية |    |
| 1.2.10 معلمات النظام  |    |
| 2.2.10 وقت الانتشار   |    |
| 3.2.10 إجراء التنبؤ بالاعتمادية   |    |
| 3.10 الانتشار عند خط الاستواء   |    |

التذييل 1 للملحق 1 - نموذج الانتشار الاستوائي لإشارات الموجات الديكامترية (HF)

## 1 مقدمة

ويطبق هذا الإجراء التنبؤي تحليل مسير الأشعة بالنسبة إلى مسيرات يصل طولها إلى 7000 km، وعلاقات مستخلصة تجريبياً في أسلوب مركب انطلاقاً من ضبط معطيات القياس لمسيرات تفوق 9000 km، واستكمالاً داخلياً بين هاتين الطريقتين على مدى المسافات بين 7000 و 9000 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 لبنك معطيات القياس الخاص بالقطاع ITU-R. وتتطلب هذه الطريقة أن يحدد عدد من الخصائص الأيونوسفيرية ومن معلمات الانتشار عند "نقاط تحكم" محددة.

أما في المناطق الاستوائية وفي ساعات المساء (بالتوقيت المحلي)، قد تحصل 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 مسافة 4 000 km) وعبر الأساليب F2 (بالنسبة إلى كل المسافات). وتتلقى نقاط التحكم حسبها هو مبيّن في الجدول 1 تبعاً لطول المسير ولطبقة العاكسة.

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)      |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| $M$                        | $M$                      | $0 < D \leq 2\,000$       |
| -                          | $T + 1\,000, R - 1\,000$ | $2\,000 < D \leq 4\,000$  |
| $M$                        | -                        | $2\,000 < D \leq d_{max}$ |
| $T + d_0 / 2, R - d_0 / 2$ | -                        | $D > d_{max}$             |

ب) الحجب بالطبقة E

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

ج) ارتفاعات الانعكاس المرآوي لمسير الشعاع

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

د) الامتصاص الأيونوسفيري وتردد دوران الإلكترونات المصاحبة له

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

$M$ : نقطة منتصف المسير

$T$ : موقع المرسل

$R$ : موقع المستقبل

$d_{max}$ : أقصى طول للقفزة في الأسلوب F2

$d_0$ : طول القفزة في الأسلوب من رتبة أدنى

تقدّر المسافات بالكيلومتر (km).

### 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 عندما تؤخذ الأساليب E و F2 معاً. يكون التردد الأعلى من الترددين MUF الأساسيين في الأسلوبين E و F2 من أدنى رتبة هو التردد MUF الأساسي للمسير.

### 2.3 التردد الحرج للطبقة E (foE)

يحدد التردد foE كما هو معرف في التوصية IRU-R P.1239.

### 3.3 التردد MUF الأساسي للطبقة E

تقدر 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 E(D)MUF في أدنى رتبة من الأسلوب E.

### 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 1أ). ويطبق استكمال داخلي أو خارجي خطي من أجل قيم الدليل الواقعة بين  $R_{12} = 0$  و  $R_{12} = 150$  (راجع التوصية ITU-R P.371). ويعتبر الدليل  $R_{12}$  مساوياً لقيمة 150 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 dmax (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:

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

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

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

حيث:

$f_H$ : قيمة تردد دوران الإلكترونات، من أجل ارتفاع من 300 km، يحدد عند كل نقطة من نقاط التحكم المناسبة الواردة في الجدول أ1)

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

$$Z = 1 - 2d/d_{max}$$

$$(5) \quad d_{max} = 4780 + (12610 + 2140/x^2 - 49720/x^4 + 688900/x^6) (1/B - 0.303)$$

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

حيث:

$$D/n_0 = d \text{ يعبر عنهما بالكيلومترات}$$

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

$$x = f_oF2/f_oE \text{ أو } x = 2, \text{ وتؤخذ أكبر القيمتين}$$

تحسب foE كما ورد في الفقرة 2.3.

### 2.1.5.3 مسيرات يتجاوز طولها $d_{max}$ (km)

يؤخذ التردد MUF الأساسي لأسلوب الرتبة الأدنى 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.

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

حيث تستخلص  $M_n/M_{n_0}$  بواسطة المعادلة (3) على النحو التالي:

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

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

### 6.3 الاحتمالات الشهرية لانتشار الوسيط الأيونوسفيري

في بعض الحالات قد يكون كافيًا التنبؤ باحتمالات الحصول على تأيّن وافٍ لدعم الانتشار عبر المسير دون الاكترات 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 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 تُعطى في المعادلة التالية:

$$(9) \quad F_{prob} = 130 - (1 + MUF(50) \cdot \delta_u/f) \text{ or } = 100$$

ويعطي الجدول 3 من التوصية ITU-R P.1239 أعلى نسبة عشرية  $\delta_u$  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:

$$(10) \quad F_{prob} = (1 + f/MUF(50) \cdot \delta_u) \text{ or } = 0$$

والعاملان المناسبان للمدى العشري البيئي 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. و جدير بالملاحظة أن التردد 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 التردد 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 بضرب 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 F 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 9 000 km (انظر الجدول ب1)). 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.

