التوصية ITU-R SM.1134-1*، **

حسابات تداخلات التشكيل البيني في الخدمة المتنقلة البرية

(2007-1995)

مجال التطبيق

تستخدم هذه التوصية كأساس لحساب أقصى تداخل من بين ثلاثة تداخلات للتشكيل البيني تنشأ عند خروج مستقبل تحت تأثير إشارات كثيفة غير مرغوب فيها عند دخل المستقبل نتيجة عدم خطية استجابة اتساع المستقبل.

كلمات أساسية

تداخلات التشكيل البيني، إشارات غير مرغوب فيها، لا خطية

إن جمعية الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن العوامل الرئيسية التي تتسبب في التداخلات في الخدمة المتنقلة البرية هي في معظم الحالات:

– نواتج التشكيل البيني في النطاق التي تولدها إشارتان مسببتان للتداخل (أو أكثر) بسوية عالية؛

– إرسالات غير مرغوب فيها تحدث في مرسل ما عندما تقدم إشارة من مرسل آخر عند دخل طبقات الترددات الراديوية للمرسل المتأثر؛

– سويات الإشارات المفيدة والمسببة للتداخل هي متغيرات عشوائية؛

ب) أن اثنتين (أو أكثر) من الإشارات غير المرغوب فيها يجب أن تكون لهما ترددات معينة بحيث تقع نواتج تشكيلهما البيني في نطاق ترددات مستقبل مفيدة؛

ج) أن هناك احتمالاً صغيراً جداً لحدوث تداخل تشكيل بيني ناتج عن وجود أكثر من إشارتين بسوية عالية غير مرغوب فيهما؛

د) أن طريقة حساب تداخلات التشكيل البيني سوف تسمح باستعمال فعال لطيف الترددات في الخدمة المتنقلة البرية،

توصي

1 باستعمال نموذج التشكيل البيني للمستقبل المقدم في الملحق 1 من أجل حسابات تداخلات التشكيل البيني للخدمة المتنقلة البرية؛

2 لحسابات تداخل التشكيل البيني بإتباع الإجراء التالي، الذي وردت تفاصيله في الملحق 1؛

---

* يجب أن ترفع هذه التوصية إلى علم لجنة الدراسات 5 للاتصالات الراديوية.

** أدخلت لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية في عامي 2018 و2019 تعديلات صياغية على هذه التوصية وفقاً للقرار ITU-R 1.

1.2 بتحديد متوسط قيمة قدرة إشارة عشوائية مفيدة وتشتتها عند دخل المستقبل؛

2.2 بتحديد متوسط قيمة قدرة إشارة عشوائية تسبب تداخلات تشكيل بيني وتشتتها عند دخل المستقبل؛

3.2 بتحديد احتمال أن تحدث خلال الاستقبال نواتج تشكيل بيني في المستقبل ذاته وكنتيجة للتشكيل البيني في المرسل؛

3 بتحديد المناطق المتأثرة بتداخلات التشكيل البيني والتباعد الجغرافي الضروري بين المرسلات والمستقبلات المسببة للتداخل على أساس قيمة معطاة لاحتمال التداخل، كما يصف ذلك الملحق 1.

الملحق 1

نماذج التشكيل البيني

يصف هذا الملحق نموذجي تشكيل بيني؛ نموذج التشكيل البيني للمستقبل (RXIM) ونموذج التشكيل البيني للمرسل (TXIM). وهو مقسم إلى خمسة بنود.

البند 1 يعرض الصيغة العامة لحساب تداخلات التشكيل البيني في المستقبل. والبند 2 يصف طريقة قياس التشكيل البيني للمستقبل. والبند 3 يقدم طريقة لتقييم تداخلات التشكيل البيني في الاستقبال باستعمال الصيغة العامة. والبند 4 يعطي صيغة حساب تداخلات التشكيل البيني للمرسل. والبند 5 يصف كيفية حساب احتمالات التداخل بالتشكيل البيني للمستقبل والمرسل.

