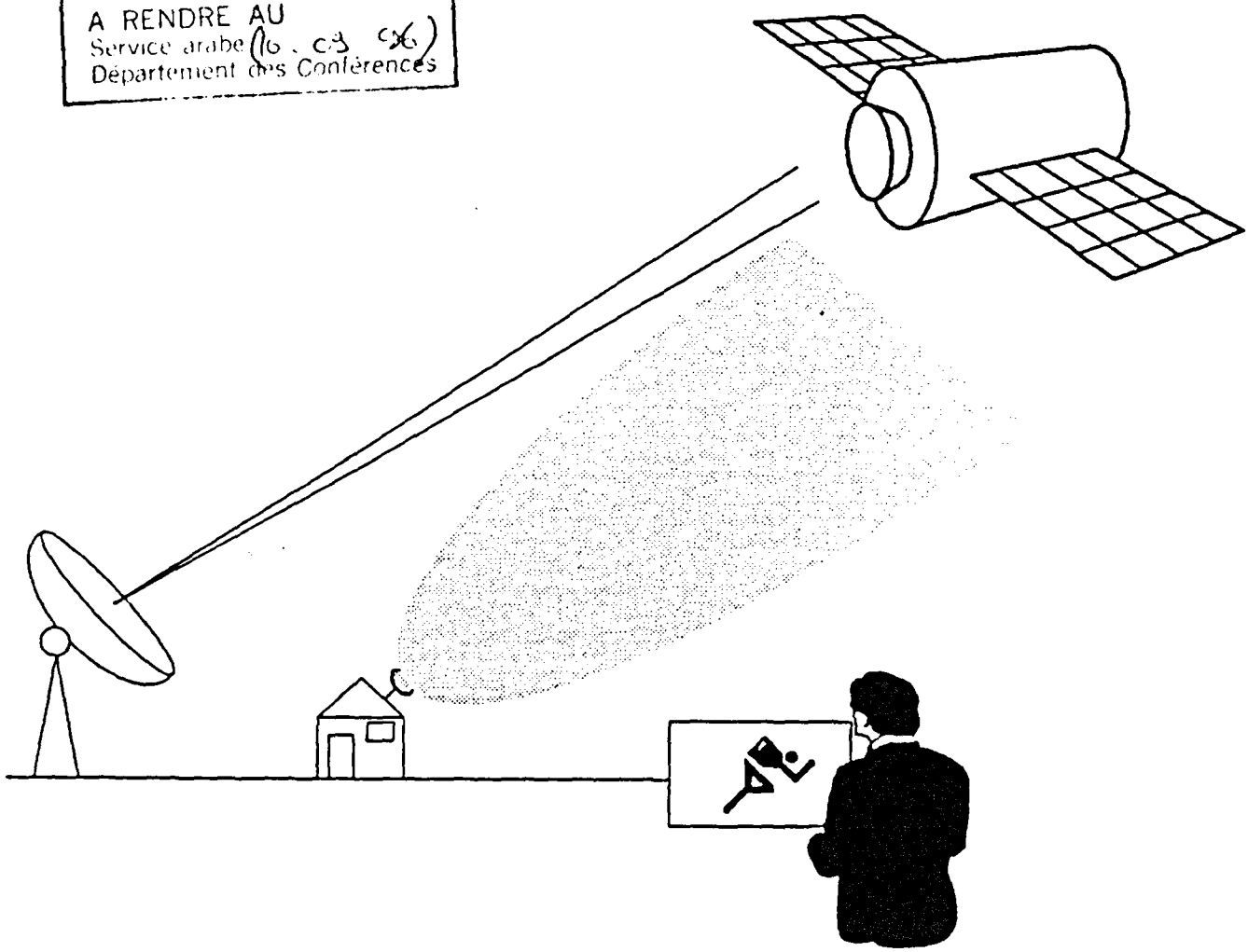
الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيات ITU-R

A RENDRE AU
Service arabe
Département des Conférences



مجلد السلسلة BO لعام 1994

الخدمة الإذاعية الساتلية
(الصوتية والتلفزيونية)

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

تستجيب وظائف قطاع الاتصالات الراديوية استجابة كاملة لأهداف الاتحاد المتعلقة بالاتصالات الراديوية كما وردت في المادة 1 من دستور الاتحاد الدولي للاتصالات، جنيف 1992 :

- بأن يؤمن الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال جميع خدمات الاتصال الراديوي لطيف الترددات الراديوية، بما فيها الخدمات التي تستعمل مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض،
- بأن يجري دراسات دون تحديد لمدى الترددات، وأن يعتمد توصيات تتعلق بالاتصالات الراديوية.