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

حيث:

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

وحيث:

$i$  : زاوية الورود عند ارتفاع  $h_r = 110 \text{ km}$

$R_0$  : نصف قطر الأرض،  $6371 \text{ km}$

$\Delta_F$  : زاوية الارتفاع لأسلوب الطبقة F2 (تحدد من المعادلة (13)).

## الجزء 2

### متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية

#### 5 متوسط شدة مجال الموجة الأيونوسفيرية

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

#### 1.5 زاوية الارتفاع

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

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

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  $h_r = 110 \text{ km}$

ويؤخذ  $h_r$  في الأساليب F2 بدلالة الوقت والموقع وطول القفزة.

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

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

وحيث:

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



و  $x = y$  أو 1,8 أيهما أكبر .

( أ ) من أجل  $x < 3,33$  و  $x_r = F_1$  ، حيث  $f$  هو تردد الموجة:

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

حيث:

$$h = A_1 + B_1 2,4^{-a} \text{ من أجل } B_1 \geq 0 \text{ و } a \geq 0$$

$$\text{خلاف ذلك} \quad h = A_1 + B_1$$

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

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

$$E_1 = -0,09707 x_r^3 + 0,6870 x_r^2 - 0,7506 x_r + 0,6$$

وتحدد قيمة  $F_1$  بحيث تكون:

$$\text{من أجل } x_r \leq 1,71 \quad F_1 = -1,862 x_r^4 + 12,95 x_r^3 - 32,03 x_r^2 + 33,50 x_r - 10,91$$

$$\text{من أجل } x_r > 1,71 \quad F_1 = 1,21 + 0,2 x_r$$

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

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

$$\text{حيث:} \quad d_s = 160 + (H + 43) G$$

$$\text{من أجل } x_r \leq 3,7 \quad G = -2,102 x_r^4 + 19,50 x_r^3 - 63,15 x_r^2 + 90,47 x_r - 44,73$$

$$\text{من أجل } x_r > 3,7 \quad G = 19,25$$

( ب ) من أجل  $x < 3,33$  و  $x_r > 1$ :

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

حيث:

$$\text{من أجل } B_2 \geq 0 \quad h = A_2 + B_2 b$$

$$\text{خلاف ذلك} \quad h = A_2 + B_2$$

$$\text{وحيث} \quad A_2 = 151 + (H - 47) E_2$$

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

$$E_2 = 0,1906 Z^2 + 0,00583 Z + 0,1936$$

$$F_2 = 0,645 Z^2 + 0,883 Z + 0,162$$

حيث:  $x_r = Z$  أو 0,1 ، أيهما أكبر ، كما تتغير  $b$  بتغير المسافة المقيسة  $d_f$  و  $Z$  و  $H$  على النحو التالي:

$$b = -7,535 d_f^4 + 15,75 d_f^3 - 8,834 d_f^2 - 0,378 d_f + 1$$

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

( ج ) من أجل  $x \geq 3,33$ :

$$(16) \quad h_r = 115 + HJ + Ud \text{ أو } 800 \text{ km، أيهما أصغر}$$

$$J = -0,7126 y^3 + 5,863 y^2 - 16,13 y + 16,07 \quad \text{حيث}$$

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

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 لا يتجاوز طولها 7 000 km

### 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:

$$- \text{ للأساليب E، الارتفاع } h_r = 110 \text{ km}$$

- للأساليب F2، الارتفاع  $h_r$  المحدد في المعادلة (2) حيث يقدر F2 (3 000) M عند منتصف السير (لأطوال مسيرات تصل إلى  $d_{max}$  (km)) أو عند نقطة تحكم مبينة في الجدول 1 ج) حيث تأخذ F2 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 وأحد الأسلوبين من الرتبتين الأعلى مباشرة؛

- الأساليب F2 - أسلوب الرتبة الأدنى مع قفزة يصل طولها إلى  $d_{max}$  (km) وأحد أساليب الرتب الخمس الأعلى مباشرة حيث يقدر أقصى تردد حجب في الطبقة E على النحو الوارد وصفه في الفقرة 4 وهو أقل من تردد التشغيل.

### 2.2.5 تحديد شدة المجال

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

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

حيث:

$$f: \text{ تردد الإرسال (MHz)}$$

$$P_t: \text{ قدرة المرسل (dB(1 kW))}$$

$$G_t: \text{ كسب هوائي الإرسال في زاوية السمات وزاوية الارتفاع } (\Delta) \text{ المطلوبتين نسبةً إلى هوائي متناح (dB)}$$

$$L_t: \text{ خسارة الإرسال الأساسي على مسير الشعاع للأسلوب المعني كما يلي:}$$

$$(18) \quad L_t = 32.45 + 20 \log f + 20 \log p' + L_i + L_m + L_g + L_h + L_z$$

وحيث:

$$p': \text{ المسافة المائلة الافتراضية (km)}$$

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

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

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

حيث:

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

وحيث:

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

و:

$i$ : زاوية الورود عند 110 km

$k$ : عدد نقاط التحكم (من الجدول د1)

$f_L$ : متوسط قيم ترددات دوران الإلكترونات، للمكونة الطولية لمجال الأرض المغنطيسي بالنسبة إلى ارتفاع 100 km، يحدد عند نقاط التحكم الواردة في الجدول د1

$\chi_j$ : زاوية السمات الشمسي عند نقطة التحكم من الرتبة  $z$  أو  $102^\circ$  أيهما أصغر. وتدرج في حساب هذه المعلمة معادلة الوقت في منتصف الشهر المعني

$\chi_{jnoon}$ : قيمة  $\chi_j$  ظهراً حسب التوقيت المحلي

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

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

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

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

$L_m$ : الخسارة "فوق التردد MUF".

