

## التوصية ITU-R F.1102-2

## خصائص أنظمة المرحلات الراديوية المشغلة في نطاقات التردد فوق 17 GHz تقريباً

(المسألة ITU-R 107/9)

(2005-2002-1994)

### النطاق

تتناول هذه التوصية خصائص أنظمة المرحلات الراديوية في نطاقات تردد فوق 17 GHz تقريباً. يوفر الملحق 1 تطبيقات ممكنة، واعتبارات بشأن طول القفزة، والوظائف الأساسية للمرسل والمستقبل وكذلك الخصائص التقنية/التشغيلية الأخرى المطلوبة لتنفيذ أنظمة المرحلات الراديوية في نطاق التردد هذا.

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن نطاقات التردد فوق 17 GHz تقريباً موزعة على الخدمة الثابتة وعلى خدمات أخرى؛
- ب) أن خصائص الانتشار فوق 17 GHz تقريباً تعتمد أساساً على الجبو والامتصاص الناجمين عن الهواطل ولا تناسب إلا تطبيقات الأنظمة الراديوية قصيرة المدى؛
- ج) أن التطبيقات المختلفة لمختلف الإدارات قد تتطلب ترتيبات مختلفة لقنوات التردد الراديوي؛
- د) أنه يجوز لخدمات متعددة تختلف لديها خصائص الإرسال والسعة أن تُستعمل في آن معاً نفس نطاق الترددات؛
- هـ) أن مختلف التطبيقات قد تتطلب عروض نطاق مختلفة؛
- و) أن التطبيقات الجديدة والتشكيلات الجديدة يجري استعمالها لنشر أنظمة المرحلات الراديوية عالية الكثافة في نطاقات فوق 17 GHz تقريباً،

### توصي

- 1 أن يراعي تصميم النظام تأثيرات الانقطاع الناجم عن الهواطل لأنها تحدد بطريقة حاسمة طول القفزة؛
- 2 أن تستعمل نطاقات التردد فوق 17 GHz تقريباً من أجل تطبيقات قصيرة المدى تسمح باستخدام تجهيزات مدجة ذات هوائيات أصغر؛
- 3 أن تستند ترتيبات قنوات التردد الراديوي إلى مخططات متجانسة وفقاً للتوصية ITU-R F.746، بحيث يسمح باستعمال خدمات مختلطة وتحقيق اقتصاد في الطيف في نفس الوقت؛
- 4 أن تطبق تقنيات التشكيل الرقمي والتماثلي عريض النطاق؛
- 5 أن يستعمل الملحق 1 مرجعاً للإرشادات الخاصة بتصميم النظام.

## الملحق 1

خصائص أنظمة المرحلات الراديوية المشغلة  
في نطاقات التردد فوق 17 GHz تقريباً

## 1 مقدمة

توزع بعض نطاقات التردد فوق 17 GHz تقريباً للخدمة الثابتة على الصعيد العالمي. ويعود الانقطاع على هذه الترددات في المقام الأول إلى الخبو الناجم عن الهواطل، التي لا تدوم أكثر من 10 s. ومن ثم يكون التيسر وطول المسير من المرسل إلى المستقبل (طول القفزة) الممكن تحقيقهما من العلامات ذات الأهمية الخاصة لتنفيذ مثل هذه الأنظمة. وتدرس العلامتان في هذا الملحق بالنسبة إلى أنظمة تستعمل عادة في الشبكة المحلية.

## 2 تطبيقات

## 1.2 النفاذ المحلي/ الشبكات المحلية

تستعمل أساساً نطاقات التردد فوق 17 GHz تقريباً للوصلات قصيرة المدى. ويمكن أن توفر تجهيزات راديوية مترابطة وموثوقة إرسال الصوت والمعطيات والإشارات الفيديوية والمعطيات عريضة النطاق.

والتطبيقات الرئيسية هي:

- التوصيل البيني لشبكات محلية LAN؛
- التوصيل البيني بين شبكات محلية LAN (IEEE 802.3/Ethernet and IEEE 802.5/Token Ring) مع سعة إرسال قدرها 10 Mbit/s؛
- التوصيل البيني بين شبكات محلية LAN (Ethernet) بما في ذلك IEEE 802.11a/IEEE RLANs (802.11b/HiperLAN2/HiSWANa) بسعة إرسال قدرها 100 Mbit/s؛
- الإرسال الفيديوي؛
- وصلات المشترك؛
- وصلات زمرة رقمية أولية أو وصلات معطيات عالية السرعة من المركز الطرفي إلى مباني المستعملين؛
- تطبيقات الهاتف الخليوي؛
- التوصيل البيني بين بدالات الهاتف الخليوي ومحطات القاعدة؛
- تطبيقات الإغاثة؛
- التجهيزات الراديوية التي تنقل والمستعملة للوصلات الاحتياطية عندما تفشل أنظمة الألياف البصرية أو دارات أرضية أخرى؛
- إفعال الحلقة أو التوصيل من نقطة إلى نقطة في شبكة النفاذ ذات التسلسل التراتبي الرقمي (SDH)؛
- شبكات النفاذ عالية الكثافة، مثلاً، في التطبيقات القائمة على المشتركين.

وهذه التطبيقات مصنفة في الجدول 1 بحسب الفئة.