وتضع لجان دراسات الاتصالات الراديوية توصيات تتعلق بما يلي* :

أ) استعمال طيف الترددات الراديوية في الاتصالات الراديوية الأرضية والفضائية (بما فيه استعمال مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض)؛

ب) خصائص النظم الراديوية وأداؤها**؛

ج) تشغيل المحطات الراديوية؛

د) جوانب "الاتصال الراديوي" المتعلقة بمسائل الاستغاثة والسلامة.

* *المادة 11 في الاتفاقية الدولية للاتصالات، جنيف 1992.*

** *تعد لجان دراسات تقييس الاتصالات توصيات بشأن التوصيل البيني للأنظمة الراديوية في شبكات الاتصالات العمومية وبشأن جودة الأداء المطلوبة لهذه التوصيلات البينية.*

© ITU 1994

جميع الحقوق محفوظة. لا يمكن استنساخ أو استعمال أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل أو بأي وسيلة إلكترونية كانت أم ميكانيكية، بما فيه النسخ التصويري أو الأفلام الصغرية، إلا بموافقة كتابية من الاتحاد الدولي للاتصالات.

Recommendation 791 (1994)

Choice of polarization for the broadcasting-satellite service [Arabic version]

Extract from the publication:
CCIR Recommendations: 1994 BO Series Volume: Broadcasting-satellite service (Sound and Television)
(Geneva: ITU, 1994), pp. 165-171

This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

هذه النسخة الإلكترونية (PDF) للاتصالات الدولي (ITU) الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج
والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلاً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.

© International Telecommunication Union

التوصيـــة 791*

انتقاء الاستقطاب للخدمة الإذاعية الساتلية**

(المسألتان 83/11 و 85/11)

(1992)

إن اللجنة الاستشارية الدولية للراديو (CCIR)،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن انتقاء الاستقطاب المستعمل في الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) يؤثر في أداء النظام، واستخدام الطيف والمدار، وسوية التداخل داخل الخدمة BSS وبين خدمات تتقاسم نفس نطاق الترددات؛

ب) أن سوء التراصف بين إشارات مستقطبة خطياً لأنظمة متداخلة وسوء التراصف بين مرسلات ومستقبلات:

- لا تأثير له في النسبة *C/N* لأنظمة مستقطبة خطياً أو دائرياً،
- لا تأثير له في النسبة *C/I* لأنظمة مستقطبة دائرياً،
- له تأثير قليل في النسبة *C/I* متحدة الاستقطاب لشبكات مستقطبة خطياً،
- ولكن له تأثير قوي في النسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع لشبكات مستقطبة خطياً؛

ج) أن الاستقطاب الخطي يمكن أن يوفر مزايا هامة بالنسبة للاستقطاب الدائري نظراً إلى التأثيرات الجوية مثل التوهين بسبب المطر وإزالة الاستقطاب، ولا سيما عند نطاقات الترددات العليا (انظر الملحق 1)؛

د) أنه، مع الاستقطاب الخطي، فإن التراصف الدقيق بين المرسل والمستقبل سيكون من الصعب جداً تحقيقه للاستقبال بواسطة مستقبلات تُحمل ومستقبلات على متن مركبات؛

هـ) أنه لنطاقات ترددات معينة موزعة للخدمة BSS ووصلات المغذي المصاحبة لها هناك خطط في لوائح الراديو تبنت استخدام الاستقطاب الدائري وأن هناك شبكات ساتلية تشتغل أو مخطط لها أن تشتغل في هذه النطاقات،