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

$$(23) \quad L_m = 0$$

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

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

أو 81 dB أيهما أصغر.

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

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

أو 62 dB أيهما أصغر.

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

ففي أسلوب بعدد  $n$  من القفزات:

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

$L_h$ : 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 ممرز على الأرض باتجاهي  $N^\circ 78,5$  (شمالاً) و  $W^\circ 68,2$  (غرباً): وتؤخذ القيم المتوسطة لنقاط التحكم من الجدول (د1).

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

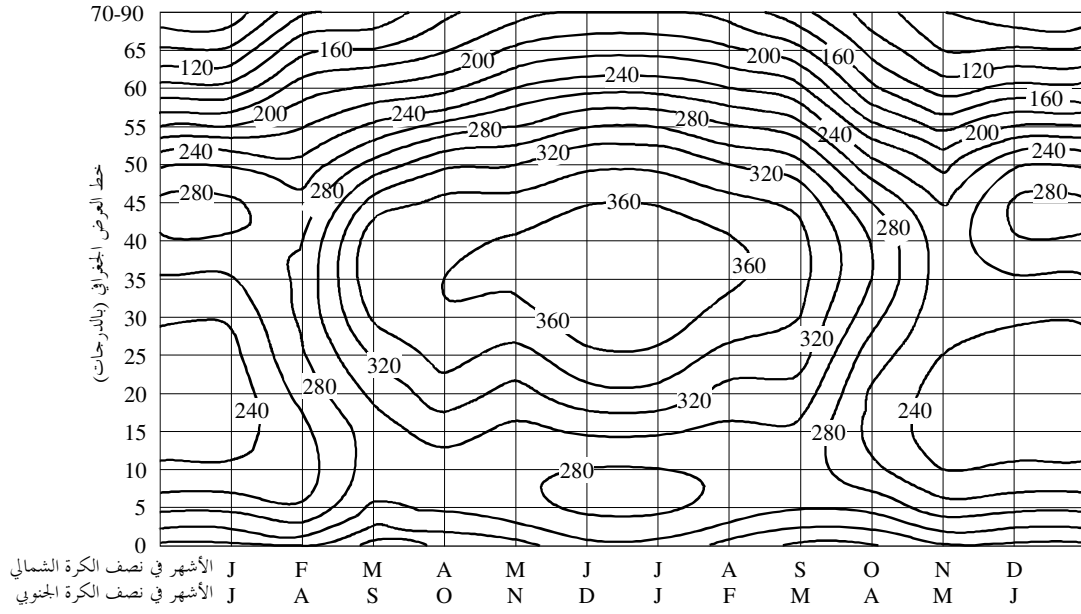
عندما تكون  $G_n > 42,5^\circ$  تكون  $L_h = 0$  dB.

$L_z$ : عبارة تتضمن تأثيرات الانتشار بالموجة الأيونوسفيرية غير المدرجة في هذه الطريقة. والقيمة الحالية

الموصى بها هي 9,9 dB (راجع الفقرة 2.5).

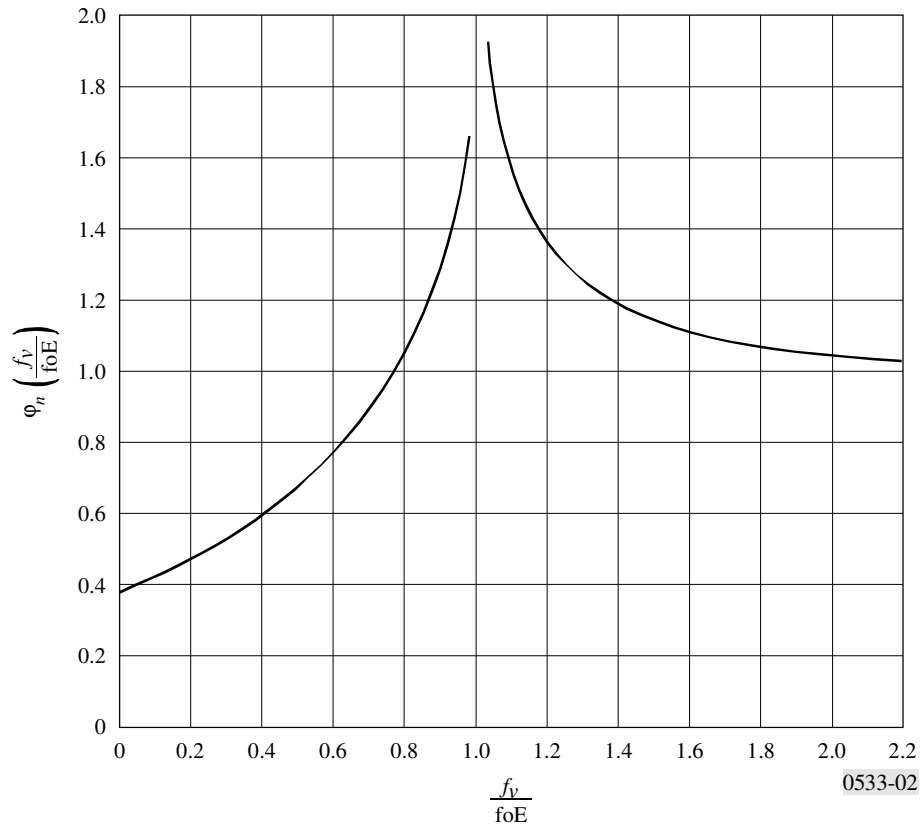
**ملاحظة 1-** يجدر ملاحظة أن قيمة  $L_z$  مرتبطة بعناصر طريقة التنبؤ، أي أن أي تغيير في هذه العناصر يستدعي مراجعة للقيمة  $L_z$ .