### الجدول 1

#### تصنيف التطبيقات

طول القفزة	محتوى الإشارة	سعة الإرسال	تشكيلة الوصلة المادية	
عدة عشرات من الأمتار إلى كيلومتر واحد	معطيات	قدرها 10 Mbit/s	من المستعمل إلى مبنى المستعمل	التوصيل البيني للشبكات LAN
عدة كيلومترات إلى عشرات الكيلومترات	معطيات أو إشارات فيديوية	تماثلي أو معدل زمرة رقمية أولية أو سعة PDH أعلى	من المركز الطرفي إلى مبنى المستعمل	وصلات المشترك
عدة كيلومترات إلى عشرات الكيلومترات	صوت أو معطيات	من 2 Mbit/s وحتى STM-1	بين البدالة الهاتفية للنظام الخلوي ومحطة القاعدة الراديوية	تطبيقات الهاتف الخليوي
عدة كيلومترات إلى عشرات الكيلومترات	صوت أو معطيات أو إشارات فيديوية	تماثلي أو معدل زمرة رقمية أولية - أو سعة PDH أعلى أو SDH	احتياطي لوصلات الألياف البصرية	تجهيزات تنقل لعمليات الإغاثة (انظر الملاحظة 1)
عدة كيلومترات إلى عشرات الكيلومترات	حاوية تقديرية (Vc)	تراتب SDH	إقفال الحلقة ADM/توصيل بيني أو تمديد رافد	شبكة نفاذ SDH
جزء من الكيلومتر وحتى بضعة كيلومترات	معطيات وصوت	حتى STM-1	نفاذ مباشر إلى المشترك	نفاذ عالي الكثافة يستند إلى المشترك
عدة عشرات من الأمتار	معطيات وصوت	قدرها 100 Mbit/s	من مبنى المستعمل إلى المشترك	وصلة لاسلكية بتوصيل رأسي

ADM : معدد إرسال إضافة / إسقاط

PDH : تراتب رقمي متقارب التزامن

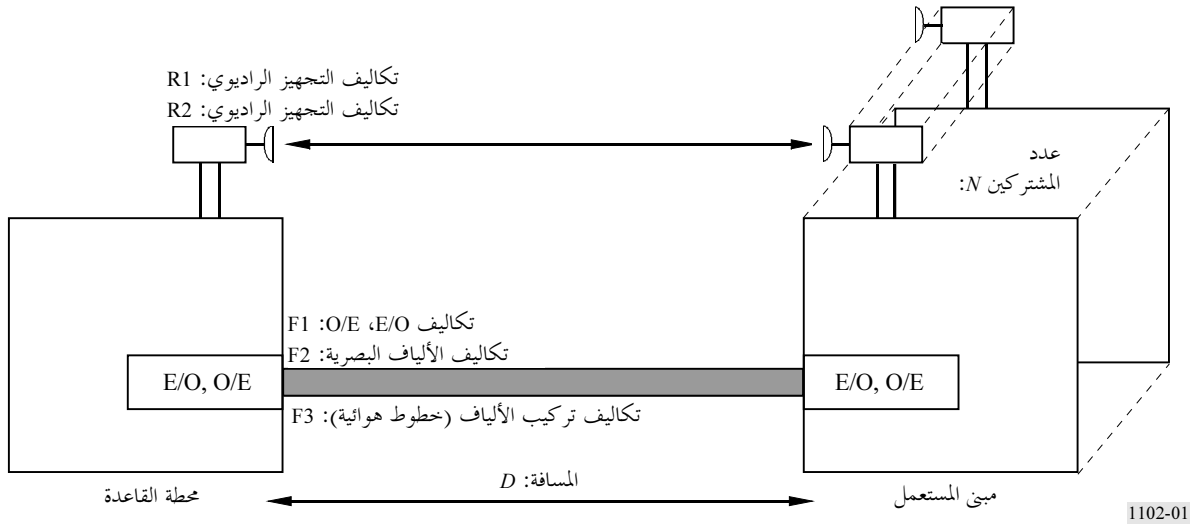
SDH : تراتب رقمي متزامن

الملاحظة 1 - راجع التوصية ITU-R F.1105.

## 2.2 مقارنة التكاليف بين الوصلات بالألياف والوصلات الراديوية في جزء النفاذ

يتطلب نظام بالألياف البصرية أعمال بناء مستمرة على طول طريق الكبل. ومن ناحية أخرى لا تتطلب الأنظمة الراديوية مثل هذه الأعمال إلا عند محطات الإرسال والاستقبال. ولهذا السبب، كلما كانت المسافة بين المواقع كبيرة، كلما زادت تكاليف نظام بالألياف. ويبين الشكل 1 نموذجاً بسيطاً لمقارنة التكاليف.

الشكل 1  
النموذج المقترض



تعطي العلاقة التالية التكلفة  $R$  لإدخال نظام راديوي:

$$R = (R1 + R2) N$$

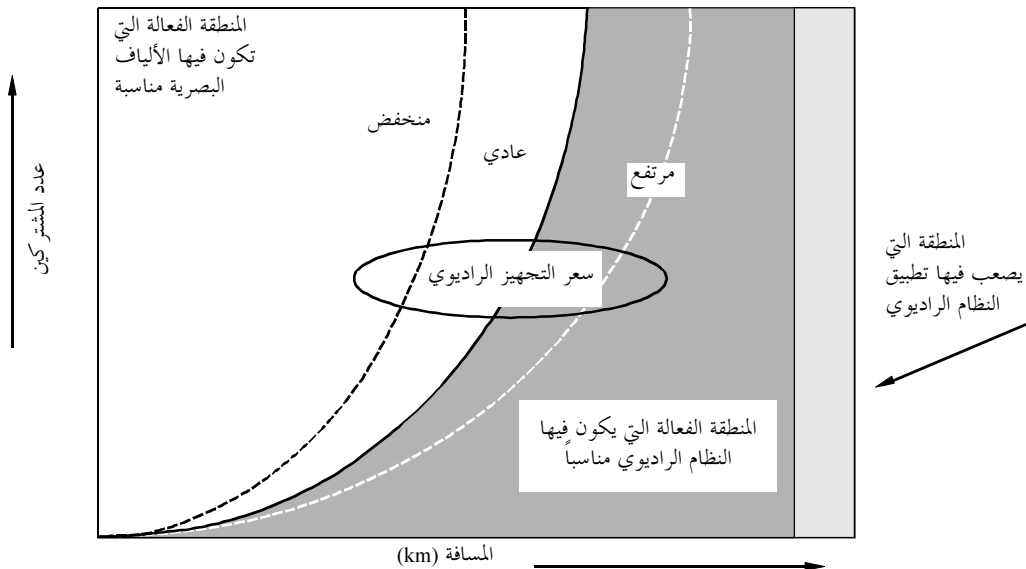
وتعطي العلاقة التالية التكلفة  $F$  لإدخال نظام بالألياف البصرية:

