

التوصية ITU-R F.1093-2 \*

## تأثيرات الانتشار عبر مسيرات متعددة في تصميم أنظمة المرحلات الرادوية الرقمية في خط البصر وفي تشغيلها

(المسألة ITU-R 122-4/9)

(1994-1997-2006)

### النطاق

تحتوي هذه التوصية على مقدمة للجوانب المتصلة بالانتشار فيما يتعلق بتصحيح أنظمة المرحلات الرادوية الرقمية وتشغيلها، اعتماداً على معلومات من نصوص وضعتها لجنة الدراسات 3 للاتصالات الرادوية وقياسات قامت بها الإدارات. والملحق 1 يشرح دور الخبو عبر مسيرات متعددة بوصفه عامل الانتشار المهني بالنسبة لأنظمة المرحلات الرادوية الرقمية العاملة في ترددات دون 10 GHz. وثمة مواد أخرى تناقش دور تقنيات التنوع والتسوية التكميلية في تخفيف ما يحدث من انخراط في القنوات.

إن جمعية الاتصالات الرادوية،

إذ تضع في اعتبارها

- (أ) أن الخبو العائد إلى الانتشار عبر مسيرات متعددة قد يؤدي إلى تشويه الإشارات المستقبلية على مسيرات في خط البصر وإلى توهينها، ومن ثم إلى انخراط أداء الأنظمة الثابتة اللاسلكية؛
- (ب) أن التوصية ITU-R P.530 تقدم بيانات وطرائق للتنبؤ بالانتشار وتخطيط المسيرات للأنظمة الثابتة اللاسلكية؛
- (ج) أن ثمة إجراءات مضادة، مثل الاستقبال بالتنوع والتسوية التكميلية، متيسرة للتخفيف من تأثيرات الخبو بسبب تعدد المسيرات في أداء النظام؛
- (د) أن الحاجة تدعو إلى طرائق لتحليل تأثيرات الخبو بسبب تعدد المسيرات في أداء النظام الثابت اللاسلكي من حيث الأخطاء من أجل مقارنة تصميمات بديلة،

توصي

- 1 بأن تدمج في تصميم النظام الراديوي، وفقاً للحاجة، إجراءات مضادة للخبو بسبب تعدد المسيرات من أجل تحسين الأداء من حيث الأخطاء؛
- 2 بأن تستعمل الطرائق الواردة في الملحق 1 من قبيل الاسترشاد في تخطيط الوصلات الرادوية.

\* ينبغي أن تحاط لجنة الدراسات 3 للاتصالات الرادوية علماً بهذه التوصية.

## الملحق 1

### تأثيرات الانتشار عبر مسيرات متعددة في تصميم أنظمة المرحلات الراديوية الرقمية في خط البصر وفي تشغيلها

#### 1 المقدمة

الغرض من هذا الملحق أن يكون بمثابة مقدمة إلى الجوانب المتعلقة بالانتشار في تصميم أنظمة المرحلات الراديوية الرقمية وتشغيلها وذلك استناداً إلى معلومات واردة في وثائق لجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية وفي قياسات قامت بها الإدارات. ويوضح القسم الأول من الملحق دور الخبو بسبب تعدد المسيرات بوصفه عامل الانتشار الرئيسي في أنظمة المرحلات الراديوية الرقمية العاملة عند ترددات تحت 10 GHz تقريباً. وتناقش الفقرات اللاحقة دور تقنيات التنوع والتسوية التكييفية في تخفيض الانحطاط الذي يحدث في القناة. ويعالج أخيراً موضوع التنبؤ بأداء النظام بدلالة العوامل السابق ذكرها. وترد في الكتيب الخاص بأنظمة المرحلات الراديوية الرقمية معلومات مفصلة حول تطبيق الإرشادات المذكورة في هذا الملحق.

#### 2 اعتبارات تتعلق بالانتشار

تشمل النصوص التي أعدتها لجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية كمية من المعلومات حول ظاهرة الانتشار يجب أن تؤخذ في الاعتبار في تصميم أنظمة المرحلات الراديوية وفي تشغيلها. وتذكر، بصورة خاصة، التوصية ITU-R P.530 مع "المعلومات حول الانتشار وطرائق التنبؤ المطلوبة لأنظمة المرحلات الراديوية في خط البصر". وترد المعلومات في هذه التوصية مرتبة وفقاً لتأثيرات الانتشار الواجب دراستها، بينما ترد معلومات الأرصاد الجوية ذات الصلة والمتعلقة بآليات الانتشار في توصيات أخرى من السلسلة P، لا سيما التوصية ITU-R P.834، والتوصية ITU-R P.676.