1 نموذج تحليل التشكيل البيني للمستقبل

تعيَّن قدرة تداخل التشكيل البيني من الدرجة الثالثة بين إشارتين بالصيغة التالية (التقرير 2-522 للجنة CCIR سابقاً، دوسلدورف، 1990).

$$P_{ino} = 2(P_1 - \beta_1) + (P_2 - \beta_2) - K_{2,1} \quad (1)$$

حيث:

P_1 وP_2: قدرتا الإشارات المسببة للتداخل عند الترددين f_1 وf_1 على التوالي

P_{ino}: قدرة ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثالثة عند التردد ($f_0 = 2 f_1 - f_2$) f_0

$K_{2,1}$: معامل التشكيل البيني من الدرجة الثالثة، ويمكن حسابه من قياسات التشكيل من الدرجة الثالثة أو الحصول عليه من مواصفات التجهيزات

β_1 وβ_1: معلمات الانتقائية في التردد RF عند انحرافي التردد Δf_1 وΔf_2 على التوالي، بالنسبة إلى تردد التشغيل f_0.

يمكن الحصول على قيمتي β_1 وβ_2، مثلاً، انطلاقاً من معادلة حساب توهين إشارة متخالفة بعض الشيء بالنسبة إلى تردد التوليف.

$$\beta(\Delta f) = 60 \log\left[1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{RF}}\right)^2\right] \quad (2)$$

حيث B_{RF} هو عرض النطاق RF للمستقبل.

وتجدر بالإشارة أنه بالنسبة لمجموعة معينة من قياسات التشكيل البيني من الدرجة الثالثة للمستقبلات الراديوية التماثلية المتنقلة البرية العاملة في نطاقات التردد بالموجات المترية (VHF) والموجات الديسمترية (UHF) يمكن معالجة المعادلة (1) [ماكماهون، 1974] وصولاً إلى المعادلة التالية:

$$P_{ino} = 2P_1 + P_2 + 10 - 60\log(\alpha f) \quad (3)$$

حيث αf هي متوسط انحراف التردد (MHz) وهي تساوي:

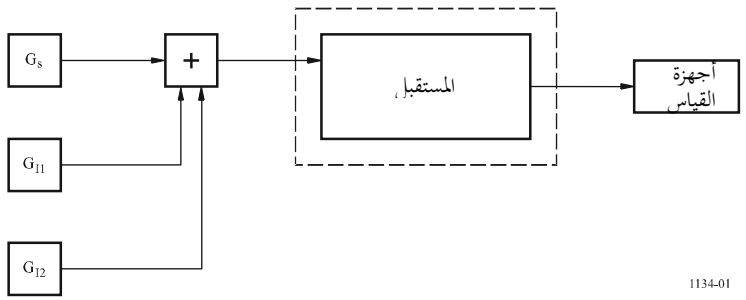
$$\frac{\Delta f_1 + \Delta f_2}{2}$$

2 خصائص تردد التشكيل البيني للمستقبل

في الشكل 1، G_s هو مولد إشارات الإشارة المفيدة (WS). وG_{11} وG_{12} هما مولدا الإشارات للإشارات المسببة للتداخل (IS) التي تشكل ناتج RXIM. وتطبق هذه الإشارات على دخل المستقبل (RX).

الشكل 1

مخطط فدري لقياسات التشكيل البيني للمستقبل



عند قياس خاصية التشكيل البيني للمستقبل، هناك إشارتان مسببتان للتداخل بنفس السوية من المولدين G_{11} وG_{12} وإشارة مفيدة بسوية P_{sr} من المولد G_S تطبق عند دخل المستقبل. ويتم اختيار إزالة توليف تردد الإشارة الأولى المسببة للتداخل مساوياً للقيمة Δf_0، بينما يكون بالنسبة للإشارة الثانية المسببة للتداخل حوالي $2\Delta f_0$. وترفع سوية الإشارتين المسببتين للتداخل عند دخل المستقبل حتى الحصول على $P_{I(IM)}$ عندما لا تقل نوعية استقبال الإشارة المفيدة عن قيمة محددة. وتتوقف نوعية الاستقبال قطعاً على نسبة الحماية A.

يجدر بالملاحظة أن:

P_{sr}: حساسية المستقبل الراديوي (dBW)

$P_{I(IM)}$: الحساسية للتشكيل البيني مقيسة بالنسبة للمستقبل (dBW).