الشكل 1

عامل الامتصاص،  $A T_{noon}$ 

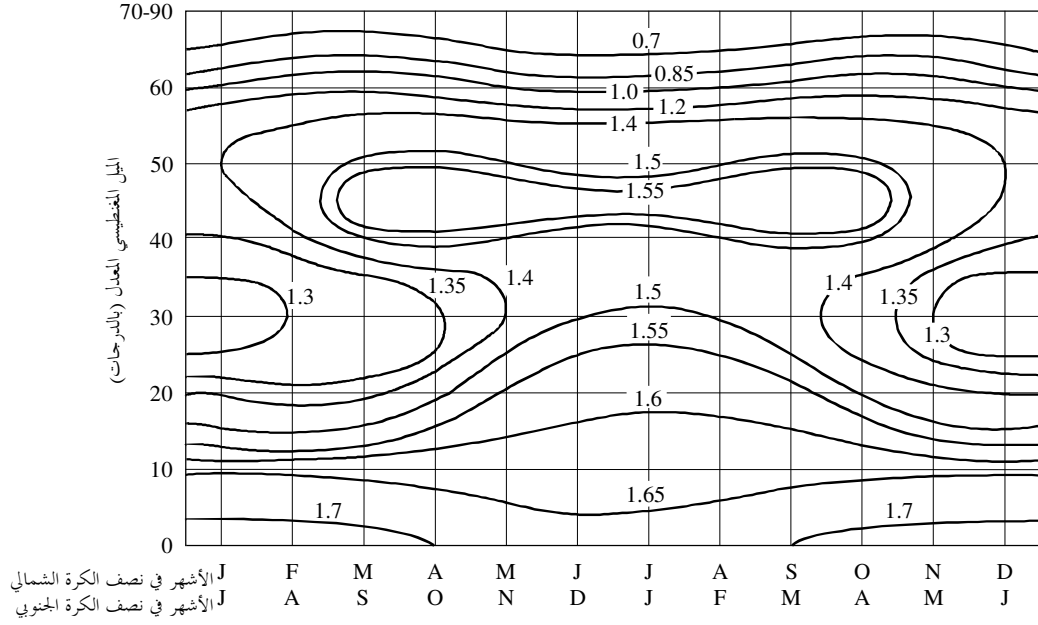
0533-01

الشكل 2

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

0533-02

## الشكل 3

أس الامتصاص النهاري  $p$ 

0533-03

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

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

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

## الجدول 2\*

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

| $G_n$                              | أ) مديات الإرسال أقل من 2 500 km أو مساوية لها |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |          |
|------------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------|
|                                    | التوقيت المحلي عند منتصف المسير، $t$           |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |          |
|                                    | $01 \leq t < 04$                               | $04 \leq t < 07$ | $07 \leq t < 10$ | $10 \leq t < 13$ | $13 \leq t < 16$ | $16 \leq t < 19$ | $19 \leq t < 22$ | $22 \leq t < 01$ |          |
| $77.5^\circ \leq G_n$              | 2.0  | 6.6              | 6.2              | 1.5              | 0.5              | 1.4              | 1.5              | 1.0              | الشفاء   |
| $72.5^\circ \leq G_n < 77.5^\circ$ | 3.4  | 8.3              | 8.6              | 0.9              | 0.5              | 2.5              | 3.0              | 3.0              |          |
| $67.5^\circ \leq G_n < 72.5^\circ$ | 6.2  | 15.6             | 12.8             | 2.3              | 1.5              | 4.6              | 7.0              | 5.0              |          |
| $62.5^\circ \leq G_n < 67.5^\circ$ | 7.0  | 16.0             | 14.0             | 3.6              | 2.0              | 6.8              | 9.8              | 6.6              |          |
| $57.5^\circ \leq G_n < 62.5^\circ$ | 2.0  | 4.5              | 6.6              | 1.4              | 0.8              | 2.7              | 3.0              | 2.0              |          |
| $52.5^\circ \leq G_n < 57.5^\circ$ | 1.3  | 1.0              | 3.2              | 0.3              | 0.4              | 1.8              | 2.3              | 0.9              |          |
| $47.5^\circ \leq G_n < 52.5^\circ$ | 0.9  | 0.6              | 2.2              | 0.2              | 0.2              | 1.2              | 1.5              | 0.6              |          |
| $42.5^\circ \leq G_n < 47.5^\circ$ | 0.4  | 0.3              | 1.1              | 0.1              | 0.1              | 0.6              | 0.7              | 0.3              |          |
| $77.5^\circ \leq G_n$              | 1.4  | 2.5              | 7.4              | 3.8              | 1.0              | 2.4              | 2.4              | 3.3              | الاعتدال |