وتتغير شروط الانتشار من شهر إلى شهر آخر ومن سنة إلى سنة، وقد تتغير احتمالات حدوث هذه الشروط على عدة درجات من الاتساع. ومن ثم من المحتمل أن يتطلب التوصل إلى استنتاج مناسب بالنسبة إلى نتائج تجربة عن الانتشار، مدة ثلاث إلى خمس سنوات. بيد أن هذه الفترة غير متيسرة في أغلب الأحيان فيما يتعلق بشروط تطبيق الأنظمة. ولهذا تدرس في التوصية ITU-R P.841 نماذج من هذا التغير بالنسبة إلى بعض المعلمات.

وقد استنتج من معطيات الانتشار أنه في حالة مسير يصمم تصميمًا جيداً وهو غير معرض للخبو بالانعراج أو الانعكاسات على السطح، فإن الانتشار عبر مسيرات متعددة يبقى العامل الرئيسي للخبو تحت 10 GHz. أما فوق هذا التردد، فتتميل تأثيرات الهواطل بطريقة متزايدة إلى تحديد طول المسير المسموح به وفقاً لأهداف التيسر في النظام. ويؤدي التخفيض الضروري في طول المسير مع تزايد التردد إلى التخفيف من شدة الخبو بسبب تعدد المسيرات. ويستبعد عادة هذان السببان الرئيسيان للخبو أحدهما الآخر. ونظراً إلى التفريق بين التيسر وأهداف أداء الأخطاء، تساهم تأثيرات الهواطل، بصورة رئيسية، في عدم التيسر بينما تساهم تأثيرات الانتشار عبر مسيرات متعددة في أداء الأخطاء بصورة رئيسية. ويمكن أن يساهم تأثير آخر للهواطل، مثل الانتشار الخلفي العائد إلى المطر، في اختيار ترتيبات قنوات التردد الراديوية.

لا تكون تأثيرات الانتشار العائدة إلى أشكال مختلفة من الهواطل مشتتة التردد، في العادة، بينما يمكن أن تكون تأثيرات الانتشار عبر مسيرات متعددة الذي تسببه الطبقات التروبوسفيرية مشتتة التردد، وهذا ما قد يؤدي إلى تشوه شديد للإشارات الحاملة للمعلومات. وقد تطلب التطور السريع لأنظمة الاتصال الرقمية فهماً أعمق لهذه التأثيرات وللوسائل الكفيلة بمواجهتها.

#### 3 الإجراءات المضادة لتأثيرات الانتشار

ثمّة نمطان من الإجراءات المضادة للتشوه بسبب الانتشار تستعمل في العادة: تقنيات التنوع ومسويات القنوات التكييفية التي تحاول مواجهة التوهين والتشوه العائدين إلى وسط الانتشار. ويعبر عادة عن فعالية إجراء مضاد للخبو بواسطة عامل تحسن.

ويكون عامل التحسن، على مسير اختبار واحد، نسبة وقت الانقطاع الملاحظ على نظام بدون إجراء مضاد، إلى وقت الانقطاع الملاحظ عندما يكون الإجراء المضاد مشغلاً (راجع الملاحظة 1). ويتعلق عامل التحسن بعتبة الانقطاع المختارة. الملاحظة 1 - وقت الانقطاع هو عبارة عامة تدل على المدة التي يتجاوز خلالها النظام عتبة مختارة من معدل الخطأ في البتات (BER).

### 1.3 تقنيات التنوع

تعتبر تقنيات التنوع الأكثر استعمالاً تنوع التردد والاختلاف المكاني. فيما يتعلق بالتقنيات الأخرى راجع التوصيتين ITU-R F.752 و ITU-R P.530 والكتيب الخاص بأنظمة المرحلات الراديوية الرقمية (طبعة عام 1996).

#### 1.1.3 الاختلاف المكاني

يعتبر الاختلاف المكاني إحدى الطرائق الأكثر فعالية لمواجهة الخبو بسبب تعدد المسيرات. أما فيما يتعلق بالأنظمة الراديوية الرقمية، حيث يمكن أن تكون أهداف الأداء صعبة الاستجابة بسبب تشوهات أشكال الموجات العائدة إلى تأثيرات المسيرات المتعددة، فيجب أن يستند تصميم الأنظمة إلى استعمال الاختلاف المكاني.