$$F = F1 N + (F2 + F3) N D$$

ويبين الشكل 2 نتيجة مقارنة التكاليف. فوفقاً للشكل 2، تتناقص تكاليف النظام الراديوي بالنسبة إلى نظام بالألياف كلما تناقصت المسافة، مع نفس عدد المشتركين. وإضافة إلى ذلك، تبقى الأنظمة الراديوية أفضل، مع المسافة نفسها، عندما يكون عدد المشتركين صغيراً. بالإضافة إلى ذلك، تتسع أيضاً منطقة تطبيق النظام الراديوي اتساعاً ملموساً كلما زادت المسافة.

الشكل 2

نتائج مقارنة التكاليف بين الأنظمة بالألياف والأنظمة الراديوية



وإذا لم تؤخذ في الاعتبار سوى التكاليف، فكلما زادت المسافة، كلما توسعت منطقة تطبيق النظام الراديوي. بيد أن من الضروري أن تراعى مسألة تحديد مسافة انتشار الأنظمة الراديوية التي تستعمل نطاقات التردد فوق 17 GHz تقريباً بسبب التوهين الناجم عن الأمطار. ولذلك فإن تيسير وصلات قصيرة المدى ومتعددة القفزات سيرجح كفة الميزان من أجل تفضيل أنظمة الألياف، ولكن عادة ما تكون الأنظمة متعددة القفزات نادرة عموماً في العروة المحلية. ويستعمل، في التطبيق العملي، خليطاً من الأنظمة بالألياف والأنظمة الراديوية، ويتوقف ذلك على أي النظامين فعال التكاليف وهو أفضل عملياً في الجزء الخاص بالتطبيق.

### 3.2 الانتشار السريع

يعتبر أن إحدى خصائص الأنظمة الراديوية هي السرعة التي يمكن أن توضع فيها بالخدمة. فالأنظمة بالألياف تتطلب تركيب ألياف بين المواقع التي يجب أن تؤمن فيها الاتصالات، وهذا يعني فترة بناء طويلة إلى أن توضع الخطوط في الخدمة. وتزايد بشكل خاص فترة البناء تزايداً ملموساً لتركيب الألياف البصرية تحت الأرض مقارنة بتركيبها على الأعمدة. وقد توجد أيضاً حالات يكون فيها تركيب الألياف محالاً بسبب استحالة الحصول على حق العبور. ويمثل استعمال الوصلات الراديوية لتسهيل تركيب أنظمة التلفزيون بالكبل في مثل هذه الحالات، تنفيذاً معروفاً لهذه الخاصية. غير أن فترة دخول الأنظمة الراديوية في الخدمة قصيرة جداً لأنها لا تتطلب سوى التركيب في المواقع التي يجب أن تؤمن فيها الاتصالات. وهذا يجعل من الممكن دخول الدارات المفتوحة الخدمة خلال بضع ساعات. ومع أن إجراءات تخطيط الوصلة والترخيص وإفساح الموقع تزيد من وقت الدخول في الخدمة، فالأرجح أن تكون هذه الفترة أقصر بكثير من الفترة اللازمة لوصلة بالألياف.

ومن الضروري التحقق، في الأنظمة الراديوية، من شروط خط البصر. وتجري حالياً دراسات حول التحقق من خط البصر بواسطة الحاسوب وعبر وضع قواعد معطيات تتعلق بالخصائص الجغرافية والمباني، وربما كان من المفيد تنفيذ إجراء سريع لتراصف الهوائيات.

وتعتبر السهولة النسبية لإعادة انتشار التجهيزات الراديوية إحدى خصائصها الجذابة. فالأنظمة الراديوية التي تنقل هي أكثر ملاءمة لاتصالات الإنقاذ السريع في حالات الكوارث وبالنسبة إلى الأعطال في الوصلات والألياف وما شابه ذلك.

### 3 اعتبارات تتعلق بطول القفزات

لا يمكن أن تحدد خاصية شاملة لطول القفزة/التردد، غير أن المعلمات التالية تساهم في أهداف التيسر بالنسبة إلى طول القفزة:

- التوهين النوعي في الفضاء الحر:  $A_0$  (dB/km)

- يتوقف على التردد، انظر التوصية ITU-R P.525.

- التوهين النوعي الناجم عن الامتصاص الغازي  $O_2$  و  $H_2O$ :  $A_\alpha$  (dB/km)

- يتوقف على التردد في نطاقات التردد ذات الصلة، انظر التوصية ITU-R P.676.