وعلى ذلك فإنه، بالنسبة للمعادلة (1):

$$P_{ino} = 3P_I(IM) - 2\beta(\Delta f_0) - \beta(2\Delta f_0) - K_{2,1} \quad (4)$$

لهذه القيمة علاقة بالقيمة P_{sr} على النحو التالي:

$$(P_{sr} - A = P_{ino}) \quad (5)$$

إذاً فالقيمة $K_{2,1}$:

$$K_{2,1} = 3P_I(IM) - 2\beta(\Delta f_0) - \beta(2\Delta f_0) - P_{sr} + A \quad (6)$$

3 طريقة تحليل التشكيل البيني في المستقبِل

1.3 النموذج العام

تحدث التداخلات التي تسببها نواتج التشكيل البيني في المستقبل عندما يتوفر الشرطان التاليان:

$$F_R - 0.5 \cdot B_{IF} \le f_{IMP} \le F_R + 0.5 \cdot B_{IF} \quad (7)$$

و:

$$P_s - P_{ino} < A \quad (8)$$

حيث:

f_{IMP}: تردد نواتج التشكيل البيني قيد النظر

F_R: تردد التوليف في المستقبل

B_{IF}: قيمة نطاق التمرير للمرحلة IF أو عرض مرشاح النطاق الأساسي في حالة عدم وجود المرحلة IF

P_s: قدرة الإشارة المفيدة (dBm)

P_{ino}: القدرة المكافئة لتداخل نواتج التشكيل البيني بعد إعادة حسابها بالنسبة إلى دخل المستقبل (dBm)

A: نسبة الحماية في نفس القناة (dB).

تعطى P_{ino} بالمعادلة (1). وبأخذ المعادلة (1) بعين الاعتبار، يمكن كتابة الشرط (8) كما يلي:

$$(2\,P_1 + P_2 - P_s > R_0) \quad (9)$$

حيث:

$$(R_0 = -A + 2\,\beta_1 + \beta_2 + K_{2,1}) \quad (10)$$

2.3 طريقة حساب نواتج التشكيل البيني على أساس نقاط الاعتراض

1.2.3 في الحالات التي لا تتوفر فيها فرصة لقياس العامل $K_{2,1}$، من الملائم لتعيين تداخل نواتج التشكيل البيني للاستفادة من معلمات مثل IP_i – نقاط الاعتراض من الرتبة i – حيث i = 2 و3 و5 وحيث تكون عوامل IM_i من نفس الرتب للدوائر الدقيقة المستخدمة في مراحل الدخل (عناصر المنتقي السابق المخلاطات) في المستقبلات الحديثة وتتوفر معلمات IP_i وIM_i من المواصفات المناظرة.

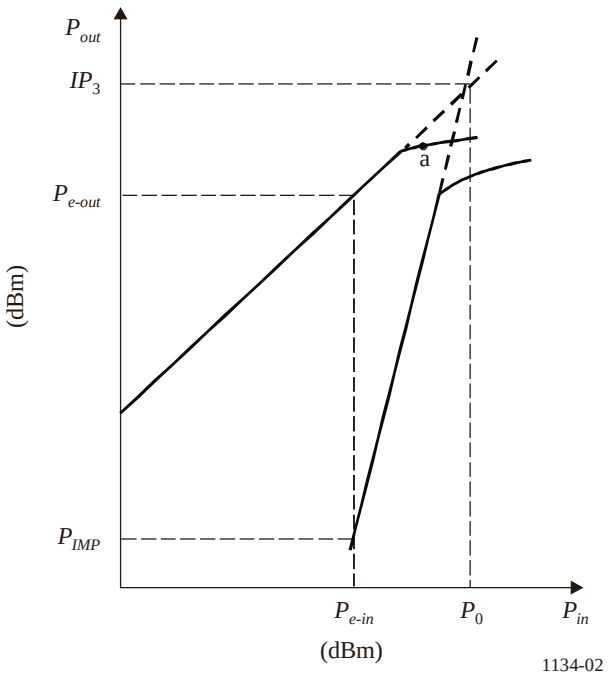
وأكثر المعلمات انتشاراً هو المعلم IP_3 (كتيب مراقبة الطيف الصادر عن الاتحاد، طبعة عام 2002، الفقرة 5.6) – "نقطة الاعتراض من الرتبة الثالثة" – سوية نظرية، يتساوى عندها مستوى الرتبة الثالثة لنواتج التشكيل البيني مع المستويات الفردية للإشارات الواردة (إشارتان متساويتان تولدان نواتج تشكيل بيني مثل ($2f_1 - f_2$ و $2f_2 - f_1$) بعد إعادة حسابها لخرج عنصر غير خطي (انظر الشكل 2).