ففي الأنظمة باختلاف مكاني، نادراً ما تتعرض الإشارات المستقبلية بواسطة هوائي استقبال بانفصال رأسي، إلى خبو متآون، إذا كان الخبو عميقاً. ويتعلق عامل التحسن الذي يمكن أن يحققه النظام عندما يستعمل هاتين الإشارتين بعوامل الانتشار وبتنفيذ النظام الراديوي كذلك، أي قابلية تعرضه لخسارة في القدرة ولتشوه الإشارات بسبب تعدد المسيرات، وطريقة معالجة هذه الخسارة والتشوه. ويستعمل، في العادة، لتقدير التحسينات المحققة بواسطة الاختلاف المكاني، عامل التحسن بالنسبة إلى الخبو على تردد واحد كما يعبر عنه في التوصية ITU-R P.530، أو تعبيرات ماثلة مؤكدة في تطبيقات إقليمية لا سيما فيما يتعلق باعتبارات حول الضوضاء الحرارية في حساب احتمالات الانقطاع (راجع الفقرة 4).

ويمكن للاختلاف المكاني الذي يخفف من التأثير الفعال للخبو العميق، أن يخفف تأثيرات مختلف أنماط التداخلات. ويمكن، بصورة خاصة، أن يخفف تأثيرات التداخل قصير الأجل الصادر عن قنوات باستقطاب متقاطع في ترددات القنوات نفسها أو القنوات المجاورة، والتداخل الصادر عن الأنظمة الأخرى أو عن داخل النظام نفسه.

ويشكل تشتت الاتساع الخطي (LAD) مكونة مهمة من تشوه شكل الموجة وتأثيرات اللغظ التريبيعي، ويمكن أن يخفف بواسطة الاختلاف المكاني. وتعتبر طرائق تنوع تركيبية مصممة بشكل خاص لتخفيض تشتت LAD (راجع التوصية ITU-R F.752) من بين الطرائق الفعالة لمواجهة هذا التشوه.

ويتعلق التحسن المحقق بواسطة الاختلاف المكاني بالطريقة التي تعالج فيها الإشارتان عند المستقبل. وثمة مثالان لهذه التقنيات هما التبدل "دون ضربات" والضم بطور متغير (راجع التوصية ITU-R F.752). وتتقي البدالة "دون ضربات" المستقبل الذي يمتلك أكبر فتحة للعين أو أدنى معدل للأخطاء بينما يستعمل المضمم الطور نفسه أو عدة أنماط من الخوارزميات للحصول على أدنى تشتت ممكن. ويوفر التبدل "دون ضربات" والضم بالطور نفسه عوامل تحسن مشابهة جداً.

#### 2.1.3 تنوع التردد

يتعلق التحسن بتنوع التردد في قفزة راديوية رقمية بتشكيلية 1+1 بترابط الانحطاطات (مثل عمق الخبو وتشتت الاتساع وتشتت تأخر الزمرة) في قناتي التردد الراديوي (RF). وتظهر النتائج التجريبية ارتباطاً منخفصاً لتشتت الاتساع بين قناتين بعرض 30 MHz يفصلهما 60 MHz. ويمكن عادة تحقيق أكبر تحسن بتنوع التردد بواسطة تنوع التردد بنطاقات متعاكسة.

وفي الأنظمة (N+1)، يتناقض التحسن بتنوع التردد المطبق على قناة عاملة كلما تزايد عدد القنوات العاملة. وعندما ينظر إلى استعمال تنوع التردد في قسم تبديل متعدد القفزات، يجب أن يؤخذ في الاعتبار تعلق تحسن تنوع التردد بترابط الانحطاط فيما بين القناتين RF للقفزة الواحدة، والانحطاط في القفزات الأخرى لقسم التبديل نفسه في نفس الوقت.

ويجب أن يشغل نظام التبديل بأسلوب "دون ضربات"، من أجل تحقيق تحسن تنوع التردد المتوقع في الأنظمة الراديوية الرقمية. وعلاوة على ذلك، يجب أن يستكمل إجراء التبديل الإجمالي قبل أن يحدث انخراط دلالي في قناة الحركة. ويعتبر أن زمن استجابة من 10 ms تقريباً أو أقل هو مناسب لهذا الغرض.