- الكسب المتناحي للهوائي:  $G_i$  (dB)

- قيمة ثابتة تتوقف على أبعاد الهوائي، دون وجود حدود نظرية علوية، لكنها محدودة عملياً، من أجل إتاحة ضبط اتجاه التسديد بواسطة استعمال فتحة الحزمة الرئيسية بمقدار 3 dB (ولا تكون الزاوية عادة أصبغ من  $1^\circ$ ).

ويؤدي ذلك إلى حدود عملية قدرها  $G \cong 40$  dBi.

- قدرة الإرسال:  $P_T$ (dBm)
- تتعلق بالتكنولوجيا المتيسرة الخاصة بتوليد الموجة الحاملة RF وتضخيمها وبشرط أن يكون نسق التشكيل خطياً.
- عتبة معدل الخطأ في البتات (BER):  $P_{Th}$ (dBm)
- تتعلق بالمعدل BER المعني الذي يحدد عنده هدف التيسر. وتتعلق هذه المعلمة بعامل ضوضاء المستقبل، ومعدل البتات المرسل وأداء نسق التشكيل في نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء.
- التوهين الناجم عن الأمطار خلال النسبة المئوية للوقت المستهدف:  $R$  | % (dB)
- يقدر على أساس شدة سقوط الأمطار أثناء النسبة المئوية من وقت عدم التيسر المعني بواسطة الطريقة المشار إليها في التوصيتين ITU-R P.530 و ITU-R P.838 وباستعمال الإحصاءات المذكورة في التوصية ITU-R P.837.
- ويمكن أن تقسم المعلومات أعلاه إلى زمريتين (انظر الملاحظة 1):

- "كسب القفزة" (HG) كقيمة ثابتة تتوقف على التنفيذ:

$$(1) \quad HG = 2Gi + |P_{Th}| + P_T \quad \text{dB}$$

- "توهين القفزة" (HA| %) يتوقف على معدل المطر/التردد من أجل نسبة مئوية معينة من الوقت على طول  $\ell$  (km) القفزة كما تحددها التوصية ITU-R P.530:

$$(2) \quad HA| \% = R| \% + (A_0 + A_\alpha) \ell$$

ويمكن أن تستخلص، باستعمال المنهجية الواردة أعلاه، رسوم بيانية على غرار الرسوم البيانية الواردة في الأشكال 3 و 4 و 5 (المحسوبة كمثال للمناطق المناخية B و G و K مع معلمتي التردد والنسبة المئوية من عدم التيسر (U%))، ويمكن بذلك الحصول على أقصى طول للقفزة من أجل التطبيق المعين/والتردد/والمنطقة المناخية/والنسبة المئوية الزمنية المحددة.

الملاحظة 1- لما كانت الأنظمة الراديوية فوق 17 GHz تقريباً مزودة عموماً بهوائيات متكاملة، تحمل في هذه الفرضيات خسائر المغذي؛ وفي حالة توصيل التغذية بين التجهيز والهوائي، تتناقص خسارة المغذي مع كسب القفزة (HG).

#### 4 التطبيقات الراديوية الرقمية

تؤدي شروط التطبيق وتيسر الطيف وظروف الانتشار والتكنولوجيا المتيسرة فوق 17 GHz تقريباً إلى استخدام تجهيزات للتطبيقات تختلف اختلافاً ملموساً عن الشروط السائدة تحت 17 GHz تقريباً. غير أن الانتقال إلى نطاقات التردد 13 GHz ليس انتقالاً مفاجئاً بل تدريجياً.

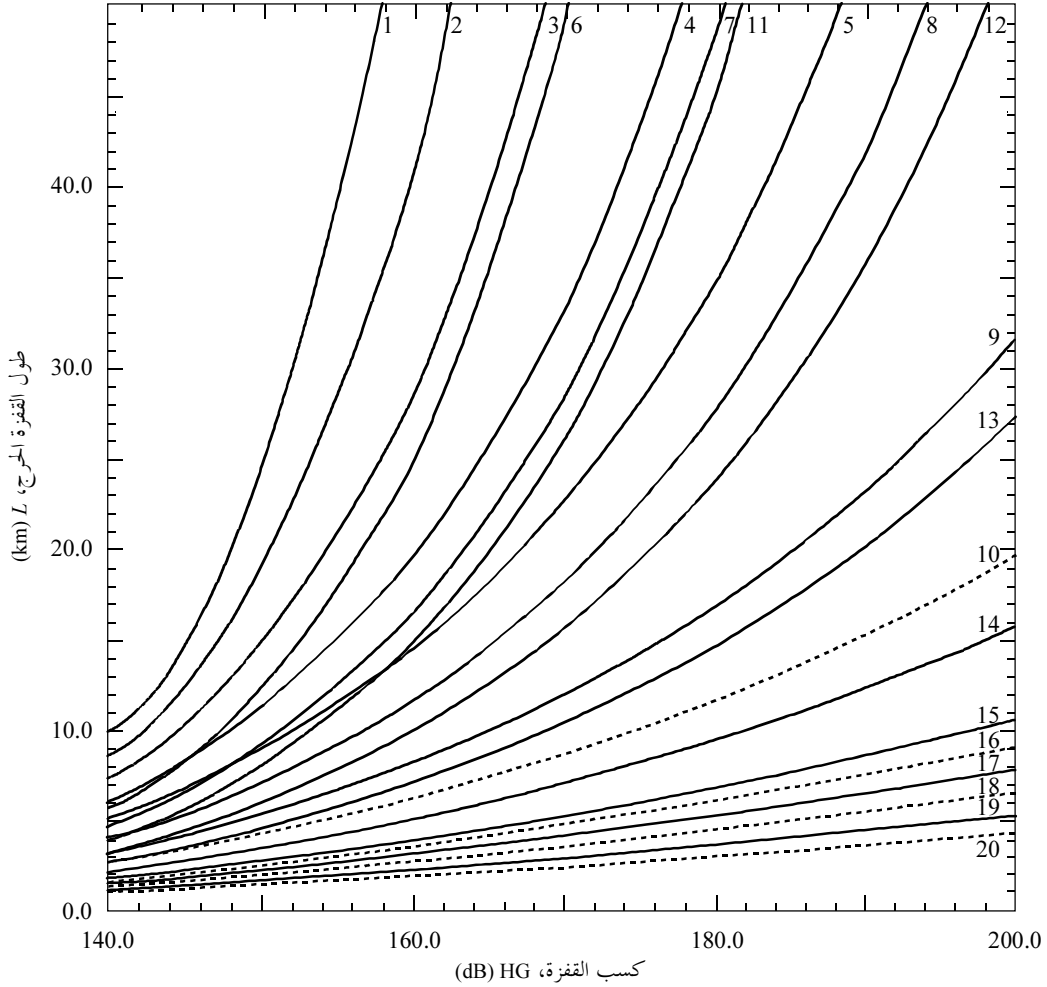
والخصائص الرئيسية المميزة للتطبيقات الراديوية الرقمية فوق 17 GHz تقريباً هي التالية:

- إمكانات إرسال عديدة،
- تقسيم التجهيزات إلى وحدة خارجية تتضمن طرفاً راديوياً أمامياً مربوطاً بالهوائي، ووحدة داخلية تتضمن المجموعات الفرعية في النطاق الأساسي، والمجموعات الفرعية IF كذلك في حالات عديدة. ويسمح ذلك، تقريباً، بتجنب خسارة

المغذي في دليل الموجة التي قد تكون خسارة جسيمة، ويوفر مرونة كبيرة في تركيب التجهيزات عبر توصيل بيني بخسارة منخفضة عند النطاق الأساسي و/أو عند الترددات IF؛  
تطبيقات جديدة تتجه صوب تشكيلات عالية الرتبة وكفاءة طيفية تقنية أعلى.

## الشكل 3

## طول القفزة الحرج بدلالة كسب القفزة للمنطقة المناخية B مع استقطاب أفقي



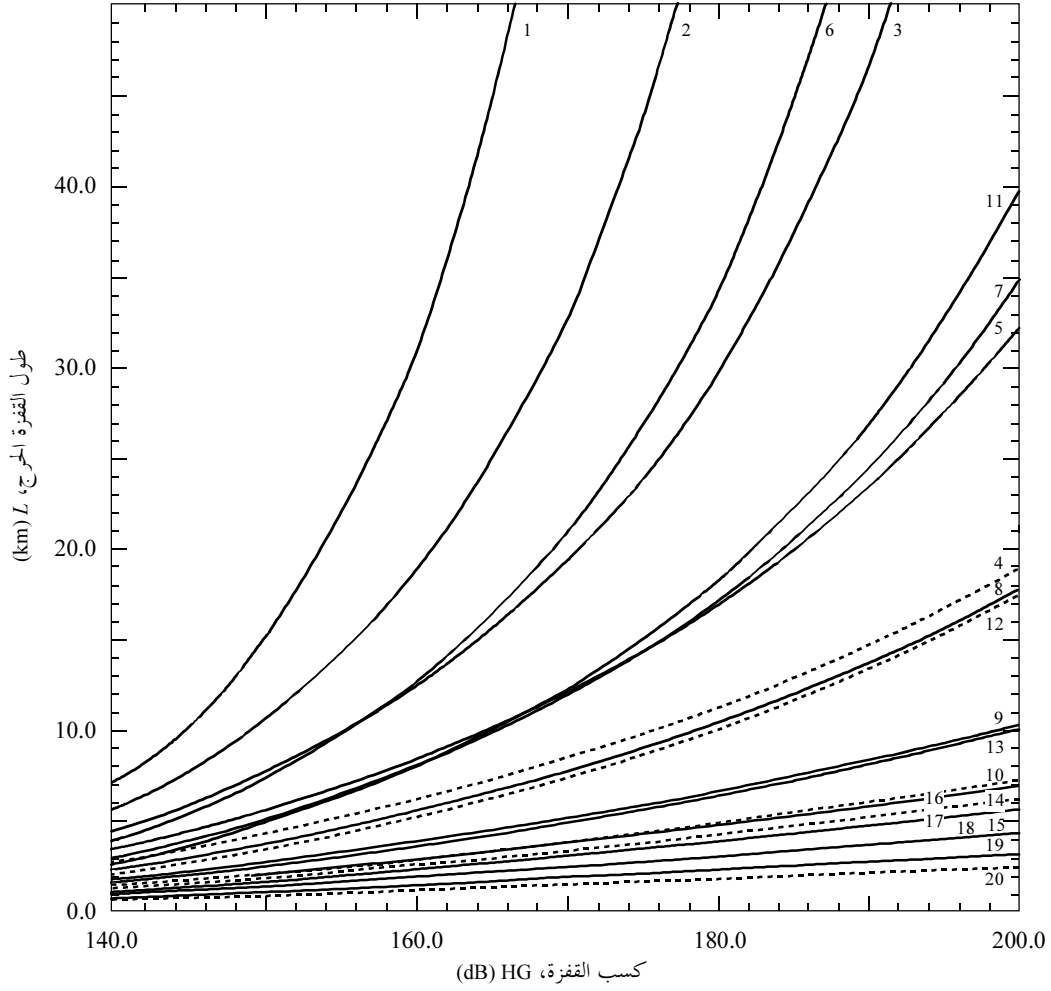
المنحني	$f$ (GHz)	$U$ %	المنحني	$f$ (GHz)	$U$ %
1	18	0.1	11	38	0.1
2	18	0.03	12	38	0.03
3	18	0.01	13	38	0.01
4	18	0.003	14	38	0.003
5	18	0.001	15	38	0.001
6	28	0.1	16	55	0.1
7	28	0.03	17	55	0.03
8	28	0.01	18	55	0.01
9	28	0.003	19	55	0.003
10	28	0.001	20	55	0.001