| $72.5^\circ \leq G_n < 77.5^\circ$ | 3.3  | 11.0             | 11.6             | 5.1              | 2.6              | 4.0              | 6.0              | 7.0              |          |
| $67.5^\circ \leq G_n < 72.5^\circ$ | 6.5  | 12.0             | 21.4             | 8.5              | 4.8              | 6.0              | 10.0             | 13.7             |          |
| $62.5^\circ \leq G_n < 67.5^\circ$ | 6.7  | 11.2             | 17.0             | 9.0              | 7.2              | 9.0              | 10.9             | 15.0             |          |
| $57.5^\circ \leq G_n < 62.5^\circ$ | 2.4  | 4.4              | 7.5              | 5.0              | 2.6              | 4.8              | 5.5              | 6.1              |          |
| $52.5^\circ \leq G_n < 57.5^\circ$ | 1.7  | 2.0              | 5.0              | 3.0              | 2.2              | 4.0              | 3.0              | 4.0              |          |
| $47.5^\circ \leq G_n < 52.5^\circ$ | 1.1  | 1.3              | 3.3              | 2.0              | 1.4              | 2.6              | 2.0              | 2.6              |          |
| $42.5^\circ \leq G_n < 47.5^\circ$ | 0.5  | 0.6              | 1.6              | 1.0              | 0.7              | 1.3              | 1.0              | 1.3              |          |
| $77.5^\circ \leq G_n$              | 2.2  | 2.7              | 1.2              | 2.3              | 2.2              | 3.8              | 4.2              | 3.8              | الصفير   |
| $72.5^\circ \leq G_n < 77.5^\circ$ | 2.4  | 3.0              | 2.8              | 3.0              | 2.7              | 4.2              | 4.8              | 4.5              |          |
| $67.5^\circ \leq G_n < 72.5^\circ$ | 4.9  | 4.2              | 6.2              | 4.5              | 3.8              | 5.4              | 7.7              | 7.2              |          |
| $62.5^\circ \leq G_n < 67.5^\circ$ | 6.5  | 4.8              | 9.0              | 6.0              | 4.8              | 9.1              | 9.5              | 8.9              |          |
| $57.5^\circ \leq G_n < 62.5^\circ$ | 3.2  | 2.7              | 4.0              | 3.0              | 3.0              | 6.5              | 6.7              | 5.0              |          |
| $52.5^\circ \leq G_n < 57.5^\circ$ | 2.5  | 1.8              | 2.4              | 2.3              | 2.6              | 5.0              | 4.6              | 4.0              |          |
| $47.5^\circ \leq G_n < 52.5^\circ$ | 1.6  | 1.2              | 1.6              | 1.5              | 1.7              | 3.3              | 3.1              | 2.6              |          |
| $42.5^\circ \leq G_n < 47.5^\circ$ | 0.8  | 0.6              | 0.8              | 0.7              | 0.8              | 1.6              | 1.5              | 1.3              |          |

\* ملاحظة: يُقرأ هذا الجدول من اليسار إلى اليمين.