### 2.3 التسوية التكميلية للقنوات

من الضروري عموماً أن يوجد في القناة الراديوية شكل من التسوية للمستقبل. ويجب أن يخضع المسوي لتحكم تكميلي يتبع التغيرات في خصائص الإرسال كلما تغيرت شروط الانتشار. ويمكن أن تصنف تقنيات التسوية ضمن مجموعتين وفقاً لأسلوب تشغيلها أي إن كان الوصف أكثر في مجال التردد أو في مجال الزمن: "التسوية في مجال التردد" و"التسوية في المجال الزمني".

#### 1.2.3 التسوية في مجال التردد

يتضمن هذا النمط من المسويات شبكة خطية واحدة أو عدة شبكات مصممة على نحو يجعلها تنتج استجابات للتوسع ولتأخر الزمرة من أجل التعويض عن انخراط الإرسال الذي يبدو أنه يسبب انخراطاً في أداء النظام أثناء فترات الخبو بسبب تعدد المسيرات.

#### 2.2.3 التسوية في المجال الزمني

يمكن اعتبار معالجة الإشارة في المجال الزمني بالنسبة إلى الأنظمة الرقمية تقنية التسوية الأكثر طبيعية، لأنها تحاول مواجهة التداخل فيما بين الرموز مواجهة مباشرة. ويحصل على معلومات التحكم من خلال ترابط التداخلات التي تظهر عند لحظة القرار من مختلف الرموز المجاورة التي تنتجها، وهي تستعمل من أجل ضبط خطوط التأخير بنقاط تفرع لتوفير إشارات الإلغاء المناسبة. ويسمح هذا النمط من المسويات بمعالجة متآونة ومستقلة للتشوهات الناتجة عن انحرافات الاتساع وتأخر الزمرة في القناة المعرضة للخبو، وتوفر بذلك تعويضاً لخصائص الطور الأدنى أو غير الطور الأدنى.

أما في الأنظمة التي تستعمل التشكيل التريبيعي، فمن المعروف أن تأثيرات الخبو شديدة التدمير هي مصاحبة للخلط الذي تولده الجوانب اللاتناظرية في القناة. ومن ثم، ينبغي للمسوي في المجال الزمني كي يكون فعالاً، أن يتمكن من توفير الوسائل اللازمة لتعويض التشوه التريبيعي.

#### 3.2.3 عوامل تحسين الأداء

تحدث الانقطاعات في النظام الراديوي الرقمي بسبب تركيبه من ثلاثة انقطاعات رئيسية: التداخل والضوضاء الحرارية وتشوه شكل الموجة. ولا تكون التسوية فعالة، عموماً، إلا ضد النمط الأخير من هذه الانقطاعات. ومن ثم، من الواضح، عندما ينظر إلى التحسينات في الأداء المصاحبة لاستعمال مسويات تكميلية، أن أكبر التخفيضات في وقت الانقطاع تحدث على القفزات التي يعرف فيها أن تشوه الإشارة هو السبب الأساسي لعطل النظام.

### 3.3 التسوية التكميلية المصاحبة للضم بالاختلاف المكاني

يمكن أن تحقق تخفيضات كبيرة في تأثير الانقطاعات بسبب تعدد المسيرات عندما ينضم الاختلاف المكاني إلى التسوية التكميلية للقنوات. ويتجاوز عادة التحسن المقيس لوقت الانقطاعات الكلي ناتج التحسينات الفردية المقابلة التي يحصل عليها بواسطة التنوع والتسوية منفصلتين، ويظهر بهذا وجود تفاعل تآزري ملموس.

ويساوي تقريباً التحسن المحقق باستعمال الاختلاف المكاني مع التسوية ناتج تحسين الاختلاف المكاني وترتيب تحسين المسوي. ويبدو أن ذلك يقابل تماماً حالة التنوع المبدل.

#### 4.3 اعتبارات تتعلق بتصميم النظام في وجود مجار للانتشار

من المعروف أن بعض المجاري موجودة في مناطق جغرافية معينة عند ارتفاعات قد تصل إلى 1000 m أو تتجاوز هذه القيمة.

ويجب، في المواقع التي يعرف عن وجود المجاري فيها والتي يجب أن تشغل فيها أنظمة مرحلات راديوية رقمية بموجات صغيرة، أن تراعي في تصميم النظام العوامل التالية:

- تسديد الهوائي وموقعه،
- عرض حزمة الهوائي المطلوب لتخفيض كمية الطاقة المشعة نحو طبقات الانعكاس أو المستقبلية من هذه الطبقات ومن الأرض إلى أدنى حد ممكن،
- مخطط التشكيل المستعمل من أجل زيادة مدة الرمز،
- هندسة المسير المطلوبة لتخفيض احتمال الانعكاسات التدميرية إلى أدنى حد ممكن.