وتميز معلمات IP_i درجة خطية مراحل الخرج للمستقبل من حيث قدراتها على توليد نواتج تشكيل بيني من الرتب المناظرة، وكلما ارتفعت مستويات IP_i، تحسنت خطية المستقبل واتسع مداه الديناميي، ومن ثم تتحسن مستويات الإشارات الواردة التي تنتج عندها نواتج التشكيل الخطي وتتحسن حماية المستقبل من التداخلات التي تنجم عن نواتج التشكيل البيني.

وتميز عوامل IM_i استجابة المستقبل لنواتج التشكيل البيني للرتب المناظرة. وهي تمثل علاقة مستوى نواتج التشكيل البيني عند خرج المستقبل بمستوى الإشارات الواردة عند دخله (إشارتان متساويتان تولدان نواتج التشكيل البيني عند الخرج).

الشكل 2

نقطة الاعتراض IP_3 من الرتبة الثالثة



ويتضمن الجدول 1 القيم المتوسطة وحدود التغير لمعلمات الدوائر الدقيقة المستخدمة كمراحل دخل للمستقبلات (عناصر المنتقيات السابقة والمخلاطات)، التي يوردها أشهر الموردين. ويمكن الحصول على القيم الفردية لهذه المعلمات من المواصفات الهندسية الموجودة على الأجهزة ذات الصلة. ويمثل المعلم G في الجدول 1 عامل التكبير للمنتقيات السابقة، وترمز dBc إلى الديسيبل بالنسبة إلى قدرة الموجة الحاملة غير المشكلة للبث.

الجدول 1

معلمات الدوائر الدقيقة لمراحل خرج المستقبلات

G **(dB)**	***IP*$_3$** **(dBm)**	***IM*$_2$** **(dBc)**	***IM*$_3$** **(dBc)**	***IM*$_5$** **(dBc)**
12 ± 5	28 ± 5	– 24 ± 5	– 30 ± 5	– 35 ± 5

ويورد الجدول 2 معادلات حساب مكونات نواتج التشكيل البيني التي يمكن أن تقع في نطاق تمرير المستقبل والتي تتضمن:

f_{IMP}: ترددات نواتج التشكيل البيني من الرتب الثانية والثالثة والخامسة المتولدة عن إشارتين واردتين أو ثلاثة

$P_{e\text{-}in}$: قدرة الإشارة الواردة المكافئة عند دخل المستقبل – إشارتان واردتان أو ثلاثة عند دخل المستقبل بمستويات مكافئة $P_{e\text{-}in}$ تولدان نفس نواتج دخل التشكيل البيني بمستويات مختلفة P_1، P_2، P_3.

P_{IMP}: مستويات نواتج التشكيل البيني من الرتب الثانية والثالثة والخامسة الناتجة عن اثنين أو ثلاثة من الإشارات الواردة الدخل، حيث P_1، P_2، P_3 – قدرات الإشارات الواردة عند الترددات f_1، f_2، f_3 على التوالي. ويتم التعبير عن قدرات نواتج التشكيل البيني بدلالة IP_j و IM_i.

الجدول 2

تداخلات نواتج التشكيل البيني من الرتب الثانية والثالثة والخامسة تحت تأثير 2 أو 3 إشارات واردة غير مرغوب فيها