$U$ : عدم التيسر (%)

1102-03

الشكل 4

طول القفزة الحرج بدلالة كسب القفزة للمنطقة المناخية G مع استقطاب أفقي



المنحني	$f$ (GHz)	$U$ %	المنحني	$f$ (GHz)	$U$ %
1	18	0.1	11	38	0.1
2	18	0.03	12	38	0.03
3	18	0.01	13	38	0.01
4	18	0.001	14	38	0.001
5	18	0.003	15	38	0.003
6	28	0.1	16	55	0.1
7	28	0.03	17	55	0.03
8	28	0.01	18	55	0.01
9	28	0.001	19	55	0.001
10	28	0.003	20	55	0.003

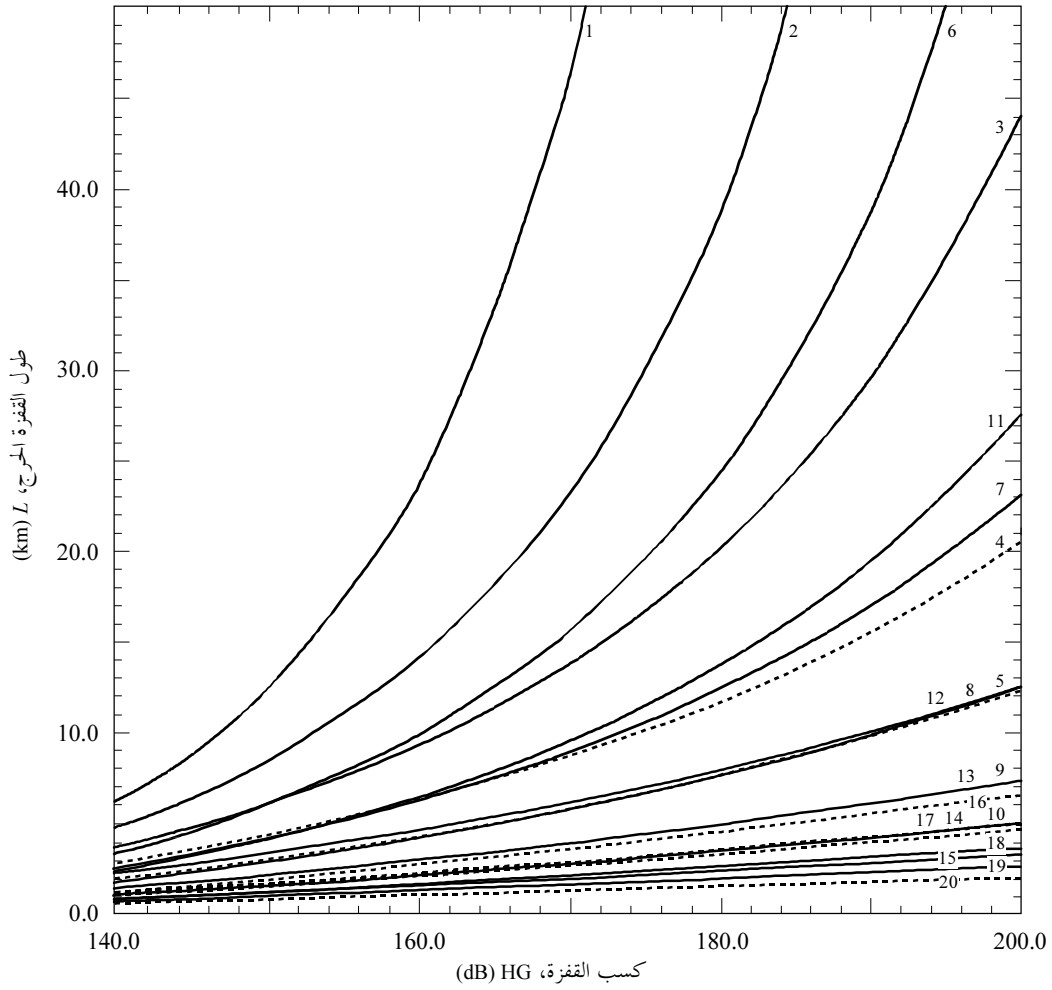
$U$ : عدم التيسر (%)

1102-04



الشكل 5

طول القفزة الحرج بدلالة كسب القفزة للمنطقة المناخية K مع استقطاب أفقي



المنحني	f(GHz)	U%	المنحني	f(GHz)	U%
1	18	0.1	11	38	0.1
2	18	0.03	12	38	0.03
3	18	0.01	13	38	0.01
4	18	0.001	14	38	0.001
5	18	0.003	15	38	0.003
6	28	0.1	16	55	0.1
7	28	0.03	17	55	0.03
8	28	0.01	18	55	0.01
9	28	0.001	19	55	0.001
10	28	0.003	20	55	0.003

U: عدم التيسر (%)

1102-05

#### 1.4 التسويات في التصميم

تعتبر التسويات الخاصة بالتصميم معقدة نسبياً بسبب تعدد العلاقات المتبادلة. غير أن من الممكن، لتسهيل المهمة، أن تقسم معايير التسوية بطرائق مختلفة وفقاً لأهداف الاستغلال الأمثل المحددة.