الجدول 2 (تتمة)\*

| ب) مديات الإرسال أكبر من 2 500 km   |     |     |     |     |     |     |      |      |          |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|----------|
| التوقيت المحلي عند منتصف المسير، $t$  |     |     |     |     |     |     |      |      |          |
| 01 ≤ $t$ < 04 04 ≤ $t$ < 07 07 ≤ $t$ < 10 10 ≤ $t$ < 13 13 ≤ $t$ < 16 16 ≤ $t$ < 19 19 ≤ $t$ < 22 22 ≤ $t$ < 01 |     |     |     |     |     |     |      |      |          |
| $G_n$   |     |     |     |     |     |     |      |      |          |
| $77.5^\circ \leq G_n$   | 1.5 | 2.7 | 2.5 | 0.8 | 0.0 | 0.9 | 0.8  | 1.6  | الشتاء   |
| $72.5^\circ \leq G_n < 77.5^\circ$  | 2.5 | 4.5 | 4.3 | 0.8 | 0.3 | 1.6 | 2.0  | 4.8  |          |
| $67.5^\circ \leq G_n < 72.5^\circ$  | 5.5 | 5.0 | 7.0 | 1.9 | 0.5 | 3.0 | 4.5  | 9.6  |          |
| $62.5^\circ \leq G_n < 67.5^\circ$  | 5.3 | 7.0 | 5.9 | 2.0 | 0.7 | 4.0 | 4.5  | 10.0 |          |
| $57.5^\circ \leq G_n < 62.5^\circ$  | 1.6 | 2.4 | 2.7 | 0.6 | 0.4 | 1.7 | 1.8  | 3.5  |          |
| $52.5^\circ \leq G_n < 57.5^\circ$  | 0.9 | 1.0 | 1.3 | 0.1 | 0.1 | 1.0 | 1.5  | 1.4  |          |
| $47.5^\circ \leq G_n < 52.5^\circ$  | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | 0.6 | 1.0  | 0.5  |          |
| $42.5^\circ \leq G_n < 47.5^\circ$  | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.5  | 0.4  |          |
| $77.5^\circ \leq G_n$   | 1.0 | 1.2 | 2.7 | 3.0 | 0.6 | 2.0 | 2.3  | 1.6  | الاعتدال |
| $72.5^\circ \leq G_n < 77.5^\circ$  | 1.8 | 2.9 | 4.1 | 5.7 | 1.5 | 3.2 | 5.6  | 3.6  |          |
| $67.5^\circ \leq G_n < 72.5^\circ$  | 3.7 | 5.6 | 7.7 | 8.1 | 3.5 | 5.0 | 9.5  | 7.3  |          |
| $62.5^\circ \leq G_n < 67.5^\circ$  | 3.9 | 5.2 | 7.6 | 9.0 | 5.0 | 7.5 | 10.0 | 7.9  |          |
| $57.5^\circ \leq G_n < 62.5^\circ$  | 1.4 | 2.0 | 3.2 | 3.8 | 1.8 | 4.0 | 5.4  | 3.4  |          |
| $52.5^\circ \leq G_n < 57.5^\circ$  | 0.9 | 0.9 | 1.8 | 2.0 | 1.3 | 3.1 | 2.7  | 2.0  |          |
| $47.5^\circ \leq G_n < 52.5^\circ$  | 0.6 | 0.6 | 1.2 | 1.3 | 0.8 | 2.0 | 1.8  | 1.3  |          |
| $42.5^\circ \leq G_n < 47.5^\circ$  | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 1.0 | 0.9  | 0.6  |          |
| $77.5^\circ \leq G_n$   | 1.9 | 3.8 | 2.2 | 1.1 | 2.1 | 1.2 | 2.3  | 2.4  | الجنيف   |
| $72.5^\circ \leq G_n < 77.5^\circ$  | 1.9 | 4.6 | 2.9 | 1.3 | 2.2 | 1.3 | 2.8  | 2.7  |          |
| $67.5^\circ \leq G_n < 72.5^\circ$  | 4.4 | 6.3 | 5.9 | 1.9 | 3.3 | 1.7 | 4.4  | 4.5  |          |
| $62.5^\circ \leq G_n < 67.5^\circ$  | 5.5 | 8.5 | 7.6 | 2.6 | 4.2 | 3.2 | 5.5  | 5.7  |          |
| $57.5^\circ \leq G_n < 62.5^\circ$  | 2.8 | 3.8 | 3.7 | 1.4 | 2.7 | 1.6 | 4.5  | 3.2  |          |
| $52.5^\circ \leq G_n < 57.5^\circ$  | 2.2 | 2.4 | 2.2 | 1.0 | 2.2 | 1.2 | 4.4  | 2.5  |          |
| $47.5^\circ \leq G_n < 52.5^\circ$  | 1.4 | 1.6 | 1.4 | 0.6 | 1.4 | 0.8 | 2.9  | 1.6  |          |
| $42.5^\circ \leq G_n < 47.5^\circ$  | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.4 | 1.4  | 0.8  |          |

\* ملاحظة: يُقرأ هذا الجدول من اليسار إلى اليمين.



## 3.5 مسيرات يتجاوز طولها 9 000 km

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

تحتسب محصلة متوسط شدة المجال  $E_{tl}$ :

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

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

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

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

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

$G_{tl}$ : أعلى قيمة لكسب هوائي الإرسال عند السمات المطلوب في مدى الارتفاع  $0^\circ$  إلى  $8^\circ$  (dB)

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

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

ولما كانت  $G_{ap}$  في العلاقة أعلاه تميل إلى ما لا نهاية عندما تكون  $D$  من مضاعفات  $\pi R_0$ ، فإنها تحدد بقيمة 15 dB.

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

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

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

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

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

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

$$F2(4000)\text{MUF} = 1,1 F2(3000)\text{MUF} \quad :f_g$$

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

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

ويعطي الجدول 3 قيم  $W$  و  $X$  و  $Y$ . ويحدد سمت مسير الدائرة العظمى عند منتصف كامل المسير وتستعمل هذه الزاوية في الاستكمال الداخلي الخطي للزاوية بين القيم شرق - غرب والقيم شمال - جنوب.

الجدول 3

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

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

$f_L$ : تردد مرجعي أدنى:

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

حيث  $R_{12}$  لا يتشعب بالنسبة للقيم المرتفعة.

يحدد  $\chi$  في المجموع بالنسبة إلى كل عبور لمسير الشعاع عند ارتفاع 90 km. وعندما يكون  $\chi < 90^\circ$ ، يعتبر  $\cos^{0.5} \chi$  مساوياً للصفر.

$i_{90}$ : زاوية الورود عند ارتفاع 90 km

$I$ : يعطى في الجدول 4.

الجدول 4

قيم  $I$  المستعملة في المعادلة الخاصة بالتردد  $f_L$

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

\* ملاحظة: يُقرأ هذا الجدول من اليسار إلى اليمين.