توصـــي

1. بأن يستعمل الاستقطاب الدائري عندما يكون الاستقبال مطلوباً بواسطة مستقبلات محمولة ومستقبلات على متن مركبات وفي الاستقبال الثابت باستثناء الحالات المشار إليها في الفقرة 2؛

2. بأنه، لنطاقات التردد حيث تكون التأثيرات الجوية غالبة، وعندما تكون أقصى إعادة استعمال للتردد في نفس الموقع المداري مطلوبة، ينبغي أن تؤخذ بالحسبان مزايا الاستقطاب الخطي. وإذا استخدم استقطاب خطي، فينبغي أن تحدد مواصفاته كاملة وينبغي إعطاء أي معلومات إضافية تحتاجها اللجنة IFRB لتحدد الإدارات المتأثرة؛

الملاحظة 1 – يقدم في الملحق 1 موجز للعوامل المؤثرة في اختيار الاستقطاب.

3. بالنسبة إلى نطاقات تتواجد لها خطط، فإن اختيار الاستقطاب الموصى به في الفقرة 2 ينبغي أن يراعي الاستقطاب المتبنى في الخطط.

---

* *ملاحظة من مدير اللجنة CCIR* – استعملت التقارير 2-814 و 4-564 و 3-722 للإعداد لهذه التوصية.

** ينبغي أن ترفع هذه التوصية إلى لجان الدراسات 4 و 5 و 9.

الملحـق 1

1. المقدمـــة

تقرر، لأغراض تخطيط الخدمة BSS في النطاق من 11,7 إلى 12,5 GHz في الإقليم 1 ومن 11,7 إلى 12,2 GHz في الإقليم 3، تبني الاستقطاب الدائري المياسر والميامن. وفي الإقليم 2، تم أيضاً انتقاء استقطاب دائري مياسر وميامن لخطة الخدمة BSS في النطاق من 12,2 إلى 12,7 GHz، ولخطة وصلة المغذي المصاحبة في النطاق من 17,3 إلى 17,8 GHz كذلك. علاوة على ذلك انتقي في المؤتمر WARC ORB-85 النطاقان من 14,5 إلى 14,8 GHz (للبلدان خارج أوروبا ولمالطا) ومن 17,3 إلى 18,1 GHz لتخطيط وصلات المغذي للخدمة BSS في الإقليمين 1 و 3. وافترض أن الاستقطاب الدائري سيستعمل للتخطيط. إلا أن من الممكن استعمال الاستقطاب الخطي، بشرط موافقة جميع الإدارات التي تتقاسم الموقع المداري المحدد.

يقدم هذا الملحق ملخصاً للعوامل التي أخذت في الاعتبار عند القيام من أجل التسجيل وتصميم الأنظمة المستقبلية في نطاقات أخرى وزعت أو يمكن أن توزع للخدمة الإذاعية الساتلية.

2. مقارنة بين الاستقطاب الخطي والاستقطاب الدائري

لنمط الاستقطاب تأثير في تصميم النظام والخدمة. بالرغم من أن خطط المؤتمر WARC-BS-77 والمؤتمر RARC SAT-83 وخطة وصلة المغذي للمؤتمر WARC ORB-88 استعملت استقطاباً دائرياً، فللاستقطاب الخطي مزايا واضحة مقارنة بالاستقطاب الدائري. إحدى هذه المزايا أن هناك عامل تحسين الاستقطاب المتقاطع الذي يتغير مع زاوية ميل الاستقطاب ويصل إلى 15 dB لزاويتي ميل محلي للاستقطاب قدرهما 0° و 90°. ميزة أخرى للاستقطاب الخطي هي أنه من الأسهل تحقيق كبت كاف للفصوص الجانبية متحدة الاستقطاب وتمييز بالاستقطاب المتقاطع في هوائي الاستقبال.

توجز في الجدول 1 المزايا والعيوب المقارنة للاستقطاب الخطي والاستقطاب الدائري عندما يستعملان في الخدمة BSS. الرموز في العمود الأخير من الجدول تشير، لكل عامل، أي نمط من الاستقطاب، الخطي (L) أو الدائري (C)، يعتبر الأفضل. وعند تقييم هذه المزايا والعيوب المقارنة، يجب بالطبع الاعتراف بأن العوامل المختلفة ليست جميعها ذات أهمية عملية متساوية وأن أهميتها النسبية تبقى موضوع قرار هندسي كذلك.