الترددات، f_{IMP}	$f_g \pm f_h$ $(f_g > f_h)$	$2f_g - f_h$	$f_k + f_l - f_m$	$3f_g - 2f_h$	$2f_k - 2f_l + f_m$
رتب النواتج وأنواعها	2 (1; 1)	3 (2; 1)	3 (1; 1; 1)	5 (3; 2)	5 (2; 2; 1)
$P_{e\text{-}in}$ (dBm)	$(P_g + P_h)/2$	$(2P_g + P_h)/3$	$(P_k + P_l + P_m)/3$	$(3P_g + 2P_h)/5$	$(2P_k + 2P_l + P_m)/5$
P_{IMP} (dBm)	2 ($P_{e\text{-}in}$ + Gi – IP_2	3 ($P_{e\text{-}in}$+ G) – $2{\cdot}IP_3$	3 ($P_{e\text{-}in}$ + G) – $2{\cdot}IP_3$ + 6	5 ($P_{e\text{-}in}$ + G) – $4{\cdot}IP_5$	5 ($P_{e\text{-}in}$ + G) – $4{\cdot}IP_5$ + 9.5
	$IM_2 + P_{e\text{-}in}$	$IM_3 + P_{e\text{-}in}$	$IM_3 + P_{e\text{-}in}$ + 6	$IM_5 + P_{e\text{-}in}$	$IM_5 + P_{e\text{-}in}$ + 9.5

تعين ترددات نواتج التشكيل البيني IMP f_{IMP} ومستويات نواتج التشكيل البيني $P_{e\text{-}in}$ للمعاملات المتنوعة برموز مختلفة تحت مستوى السطر في الجدول 2 على النحو التالي.

بالنسبة لإشارتين واردتين: يقبل كل معامل g وh إحدى ثلاث قيم 1، 2 تحت الشرط:

$$g + h = 3$$

بالنسبة لثلاث إشارات واردة: يقبل كل معامل K وM إحدى ثلاث قيم 1، 2، 3 تحت الشرط:

$$k + 1 + m = 6$$

وينبغي إجراء عمليات حساب نواتج التشكيل البيني $P_{e\text{-}in}$ لمختلف مكونات IMP لنفس توزيع المعاملات بنفس طريقة حساب الترددات f_{IMP} لهذه المكونات.

ويبين الجدول 2 أيضاً عدد المكونات f_{IMP} وعدد مختلف مستويات IMP الممكنة لمختلف الرتب تحت المستويات المختلفة للإشارات الواردة. ومن معادلات $P_{e\text{-}in}$ يمكن استنتاج أنه عند المستويات المختلفة للإشارات الواردة فإن مختلف مكونات IMP عند الخرج لنفس الرتبة تكون لها أيضاً مستويات مختلفة يمكن حسابها بهذه الطريقة.

يمكن إيجاد العلاقات بين IP_i وIM_i بتسوية قيم P_{IMP} في الجدول 2:

$$IP_2 = P_{e\text{-}in} + 2G - IM_2$$
$$IP_3 = P_{e\text{-}in} + 0.5\ (3G - IM_3)$$
$$IP_5 = P_{e\text{-}in} + 0.25\ (5G - IM_5)$$

وبإعادة حساب مستوى IMP المكافئ لدخل المستقبل P_{ino} فإنه يساوي:

$$P_{ino} = P_{IMP} - G$$

ولتوهين إشارات التداخل الواردة غير المرغوب فيها، تركب عادة مراشح للعمل في اتجاهين أو لنطاق التمرير عند مدخلات المستقبل قبل المنتقيات السابقة. ومعلمات المراشح (تحت الأشكال شبه المنحرفة لخصائصها) هي: نطاق التمرير B_{RF1}، حد نطاق التوهين B_{RF2}، وتوهين الإشارات الواردة $\beta(\Delta f)$ خارج نطاق التمرير (وعند $\Delta f > 0.5 \cdot B_{RF2}$ يعد التوهين ثانياً ومساوياً لـ L_F dB).

وفي تلك الحالة تكون خسائر الإدخال للمرشاح (dB) هي:

$$\beta(\Delta f) = \begin{cases} 0 & \text{at } |\Delta f| \le 0.5 \cdot B_{RF1} \\ a \cdot |\Delta f| + c & \text{at } 0.5 \cdot B_{RF1} \le |\Delta f| \le 0.5 \cdot B_{RF2} \\ L_F & \text{at } 0.5 \cdot B_{RF2} \le |\Delta f| \end{cases}$$

حيث: $|\Delta f|$ القيمة المعادلة لتردد الإثارة الواردة عند دخل المستقبل

$$a = L_F / 0.5\ (B_{RF2} - B_{RF1})$$

$$c = -0.5 \cdot a \cdot B_{RF1}$$

قدرة الإشارة عند دخل المنتقي السابق P_1 عند التردد f_j (j = 1; 2; 3) تساوي:

$$P_j = P_{j\text{-}in} - \beta\ (\Delta f)$$

حيث $P_{j\text{-}in}$: قدرة الإشارة عند دخل المستقبل.