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

## الجدول 5

قيم عامل الشذوذ في الشتاء  $A_w$  عند خط العرض الجغرافي  $60^\circ$   
المستعمل في المعادلة الخاصة بالتردد  $f_L$

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

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

حيث:

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

ويحسب  $f_L$  خلال الساعات الثلاث التالية وفقاً للصيغة التالية:

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

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

#### 4.5 مسيرات بين 7 000 و 9 000 km

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

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

على أساس

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

$$X_s = 10^{0.01 E_{ts}} \quad \text{حيث:}$$

$$X_l = 10^{0.01 E_{tl}} \quad \text{و}$$

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

#### 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:

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

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:

$$(38) \quad P_r = 10 \log_{10} \sum_{w=1}^N 10^{P_{rw}/10} \quad \text{dBW}$$

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

وتحدد القدرة، في المدى المتوسط 7 000 إلى 9 000 km من المعادلة (36) 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 ثابتة بولتزمان، ودرجة الحرارة المرجعية  $T$  بمقدار 288 K. فعندما يستعمل، عموماً، هوائي استقبال عملي آخر فقد يختلف عامل الضوضاء الناتج عن هذه القيمة  $F_a$ . ولكن بما أن معطيات قياس كاملة عن الضوضاء في هوائيات مختلفة غير متوفرة، فقد يكون من المناسب أن يفترض تطبيق القيمة  $F_a$  الناتجة في التوصية ITU-R P.372 كتقدير أولي. ومن ثم فإن المتوسط الشهري لنسبة الإشارة إلى الضوضاء  $S/N$  (dB) المحققة داخل عرض نطاق  $b$  (Hz) هو:

$$(39) \quad S/N = P_r - F_a - 10 \log_{10} b + 204$$

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 وقدرة الإشارة المستقبلية ونسبة الإشارة إلى الضوضاء ( $S/N$ ) من أجل نسبة مئوية محددة من الوقت بدلالة انحرافات الإشارة والضوضاء خلال ساعة واحدة ومن يوم إلى آخر. وفي غياب معطيات أخرى يمكن اعتماد النسب المسموح بها لخبو الإشارة هي النسب التي تبناها المؤتمر WARC HFBC-87 مع انحراف قصير الأجل للعشرية العليا بقيمة 5 dB وانحراف للعشرية الدنيا بقيمة 8 dB. أما بالنسبة إلى خبو الإشارة طويل الأجل فتؤخذ انحرافات العشرية بدلالة نسبة تردد التشغيل إلى التردد MUF الأساسي المشار إليه في الجدول 2 من التوصية ITU-R P.842.

أما في حالة الضوضاء الجوية فتؤخذ الانحرافات العشرية لقدرة الضوضاء التي يسببها التغير من يوم إلى آخر من التوصية ITU-R P.372. ولا تطبق حالياً أية نسبة يسمح بها للتغير في خلال الساعة الواحدة. وتؤخذ الانحرافات العشرية للضوضاء الاصطناعية في غياب المعلومات المباشرة عن التغير الزمني على النحو المحدد للانحرافات العشرية في التوصية ITU-R P.372 على الرغم من أنها تتعلق حصراً بتركيبة من احتمالات التغير في المكان والزمان. وتعتبر التغيرات المركبة للقيمة العشرية للضوضاء المحرّية خلال الساعة الواحدة ومن يوم إلى آخر مساوية لقيمة  $2 \pm$  dB.

تعطي نسبة الإشارة إلى الضوضاء التي يتم تجاوزها أثناء 90% من الوقت في المعادلة:

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

حيث:

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

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

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

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

## 9 أدنى تردد مستعمل (LUF)

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

## 10 اعتمادية الدارة الأساسية (BCR)

### 1.10 اعتمادية الأنظمة المشكّلة التماثلية

تعرف الاعتمادية BCR في التوصية ITU-R P.842، حيث الاعتمادية هي احتمال تحقيق معايير الأداء المحددة (أي نسبة الإشارة إلى الضوضاء المحددة). وفي حالة الأنظمة التماثلية تقدر على أساس نسب الإشارة إلى الضوضاء التي تدمج التغييرات العشرية لشدة مجال الإشارة والضوضاء الخلفية خلال الساعة الواحدة ومن يوم إلى آخر. ويرد وصف التوزيع حول القيمة المتوسطة في الفقرة 8 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 نسبة الإشارة إلى الضوضاء 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 المبسط لوظيفة النقل في القناة. ويقوم تقدير الاعتمادية فيما يتعلق بطريقة التشكيل المعينة على أربع معلمات: نسبة الإشارة إلى الضوضاء 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 الانتشار،  $A$ : 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 الانتشار،  $A$ ، 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  $F_w$ .

نافذة الوقت  $T_w$ : وهي الفاصل الزمني الذي تعمل ضمنه أساليب الإشارة على تحقيق أداء النظام والذي يحدُّ تجاوزه من هذا الأداء.

نافذة التردد  $F_w$ : وهي فاصل التردد الذي تعمل أساليب الإشارة ضمنه على تحقيق أداء النظام والذي يحدُّ تجاوزه من هذا الأداء.