لتقييم أهمية توجيه هوائي الساتل في اختيار الاستقطاب (البند 3 في الجدول 1)، ترد في التذييل 1، دراسة كمية مختصرة لتأثيرات هندسة النظام في الاستقطاب الخطي.

يحكم الاختيار بين الاستقطاب الخطي والاستقطاب الدائري لتخطيط الخدمة BSS عاملان رئيسيان:

- تأثير التوهين وإزالة الاستقطاب بسبب المطر في النسبة *C/N* والنسبة *C/I*؛
- التأثير في التداخل بسبب سوء التراصف بين متجهات الاستقطاب الخطي المرجعي وسوء التراصف بين مُقَطِّبي المحطة الأرضية والساتل.

يؤثر المطر في النسبتين *C/N* و *C/I* لموجات باستقطاب خطي أو دائري في أثناء نسبة مئوية ضئيلة من الوقت. ومن ناحية أخرى، فإن سوء التراصف بين إشارات باستقطاب خطي لشبكات مسببة للتداخل وسوء التراصف بين مرسلات ومستقبلات يتميز بما يلي:

- لا تأثير لهما في النسبة *C/N* لشبكات باستقطاب خطي أو دائري؛
- لا تأثير لهما في النسبة *C/I* لشبكات باستقطاب دائري؛
- لهما تأثير قليل في النسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع لشبكات باستقطاب خطي؛
- لهما تأثير قوي في النسبة C/I ذات الاستقطاب المتقاطع لشبكات باستقطاب خطي.

تعد هذه الاعتبارات مهمة لأن الاستقطاب الخطي يستعمل عادة لتحسين النسبة *C/I* أثناء المطر، ولكن كنتيجة لسوء التراصف، يمكن أن تتناقص النسبة *C/I* إلى حد أدنى بكثير من المقدرة القصوى الممكنة لتمييز هوائيي الساتل والمحطة الأرضية.

الجدول 1

مقارنة بين الاستقطاب الخطي والاستقطاب الدائري

العـــامل	ملاحظـــــــــات	الميـــزة (1)
1. ترصيف هوائي الاستقبال	ترصيف اتجاه الاستقطاب غير ضروري للاستقطاب الدائري	C
2. تأثـير ســـوء الـــتراصف في الاستقطاب المتقاطع	سوء التراصف لاتجاه استقطاب هوائي الإرسال والاستقبال المطلوب في الاستقطاب الخطي. هوامش حماية باستقطاب متقاطع قدرها من 2 إلى 4 dB بالمقارنة مع الاستقطاب الدائري	C
3. توجيه هوائي الساتل	مع الاستقطاب الخطي، لا يقابل مستوي الاستقطاب، عامة، المحور الكبير أو المحور الصغير لحزمة ذات مقطع عرضي إهليلجي ولذلك:	C
	أ) قد يكون الحصول على استحابة جيدة ذات استقطاب متقاطع صعباً مع الاستقطاب الخطي (ولا سيما لحزم إهليلجية)؛	C
	ب) النقل إلى ساتل احتياطي على موقع مداري مختلف يحتمل أن يكون أكثر صعوبة مع الاستقطاب الخطي بسبب الحاجة لإعادة ضبط مستوي الاستقطاب	C
4. التقاسم مع خدمات أخرى	أ) إذا اختير الاستقطاب الدائري للخدمة BSS واستعملت الخدمات الأخرى الاستقطاب الخطي، تضمن حماية تصل إلى 3 dB بين هذه الخدمات والخدمة BSS	C
	ب) إذا كانت الخدمة BSS والخدمات الأخرى، مثل الخدمات الثابتة الساتلية والخدمات للأرض تستعمل الاستقطاب الخطي، فيمكن عندئذ وفي الحالات المعزولة قريباً من الحزمة الرئيسية لهوائي استقبال، أن يزاد العزل من خلال استعمال الاستقطاب المتعامد	L
5. تأثيرات الانتشار	الاستقطاب الدائري يتأثر بالأحوال الجوية أكثر من الاستقطاب الخطي عند المعدلات العالية لهطول المطر (أكثر من 12,5 mm/h) وزوايا الوصول الصغيرة	L
	على سبيل المثال، قد يكون التوهين ذو الاستقطاب المتقاطع 20 dB أثناء 1% من الوقت مع الاستقطاب الدائري وفقاً لبعض القياسات في سويسرا عند 12 GHz. وقد لا تكون هذه الميزة للاستقطاب الدائري هامة إذا قورنت مع إرسال باستقطاب خطي أو قريباً من مستوي قدره 45°	