فمن المفيد، على سبيل المثال، التمييز بين نوعية الخدمة ومعيار سهولة الاستعمال كما هو مبين في الجدول 2.

## الجدول 2

سهولة الاستعمال	نوعية الخدمة
مرونة التطبيق	أداء الإرسال
سهولة الصيانة	كسب النظام
القد والوزن	كفاءة استعمال الطيف
حماية البيئة	كفاءة القدرة

ويمكن أن يعاد ترتيب معايير التسوية، وفقاً للحاجة. فتكون على سبيل المثال، تسوية نوعية الخدمة الأولية، من أجل تركيبة مختارة من السعة وأداء الإرسال، تسوية بين كسب النظام وكفاءة استخدام الطيف. وإذا تيسرت خيارات للتحسين مثل تصحيح الخطأ فتتوسع المجموعة الفرعية من معايير التسوية وتزيد من مرونة التصميم.

ويمكن أن تنتمي بعض المعايير الإضافية لتسوية النظام للفتتين. فيؤثر مثلاً متوسط الوقت MTBF في نوعية الخدمة وكذلك سهولة الاستعمال.

ويكون المستعمل حسن الاطلاع، في حالات عديدة، قادراً على التعرف إلى تسويات التصميم الأساسية من بطاقة معطيات التجهيز، لكن ثمة معلومات إضافية قد تكون ضرورية في بعض الحالات من أجل تقييم التجهيز المعني تقييماً تاماً.

ومن ناحية أخرى، تقع على المسؤول عن تصميم التجهيزات مهمة هائلة وهي تحويل أهداف أداء الإرسال إلى المجموعة المقابلة من أهداف تصميم التجهيزات. وتعالج هذه المسألة التوصية ITU-T M.2100.

#### 2.4 معالجة الإشارات في النطاق الأساسي

تشتمل عادة التطبيقات الراديوية لنطاقات التردد فوق 17 GHz تقريباً على وظائف معالجة الإشارات الضرورية في النطاق الأساسي في الوحدة الداخلية.

ويتضمن ذلك تعدد إرسال الزمرة عند قيم للسعة تفوق وظائف الزمرة الأولية للتراتب الرقمي الأولي (PDH) أو التراتب الرقمي المتزامن (SDH). وتشمل في أغلب الحالات وظائف التحكم. وتتفاوت التطبيقات المحددة تفاوتاً كبيراً.

ويستعمل تصحيح الخطأ من أجل تحسين أداء الإرسال وكسب النظام.

#### 3.4 توليد الموجة الحاملة واستقرارها

ومن حيث المبدأ، يفضل استعمال توليد التردد الأساسي المباشر لأنه أبسط. غير أن تيسر الأجهزة الفعالة بالموجات الصغيرة الخاصة بالتوليد المباشر يتناقص كلما زاد التردد، وزادت التكلفة. وقد يصبح من الأفضل، في مرحلة معينة تتعلق بحالة التطور التكنولوجي توليد توافقية فرعية ومضاعفتها بواسطة تردد الموجة الحاملة.

ويتوقف اختيار طريقة استقرار تردد الموجة الحاملة على التطبيق. ويمكن أن تحقق أقل التطبيقات الراديوية تكلفة عن طريق تفاوت كبير جداً في الترددات وذلك باستعمال مذبذبات بتشغيل حر مستقرة بالمطنان. وتؤمن إضافة التحكم في درجة الحرارة تفاوتاً في الترددات أكثر صرامة - وإن كان معتدلاً - لبعض التطبيقات العويصة. وتحتاج فئة التطبيقات العويصة بالنسبة إلى استقرار التردد إلى مذبذبات بتحكم بلوري. ويعتبر أن التطبيق المفضل للصانعين والمستعملين هو الذي يستخدم مركب التردد.

## 4.4 أنساق تشكيل الموجة الحاملة

يؤمن استعمال أنساق أبسط للتشكيل (حالتان أو 4 حالات) كسبباً أعلى للنظام وهو ذا أهمية كبيرة بالنسبة إلى القفزات الطويلة الناتجة عن الخبو الناجم عن الهواطل الذي يسود في مدى الترددات فوق 17 GHz تقريباً. غير أن الاتجاه السائد هو استعمال أنساق تشكيل بعدد أعلى من الحالات بالاقتران بقفزات أقصر وذلك لتحقيق شبكات بكثافة أكبر، لأسباب تقنية و/أو تنظيمية.

ويقدم الملحق 1 بالتوصية ITU-R F.1101 نظرة شاملة لأنساق التشكيل الرقمي.

## 5.4 وظائف الإرسال/ والاستقبال الراديوية الأساسية

يستند تنفيذ وظائف الإرسال والاستقبال إلى تسويات التصميم المبنية على الاعتبارات المقدمة في الفقرة 1.4. وتعكس الفوارق الملاحظة في البرمجيات للتطبيق نفسه الاختلافات في توجهات الصانعين بالنسبة إلى السوق، وفي مجموعات المنتجات المتوفرة، والإمكانات التكنولوجية الداخلية، وفي خيارات موردي المكونات، وأخيراً وليس آخراً تفضيلات المصمم الشخصية.