### 2.2.10 وقت الانتشار

يُحسب وقت الانتشار لأسلوب ما بالمعادلة التالية:

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

حيث:

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

$c$ : سرعة الضوء (km/s) في الغطاء الحر.

يمكن تحديد وقت الانتشار التفاضلي استناداً إلى أوقات انتشار كل أسلوب.

### 3.2.10 إجراء التنبؤ بالاعتمادية

يستخدم الإجراء التالي في التنبؤ بالاعتمادية:

المسيرات التي يصل طولها إلى 9 000 km:

الخطوة 1 تتحدد شدة المجال للأسلوب المهيمن،  $E_w$ ، باتباع الطريقة الواردة في الفقرتين 2.5 و 3.5.

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

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

الخطوة 4 فيما يتعلق بالمسيرات التي يصل طولها إلى 7 000 km، يتم جمع قدرة الأساليب الواصلة في النافذة، أو يستخدم

إجراء الاستكمال الداخلي الوارد في الفقرة 4.5 فيما يتعلق بالمسيرات التي يتراوح طولها بين 7 000 و 9 000 km،

وتتحدد اعتمادية الدارة الأساسية (BCR) باستخدام الإجراء الوارد في الفقرة 1.10 والذي يستعمل إجراء

الجدول 1 من التوصية ITU-R P.842. وتستعمل نسبة الإشارة إلى الضوضاء المطلوبة،  $S/N_r$ ، في الخطوة 10 من

ذلك الجدول.

الخطوة 5 إذا كان لأي أسلوب نشيط من الأساليب التي تحددت في الخطوة 2 أوقات انتشار تفاضلي تتجاوز نافذة الوقت،  $T_w$ ، فإن نقص الاعتمادية الناجم عن هذه الأساليب تتحدد باستخدام طريقة مماثلة لتلك الخاصة باعتمادية الدارة الإجمالية الواردة في الجدول 3 من التوصية ITU-R P.842، والتي تستعيز عن نسب الحماية النسبية الواردة في الخطوة 3 من الجدول 3 بالنسبة  $A$  وتتجاهل عامل التغير من يوم إلى يوم بإعطاء جميع معلمات الخطوتين 5 و 8 القيمة 0 dB. وعامل انحطاط الأساليب المتعددة،  $R_M$ ، هو العامل الناتج في الخطوة 12 من الجدول 3.

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 km

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

### 3.10 الانتشار الاستوائي

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

الخطوة 7 إذا انطوى المسير على تمديد وقت مرده الانتشار في الأوقات والمناطق الجغرافية المحددة في التذييل (1) طبقت دالة انتشار الوقت في أوقات الزيادة على كل أسلوب داخل نافذة الوقت وشدة الانتشار  $p_{Tspread}$  الموجود في حافة نافذة الوقت  $T_w$ .

الخطوة 8 إذا انطوى المسير على تمديد تردد مرده الانتشار في الأوقات وفي المناطق الجغرافية المحددة في التذييل (1) طبقت دالة انتشار التردد  $p_{Fspread}$  على الأسلوب المهيمن ووجدت شدة انتشار التردد متناظرة في حواف نافذة التردد  $F_w$ .

الخطوة 9 إذا تجاوزت نسبة أي  $p_{Tspread}$  و/أو  $p_{Fspread}$  إلى سوية المكونة المرآوية للأسلوب المهيمن، كما يرد في الخطوة (1) أعلاه على حواف النوافذ النسبة  $A$ ، كرر الحساب كما في الخطوة 5 أعلاه (بإستبدال معلمات  $I_i$  الخطوة 2 من الجدول 3 (التوصية ITU-R P.842) بالمعلمة  $p_{Tspread}$  و/أو  $p_{Fspread}$ ) من أجل إعطاء أقصى احتمال للانحطاط الناجم عن الانتشار،  $R_{Smax}$ .

الخطوة 10 تعطى اعتمادية الدارة الإجمالية في الدالة التالية:

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

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

## التذييل 1

## للملحق 1

## نموذج الانتثار الاستوائي لإشارات الموجات الديكامترية (HF)

1 يعطى نموذج الانتثار 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  $\tau$  أكبر من  $\tau_m$ .

حيث:

$p_m$ : القدرة المتيسرة المستقبلية من الانعكاس المرآوي للأسلوب

$\tau$ : وقت الانتشار المعني

$\tau_m$ : وقت الانتشار في الأسلوب المرآوي

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

2 الانتثار في تمديد التردد متناظر حول التردد المرسل وشكل تغيره مماثل في تمديد 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 الانتثار في يوم محدد في شهر،  $prob_{occ}$ ، يعطى في العلاقة:

$$prob_{occ} = F_{\lambda_d} F_{T_1} F_R F_S$$

حيث:

$$F_{\lambda_d} = 1 \quad \text{for } 0^\circ < |\lambda_d| < 15^\circ$$

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

$$F_{\lambda_d} = 0 \quad \text{for } 25^\circ < |\lambda_d| < 90^\circ$$

حيث  $\lambda_d$  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 عدد الشهور.

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 المهيمن تقع ضمن حدود التداخل بين الرموز المخصصة للنظام، يتوقع أن يكون النظام ضمن الاحتمال الذي يعطيه نموذج احتمال ظهور الانتشار.