#### 4 حساب احتمالات الانقطاع

تنتج أوقات الانقطاع، في الأنظمة الرقمية، عن تشوه شكل الموجة العائد إلى الخبو الانتقائي للتردد والتداخل والضوضاء الحرارية. ويتعلق وقت الانقطاع الكلي بهذه المساهمات الثلاث. وثمة طرائق مختلفة لحساب وقت الانقطاع في الأنظمة الرقمية سوف يناقش باختصار في هذا الجزء. وتشمل المعلمات النمطية لهذه الطرائق ما يلي:

- طول المسير،
- تردد التشغيل،
- مخطط إشعاع الهوائي،
- معلمات التنوع،
- خشونة السطح،
- إفساح المسير،
- منطقة المناخ.

وتستند الطريقة التقليدية لحساب أوقات الانقطاع في الأنظمة التماثلية إلى مفهوم الخبو وحيد التردد ومن ثم لا يمكن تطبيقها تطبيقاً مباشراً على أنظمة المرحلات الراديوية الرقمية عالية السعة. ولا تؤدي الزيادة في هامش الخبو التي تميل في الأنظمة التماثلية إلى تخفيض تأثير الضوضاء الحرارية، إلى تحسين أداء الأنظمة الرقمية إذا كان الخبو بسبب تعدد المسيرات قد جعل اتساع مخطط العين يهبط إلى الصفر. ويتج عن ذلك أن من غير الممكن استخدام زيادة قدرة المرسل كوسيلة وحيدة لجعل الأنظمة الراديوية الرقمية تستجيب لشروط الانقطاع المحددة لها.

وقد استعملت ثلاث طرائق عامة في تطوير طرائق التنبؤ بالانقطاع: طرائق هامش الحماية من الخبو، وطرائق منحنيات الشارات والطرائق التي تستعمل التشتت LAD. ولا توجد حتى الآن معطيات كافية للاستنتاج بأن إحدى هذه الطرائق أفضل من الأخرى. غير أن التوصية ITU-R P.530 تقدم مجموعة من الطرائق تنطبق على الأنظمة غير المحمية والأنظمة المحمية (اختلاف مكاني وتنوع التردد وتنوع الزوايا)، بما في ذلك الأنظمة باستقطاب مزدوج في نفس القناة، وتعرض هذه الطرائق وفقاً لمراحلها المختلفة. ويقدر تخفيض الأداء العائد إلى التشوه بواسطة طريقة الشارات. ويوصي بالألا تستعمل طرائق التوصية ITU-R P.530، إلا إذا توفرت طرائق أخرى لمنطقة معينة معروفة بأنها أكثر دقة.

ويرد في الفقرات التالية وصف للطرائق العامة يهدف إلى توضيحها وتحديد الأشكال العديدة المتيسرة في بلدان ومناطق مختلفة من العالم.

#### 1.4 طرائق هامش الحماية من الخبو

يعود استعمال هامش الحماية من الخبو كخصائص للنظام إلى قانون الخبو بسبب تعدد المسيرات عند تردد واحد، وهو قانون

معروف جيداً. وتعطي العبارة ( $T=AL^2$ ) الوقت،  $T$ ، في شهر بخبو شديد تكون فيه سوية التوتر المستقبلية مساوية للقيمة  $L$ ، أو أقل من هذه القيمة بالنسبة إلى قيمة الوحدة في الفضاء الحر، وحيث تكون  $A$  في هذه العبارة ثابتة تناسبية يحددها عدد الثواني في الشهر الواحد وخصائص المسير.

ولا يتحدد أداء الأنظمة الراديوية الرقمية بهامش حراري للحماية من الخبو فقط، فيجب أن يستعمل مفهوم هامش الحماية من الخبو "الصافي" أو "الفعال" للأنظمة الرقمية. وإذا استبدل هامش الحماية من الخبو الصافي بالهامش الحراري للحماية من الخبو، فيمكن الحصول على وقت الانقطاع في القفزة بطريقة تقريبية من التوصية IRU-R P.530. ويعرف الهامش "الصافي" للحماية من الخبو بأنه عمق الخبو عند تردد وحيد (dB) الذي يتم تجاوزه أثناء نفس عدد الثواني لعتبة BER مختارة ( $1 \times 10^{-3}$ )، على سبيل المثال.