(1) C: دائري L: خطي

وجد أنه حتى في مناطق هطول المطر الغزير، يكون تأثير المطر ضعيفاً في النسبة *C/I* متحدة الاستقطاب وذات الاستقطاب المتقاطع في كل النسب المئوية من الأوقات إلا في أثناء نسبة 1%، من أسوأ شهر. أما فيما يتعلق بنسب مئوية أصغر من الوقت، فيصبح تأثير المطر أهم ويتعلق تأثيره في النسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع بنمط الاستقطاب وبالمتجهات المرجعية للاستقطاب الخطي.

يوجد نظامان مرجعيان رئيسيان يمكن استعمالهما لتعريف الاستقطاب الخطي:

- *استقطاب خطي مائل:* يعرف الاستقطاب الرأسي على نحو يكون فيه متجه الاستقطاب عمودياً على محور حزمة هوائي الساتل في المستوي المحدد بواسطة محور حزمة هوائي الساتل والاتجاه الرأسي المحلي. ويعرف الاستقطاب الأفقي على نحو فيه يكون متجه الاستقطاب عمودياً على محور حزمة هوائي الساتل المستوي الأفقي المحلي. ويكون هذان المتجهان في الاتجاه الأقرب إلى الأفقي المحلي أو الرأسي المحلي عند نقطة تسديد هوائي الساتل؛

- *استقطاب خطي أو استوائي:* يعرف الاستقطاب القطبي على نحو يكون فيه متجه الاستقطاب عمودياً على محور حزمة هوائي الساتل ويقع في المستوي المعرف بواسطة محور حزمة هوائي الساتل وخط موازٍ للمحور القطبي للأرض. ويعرف الاستقطاب الاستوائي على نحو يكون فيه متجه الاستقطاب عمودياً على محور حزمة هوائي الساتل وموازياً للمستوي الاستوائي.

على العموم، فإن الأداء الأفضل الذي يمكن أن يكون متيسراً مع الاستقطاب الخطي يتطلب شرطين وهما، في معظم الحالات، غير متلائمين. فمن جانب يحصل على أفضل أداء للاستقطاب الخطي عندما تستقبل الإشارة باستقطاب رأسي. وعلى الجانب الآخر، فإن الإشارات مسببة التداخل بالاستقطاب المتعامد يجب أن تستقبل عند 90° تماماً من الإشارة المطلوبة. ولأسباب هندسية لا يمكن تلبية هذين الشرطين في آن واحد.

ويمكن الحصول على أداء أفضل قليلاً بالاستقطاب الخطي عندما يعرف المتجه المرجعي عمودياً على المستوي الاستوائي وإذا لم يتجاوز سوء تراصف المستقبل 3° لجميع الأنظمة المتحدة الاستقطاب. وهذا يعني أن الاستقطاب لا يستقبل رأسياً، وبهذا لا يلبي الشرط الأول. ولما كان هذا التحسن يعتبر هامشياً نظراً إلى القيود الإضافية المفروضة على ترصيف مقطب المستقبل، فيقترح الاستقطاب الدائري لتخطيط الخدمة الإذاعية الساتلية.

3. نتائج تجريبية

لقد أجريت دراسة حول الاختيار بين الاستقطاب الخطي والاستقطاب الدائري للوصلات الهابطة للخدمة BSS. وافترض أن مقدرة تمييز الاستقطاب المتقاطع لهوائي المحطة الأرضية XPI_{ES} تكون في المدى من 20 إلى 25 dB بينما تقع المقدرة الخاصة بهوائي الساتل في المدى من 27 إلى 33 dB لكلا الاستقطابين الخطي والدائري.