وتكمن الفوارق الأساسية في تصميم الأنظمة الراديوية لنفس التطبيق في الاختيار بين التشكيل المباشر والتشكيل غير المباشر لموجة المرسل الحاملة وفي عدد تحويلات التردد IF في المستقبل. ومن حيث المبدأ، كلما كان نسق التشكيل بسيطاً، كلما كان تنفيذ التشكيل المباشر للموجة الحاملة أسهل. ويستخلص بشكل أولي عدد التحويلات للتردد IF في المستقبل من خلال شروط الانتقائية وتيسر مكونات الدارة المتكاملة وخفة حركة القناة RF المطلوبة (مع مركب، على سبيل المثال).

وتتوفر معظم التطبيقات الراديوية الرقمية فوق 17 GHz تقريباً في أنظمة التوزيع الحلية وتتطلب عدداً قليلاً من المكررات، إن وجدت. ويكون توصيل المطاريف ظهراً لظهور توصيلاً مباشراً، لكن ثمة مكررات RF منفصلة ومكررات نشيطة متيسرة وهي تمثل حلاً فعال التكاليف إذ لا توجد حاجة لمقدرة الإسقاط/ الإدراج. ويمكن للمكررات RF النشيطة أن تستعمل تحويل التردد أو لا تستعمله، وفقاً للحاجة.

## 6.4 وظائف الإشراف وترتيبات الحماية

تتضمن الأجيال المتتالية للتطبيقات الراديوية الرقمية وظائف إشراف أكثر فأكثر تطوراً ووسائل إدارة الشبكة أكثر فأكثر تقدماً مثل مراقبة نسبة الخطأ في البتات BER، وعروة الرجعة الحلية والبعيدة، والعرض المحلي للمراقبة عن بعد. وتتوفر مطاريف تحمل باليد كتطبيقات بديلة مكرسة. ويستعمل في إدارة الشبكة المركزية الحاسوب الشخصي (PC) والحاسوب الحضي اللذان يستعملان الإدارة المركزية للشبكة.

وتتوفر الترتيبات اللازمة للحماية من أجل تأمين الموثوقية و/أو التيسر المطلوبين. والأمثلة على الترتيبات الممكنة ما يلي:

- تنوع الطرق،
- الاحتياطي المتأهب المراقب،
- الاحتياطي المتأهب المراقب مع تنوع التردد أو الاستقطاب أو الاختلاف المكاني.

## 7.4 التطبيقات الجديدة للشبكات المستندة إلى الكثافة العالية والتييسر العالي المشترك

أدت التطورات الأخيرة في استعمال الأنظمة الراديوية الرقمية لتيسير نفاذ المشترك مباشرة إلى شبكات التيسر العالي التي تنافس النفاذ عن طريق الألياف البصرية، إلى تطوير بين شبكات تستجيب للمتطلبات المختلفة فيما يتعلق بخصائص المرسلات والمستقبلات المستعملة في الشبكة. ومن بين المعلمات التقليدية المستعملة عادة في تصميم فرادى القفزات، استعمال هامش خبو كافٍ للتغلب على الاختلافات الناشئة عن ظروف الانتشار، والتوهين الناجم عن الأمطار وغير ذلك من ظواهر الانتشار التي تحدث وتؤثر على المسيرات التقليدية الأمثل للحصول على أقصى طول للقفزة. وفي حالة الشبكات الجديدة عالية الكثافة، حيث يصبح إعادة استعمال الترددات من الاعتبارات الرئيسية، ثمة حاجة إلى تخفيض قدرة الإرسال إلى أدنى حد اللازم لتحقيق التيسيرية المنشودة، ولكي يتسنى تقليل التداخل داخل النظام إلى أدنى حد ممكن. وفي الشبكات عالية الكثافة، تخفض أطوال فرادى القفزات، إلى أدنى حد مسموح به لتحقيق التيسيرية المنشودة مع القدرة الدنيا للإرسال. ونظراً لتخفيض طول القفزات إلى حد ما، تخفض آثار الانتشار إلى أدنى حد ممكن، بحيث لا يمثل تخفيف التوهين بالمطر عائقاً. والنتيجة الصافية هي أن فرادى المسيرات يمكن تصميمها بهوامش خبو منخفضة تخفيضاً كبيراً. وفضلاً عن ذلك، ولتقليل احتمالات التداخل، تستعمل مطاريف المشتركين هوائيات عالية الكسب وعوامل ضوضاء أضعف عند الاستقبال، مما يسمح أيضاً بتخفيض سويات الإرسال. وهذا الاعتبار هام للغاية بالنسبة للشبكات التي تخدم العملاء الذين يتوقعون تيسيرية عالية. وتؤدي هذه الخصائص الجديدة، التي تطبق لتحقيق أقصى قدر من إعادة استعمال الترددات، إلى زيادة احتمالات التداخل في الاستقبال التي يمكن أن تؤثر على المستقبل مباشرة عن طريق اتجاه تسديد هوائي المشترك.

## 8.4 الخلاصة

يشجع الطلب المتزايد على الأنظمة الراديوية الرقمية فوق 17 GHz تقريباً على التطوير المستمر لأجيال جديدة من التجهيزات توفر نوعية خدمة محسنة وسهولة في الاستعمال بتكاليف تنخفض باستمرار. وإضافة إلى ذلك، تصبح التطبيقات فعالة التكاليف متيسرة لنطاقات من الترددات تزداد ارتفاعاً.

وأصبح هذا التقدم ممكناً بفضل التطورات التكنولوجية المستمرة في الأجهزة النشيطة بالموجات الصغيرة لا سيما الترانزيستور، وبوجه خاص الترانزيستور بتأثير المجال FET، والدارات المتكاملة الأحادية الصغيرة (MMIC)، وفي تطبيقات الدارات المتكاملة للتردد IF والنطاق الأساسي والوظائف المساعدة.