## 2.4 طرائق منحنيات الشارات

يمكن أن تستعمل الشارات في حساب الانقطاعات ومقارنة الحساسية النسبية لمختلف الأنظمة الراديوية الرقمية مع تأثيرات الخبو الانتقائي للتردد.

### 1.2.4 قياس الشارات

يمكن قياس الشارات بواسطة تقريب للخبو الفعلي من خلال محاك بشعاعين. ويكون للنموذج المبسط بثلاثة أشعة وظيفة النقل التالية:

$$(1) \quad H(\omega) = a [1 - b \exp(-j(\omega - \omega_0) \tau)]$$

حيث يفترض أن الشعاع المباشر له اتساع بقيمة الوحدة وأن الشعاع بفترة تأخر  $\tau$  له اتساع  $b$ ، وأن  $a$  هو عامل تدرج. وتكون نقطة "هبوط" هذا الخبو عند مسافة  $f_0$  من التردد المركزي للقناة، ولها العمق ( $B = -20 \log \lambda$ ) مع ( $\lambda = 1 - b$ ). وتقابل عندها الشارات رسم القيمة الحرجة  $B_c$  بدلالة  $f_0$  من أجل نسبة الأخطاء خلال الانقطاع. ورغم أن عدة إدارات قد استعملت قيمة ns 3,3 من أجل  $\tau$ ، وأن التوزيعات الإحصائية المصاحبة من أجل  $b$  و  $f_0$  قد حددت انطلاقاً من دراسة عدد كبير من أحداث الخبو، يتم أحياناً قياس الشارات من أجل قيم أخرى من  $\tau$ . ويمكن أن تؤخذ في الاعتبار في المعادلة (3) حالات الخبو من غير الطور الأدنى وذلك بواسطة قيم سلبية للتأخر  $\tau$ .

تفترض بعض طرائق حساب الانقطاع أن  $\tau$  هو متغير عشوائي مستمر. ولذلك، تصبح قواعد التدرج ضرورية في هذه الحالات لتقدير تغير  $b_c(\tau)$ . وتدل القاعدة الخطية التي لا تطبق إلا على فترات تأخر صغيرة، أن الارتفاع بأطوال الموجة ( $\lambda$ ) هو تناسبي مع  $\tau$ . ويمكن أن تطبق أيضاً قواعد تدرج أكثر دقة.

ويبقى عملياً عرض الشارات:  $W(f_0)$  ثابتاً مقابل التأخر، باستثناء الحالة التي يقترب فيها التأخر من الصفر، بينما يتضاعف عندما يقسم التأخر إلى النصف.

### 2.2.4 معلمة النظام المقيس ( $k_m$ )

يعبر عن تأثير خصائص التجهيزات من خلال قيم معلمة النظام المقيسة  $K_n$  حيث تقدر هذه المعلمة انطلاقاً من شارات النظام المقيسة. ويمكن، من الناحية النظرية، أن تعتبر معلمة النظام المقيسة وكأنها مقدرة انطلاقاً من "شارة النظام المقيس". وإذا تم تدرج شارات النظام على فترة محددة بالبود (ns 1) ووفقاً لتأخر الصدى النسبي (ns 1)، تصبح شارات النظام المدرجة والمعروفة "بالشارات المقيسة" مميزة لمعلمات النظام من مثل طريقة التشكيل وعامل التخفيض ونمط المسوي. وإذا استعمل تقريب للشارات مبني على الشكل المستطيل، تعطى  $K_n$  بالعلاقة التالية:

$$(2) \quad K_n = (T_2 \cdot W \cdot \lambda_a) / \tau_r$$

حيث:

:  $T$  فترة النظام بالبود (ns):  $W$  عرض الشارات (GHz):  $\lambda_a$  متوسط الشارة الخطية  $(f) = 1 - b_c(f)$ :  $\tau_r$  التأخر المرجعي من أجل  $\lambda_a$  (ns).

ويبين الجدول 1 قيم  $K_n$  للمستقبلات دون تسوية تكيفية. ويحسن استعمال المسويات العرضية التكميلية في النطاق الأساسي أداء النظام على نحو يؤدي إلى تخفيض منطقة الشارة المقيسة  $K_n$  إلى 1/10 تقريباً من القيم الواردة في الجدول 1.

## الجدول 1

قيم  $K_n$  في مختلف طرائق التشكيل  
حيث لا تستعمل المسويات

$K_n$	طريقة التشكيل
15,4	64-QAM
5,5	16-QAM
7,0	8-PSK
1,0	4-PSK