ودرس تأثير التوهين وإزالة الاستقطاب بسبب المطر في النسبة *C/I* للوصلة الهابطة للمناطق المناخية المطرية E و K و N باستعمال نموذج قياس المطر للتوصية 618. وأظهرت النتائج أنه أثناء كل النسب المئوية من الوقت أسوأ شهر إلا 1 % منه، يكون تأثير التوهين وإزالة الاستقطاب بسبب المطر ضعيفاً جداً في النسبة *C/I* متحدة الاستقطاب وذات الاستقطاب المتقاطع. أما لنسب مئوية أصغر من الوقت، فإن تأثير التوهين وإزالة الاستقطاب بسبب المطر يتعلق بنمط الاستقطاب وبالمتجهات المرجعية للاستقطاب الخطي. يعطي الشكل 1 نتائج التيسر للنسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع بين حزم متجانسة لوصلات هابطة للساتل (قطر الحزمة 2°) عندما يستعمل استقطاب خطي مائل أو خطي استوائي أو استقطاب دائري.

زاوية الارتفاع للساتل تكون 25° ويفترض أن هوائي المحطة الأرضية مسدد بدقة على الساتل ومتراصف مع الاستقطاب المطلوب. ومع ذلك، فإن سوء تراصف الاستقطاب B_R عندما يكون 0,1° لاستقطاب خطي استوائي و 10,3° لاستقطاب خطي مائل، فإن زاويتي الميل التدريجي المقابلتين للحزمتين المطلوبة والمسببة للتداخل تكونان بمقدار 5° و 10° على التوالي لاستقطاب خطي مائل واستقطاب خطي استوائي.

يوضح الشكل 1 بأنه لتوهين قدره 1 dB، فإن النسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع تكون 19,5 dB للاستقطاب الدائري والاستقطاب الخطي الاستوائي. إلا أنه في الاستقطاب الخطي المائل ينقص سوء التراصف B_R (10,3°) النسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع إلى 13,5 dB من أجل توهين بسبب المطر قدره 1 dB.

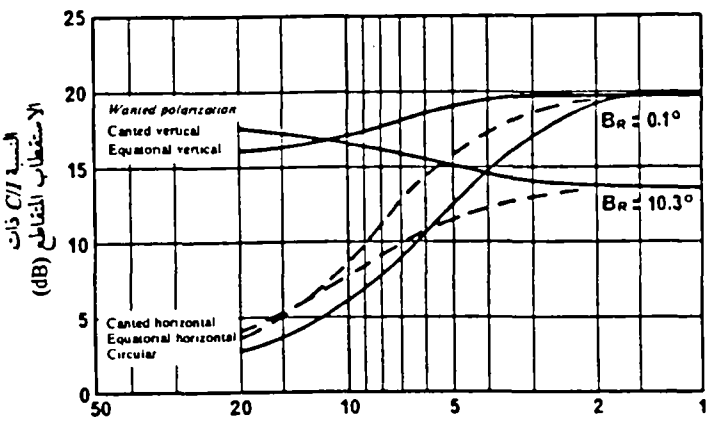
وبالنسبة إلى قيم أكبر للتوهين بسبب المطر، تتعلق بالنسبة *C/I* بالتوهين التفاضلي بين الاستقطاب الخطي الأفقي والاستقطاب الرأسي وبإزالة الاستقطاب. أما الاستقطاب الرأسي المائل فهو الأقل توهيناً ولذلك يمكن أن يتفوق على أداء النسبة *C/I* للاستقطاب الأفقي الاستوائي، والاستقطاب الدائري وحتى الاستقطاب الرأسي الاستوائي. إلا أن هذه التغيرات في أداء النسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع تحدث عادة في أثناء نسب مئوية صغيرة جداً من الوقت عندما يكون توهين الإشارة مفرطاً (أكبر من 10 dB).