2.2.3 تتضمن طريقة حساب تداخل نواتج التشكيل البيني الخطوات التالية:

الخطوة 1: تعيين توهين الإشارات الواردة التي تؤثر عند دخل المستقبل بمراشيح الدخل $\beta\ (\Delta f_j), j = 1; 2; 3$.

الخطوة 2: حساب مستويات الإشارات الواردة التي تؤثر عند دخل المستقبل P_j.

الخطوة 3: تعيين مستويات نواتج التشكيل البيني لخرج المخلاط P_{IMP}.

الخطوة 4: تقدير المستوى المكافئ لنواتج التشكيل البيني المعاد حاسبه لدخل المستقبل P_{ino}.

الخطوة 5: حساب نسبة الإشارة – التداخل R.

الخطوة 6: مقارنة نسبة الإشارة – التداخل R بنسبة الحماية A لتعيين شروط توافق المستقبل مع الأنظمة الراديوية الالكترونية الأخرى في بيئة كهرومغنطيسية معينة.

3.2.3 مثال للحسابات

لنفترض أنه مطلوب حساب تداخل نواتج التشكيل البيني IMP من النوع $f_2 + f_1$ f_3 في المستقبل وتقدير تأثيره الضار

المعطيات: $IP_3 = 24$ dBm؛ $G = 15$ dB؛ $P_{1\text{-}in} = -50$ dBm؛ $P_{2\text{-}in} = -10$ dBm؛ $P_{3\text{-}in} = -15$ dBm؛

$P_s = -114$ dBm؛ $A = 9$ dB؛ $L_F = 30$ dB.

اجعل قيم تخالف التردد للإشارات الوارد عند دخل المستقبل $|\Delta f_j| = |F_R - f_j|$ على النحو التالي:

$$(|\Delta f_1| \le 0.5 \cdot B_{RF1};\ |\Delta f_2| > 0.5 \cdot B_{RF2})\ \text{و}\ (|\Delta f_3| > 0.5 \cdot B_{RF2})$$

بمعنى أن إشارة واردة واحدة تقع في نطاق تمرير مرشاح الدخل للمستقبل، وأن الإشارتين الواردتين الأخريين – تقعان خارج نطاق التمرير.

في هذه الحالة:

$$\beta(\Delta f_1) = 0;\ \beta(\Delta f_2) = \beta(\Delta f_3) = 30 \text{ dB}$$

$$P_j = P_{j\text{-}in} - \beta(\Delta f_j);\ P_1 = -50 \text{ dBm};\ P_2 = -40 \text{ dBm};\ P_3 = -45 \text{ dBm}$$

ولنحسب قيمة $P_{e\text{-}in}$ و P_{IMP} بالاستعانة بالمعادلات الواردة في الجدول 2:

$$P_{e\text{-}in} = (-50 - 40 - 45)/3 = -45 \text{ dBm}$$

$$P_{IMP} = 3(-45 + 15) - 2 \cdot 24 + 6 = -132 \text{ dBm}$$

$$P_{ino} = P_{IMP} - G = -132 - 15 = -147 \text{ dBm}$$

$$R = P_s - P_{ino} = -114 - (-147) = 33 \text{ dBm}$$

$A < R$، ولذا فإنه وفقاً للمعادلة (8) يتحقق الاتساق.

4 قدرة نواتج التشكيل البيني للمرسل

يمكن كتابة القدرة P_i لنواتج التشكيل البيني للمرسل الموجودة عند دخل المستقبل بالطريقة التالية:

$$P_i = P_2' - \beta_{12} - \beta_{10} - K_{(2),1} - L_{10} \qquad (11)$$

حيث:

P_2': قدرة المرسل مسبب التداخل (بتردد f_2) عند سوية أطراف خرج المرسل المتأثر (بتردد f_1)، الذي تحدث عنده فيه نواتج التشكيل البيني (dBW)

β_{12} وβ_{10}: توهين ناتج عن دارتي خرج وهوائي المرسل المتأثر عند التردد f_1 للمرسل مسبب التداخل عند التردد f_2، ولناتج التشكيل البيني عند التردد f_0، على التوالي (dB)

$K_{2,1}$: توهين تحويل التشكيل البيني في المرسل (dB) الذي يختلف عن $K_{2,1}$ في المعادلة (1)

L_{10}: توهين ناتج التشكيل البيني على المسير بين المرسل بالتردد f_1 والمستقبل (dB).