إذا أهمل تأثير المطر عند التردد 12 GHz في النسبة *C/I*، فإن تأثير سوء التراصف الإجمالي بين شبكات باستقطاب خطي، B_T، في النسبة *C/I* في السماء الصافية، يمثل في الشكل 2 ويقارن مع الأداء في الاستقطاب الدائري. يوضح الشكل التناقص السريع للنسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع في السماء الصافية مع سوء التراصف بين الاستقطابات الخطية. هوائيات الاستقبال باستقطاب دائري مع تمييز *XPI* قدره 20 و 25 dB تعطي للنسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع قيمة أعلى من القيمة التي تعطيها هوائيات باستقطاب خطي لأي سوء تراصف أكبر من 5° و 2° على التوالي. ويوضح الشكل أيضاً بعض القيم النموذجية لسوء التراصف الإجمالي، B_T، بافتراض خطأ في دوران هوائي الساتل: $B_S = \pm 1°$، وخطأ في تراصف المحطة الأرضية $B_{ES} = \pm 5°$ في حالتي الاستقطاب الخطي الاستوائي والاستقطاب الخطي المائل. ويبدو من الصعب التراصف والمحافظة على المقطبات للملايين من هوائيات الاستقبال قليلة الكلفة لأفضل من ± 5° من الاستقطاب المطلوب.

إن أقصى سوء تراصف كلي قد يعطي نسبة *C/I* ذات استقطاب متقاطع مع الاستقطاب الخطي أعلى من النسبة مع الاستقطاب الدائري وفقاً لمقدرات التمييز للهوائي. ولا يمكن تحقيق سوء تراصف أقصى قدره 5° إلا عبر استقطاب خطي استوائي إذا أمكن التراصف والاحتفاظ بمقطب المستقبِل في حدود حوالي 3° من الاستقطاب المطلوب. واستعمال الاستقطاب الخطي المائل، مع قيمة دنيا نموذجية لسوء التراصف، B_R، قدرها 4° يعطي في أغلبية الحالات، نسبة *C/I* أسوأ من الاستقطاب الدائري.

الشكل 1

تيسر النسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع عند حافة
منطقة التغطية بين سواتل تشغل نفس الموقع وتخدم مناطق حزم متجاورة
(يفترض أن الهوائيات متراصفة تراصفاً تاماً)