تحدث التداخلات التي يسببها التشكيل البيني للمرسل عندما يكون:

$$P_s - P_i < A \quad (12)$$

حيث A هي نسبة الحماية في نفس القناة.

5 احتمال التداخل

1.5 احتمال التداخل بالتشكيل البيني للمستقبل

إن التوصيات ITU-R P.370 وITU-R P.1057 وITU-R P.1146 تشدد على أن سويتي الإشارتين المفيدة والمسببة للتداخل متغيرتان عشوائيتان ذاتا توزيع لوغاريتم عادي، وذلك نظراً للتوهين. هكذا فإن الجزء الأيسر من الشرط (9)، المعبر عنه بالوحدة dBW، يمثل مجموع المتغيرات العادية العشوائية المستقلة ويشكل متغيرة عادية عشوائية. والمتوسط $\overline{R}$ والتشتت σ_R^2 للمتغيرة العشوائية ($R = 2P_1 + P_2 - P_S$) يساويان على التوالي:

$$\overline{R} = 2P_{1m} + P_{2m} - P_{sm}$$
$$\sigma_R^2 = 4\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_s^2$$

حيث:

P_{1m} وP_{2m} وP_{sm} متوسطات و σ_1^2 و σ_2^2 و σ_s^2 هي تشتتات سويتي قدرة الإشارتين المفيدة والمسببة للتداخل عند دخل المستقبل (محددة على أساس معطيات التوصيات ITU-R P.370 وITU-R P.1057 وITU-R P.1146).

2.5 احتمال التداخل بالتشكيل البيني للمرسل

بأخذ المعادلة (11) بعين الاعتبار، تصبح المعادلة (12):

$$P_2' - P_s - L_{10} > T_0 \quad (13)$$

حيث:

$$T_0 = \beta_{12} + \beta_{10} + K_{(2),1} - A$$

إن المتوسط $\overline{T}$ والتشتت σ_T^2 للمتغيرة العشوائية:

$$T = P_2' - P_s - L_{10}$$

يساويان على التوالي:

$$\overline{T} = P_{2m}' - P_{sm} - L_{10m}$$
$$\sigma_T^2 = \sigma_2^2 + \sigma_s^2 + \sigma_1^2$$

حيث:

L_{10m} و P_{sm} و P'_{2m} : متوسطات

σ_2^2 و σ_s^2 و σ_1^2 : تشتت المتغيرات العشوائية P'_2 و P_s و L_{10}

3.5 احتمال نواتج التشكيل البيني

إن الاحتمال α لظهور نواتج التشكيل البيني المولدة في المستقبل نفسه وكنتيجة للتشكيل البيني في المرسل (الشرطان (9) و(13) على التوالي)، خلال الاستقبال، يساوي:

$$\alpha = \int_x^\infty e^{-t^2/2} \frac{dt}{\sqrt{2\pi}} \quad (14)$$

$x = (R_0 - \overline{R})/\sigma_R$: لدى تحديد احتمال ظهور نواتج التشكيل البيني في المستقبلات (الشرط (9))

$x = (T_0 - \overline{T})/\sigma_T$: لدى تحديد احتمال ظهور التداخل المترتب عن نواتج التشكيل البيني في المرسلات (الشرط (13)).

عند تحديد المناطق المتأثرة بتداخلات التشكيل البيني على أساس قيمة معطاة x لاحتمال التداخل، يتم تحديد قيمة x أولاً من المعادلة (14). ثم، بالنسبة لقيمة P_{sm} معروفة يمكن تحديد القيمتين P_{1m} وP_{2m} (أو P'_{2m} وP_{10m}) والمباعدات الجغرافية الضرورية المقابلة للمرسلات المسببة للتداخل للمستقبلات التي تتوقف عليها المنطقة المتأثرة بالتداخلات.