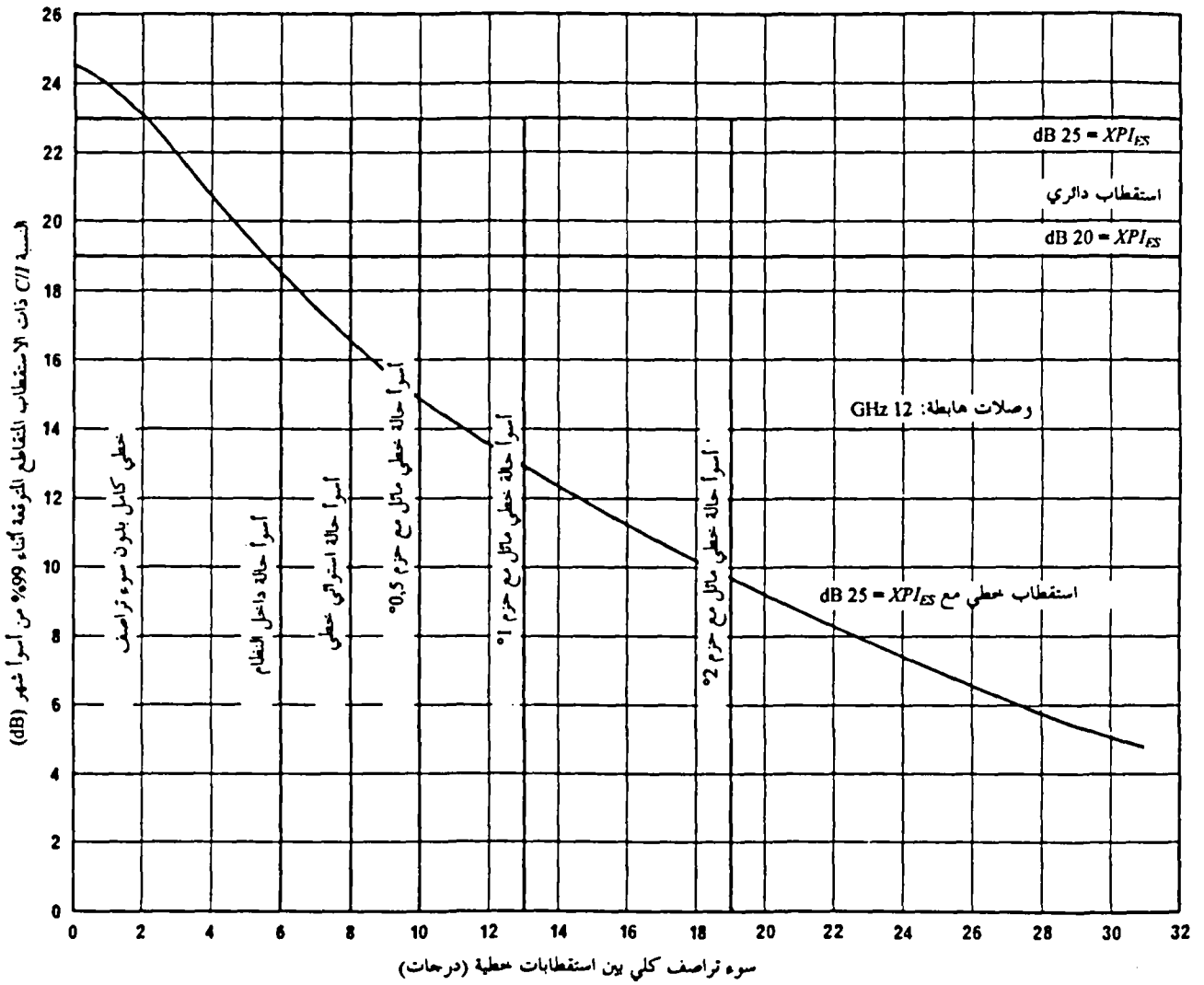


وصلات هابطة بتردد 12 GHz
سواتل متحدة الموضع
فتحة حزمة هوائي السواتل: 2°
زاوية الارتفاع: 25°
XPI_{ES} = + 20 dB
XPI_{SAT} = + 33 dB

الشكل 2

النسبة *C/I* ذات الاستقطاب المتقاطع في حالة السماء الصافية،
بين حزم سواتل متجاورة، مرسلة من ساتل إلى محطة أرضية موقعها في النقطة المشتركة للأكفة -3 dB

(تمثل أفضل حالة لاستقطاب استوائي خطي ودائري وأسوأ حالة لاستقطاب خطي مائل)



التذيـــل 1

للملحـــق 1

تأثيرات هندسة النظام في الاستقطاب الخطي

في حالة الاستقطاب الخطي، تتغير زاوية الاستقطاب المستقبلة بدلالة خط العرض وخط الطول لمطراف الاستقبال على الأرض بالنسبة لخط الطول لمسقط الساتل على سطح الأرض. ويسبب ذلك التغير في توجيه النظام المرجعي (الأفقي المحلي والرأسي المحلي) بالنسبة إلى الموقع الجغرافي النسبي.

إن زاوية استقطاب الموجة الواردة باستقطاب خطي، بافتراض أن متجه الاستقطاب للموجة المرسلة يوازي المستوي الاستوائي، يعبر عنها بالمعادلة التالية (بدون حساب دوران فاراداي وهو مقدار يهمل عند التردد 12 GHz):

$$\theta_p = \arctan\left\{(\sin\Delta\lambda / \tan\varphi)\sqrt{1 + \left[\sin\theta/(\beta - \cos\theta)^2\right]}\right\}$$

حيث:

θ_p: زاوية استقطاب الموجة الواردة تقاس من خط تقاطع المستوي الأفقي المحلي والمستوي العمودي على خط البصر إلى الساتل عند مطارف الاستقبال على الأرض

$\Delta\lambda$: خط الطول النسبي لمطراف الاستقبال على الأرض

θ: الزاوية المركزية للأرض بين مسقط الساتل على سطح الأرض ومطراف الاستقبال على الأرض ($\theta = \arccos[\cos\Delta\lambda\cos\varphi]$)

β: 6,62 (نصف قطر المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض مقسوماً على نصف قطر الأرض).

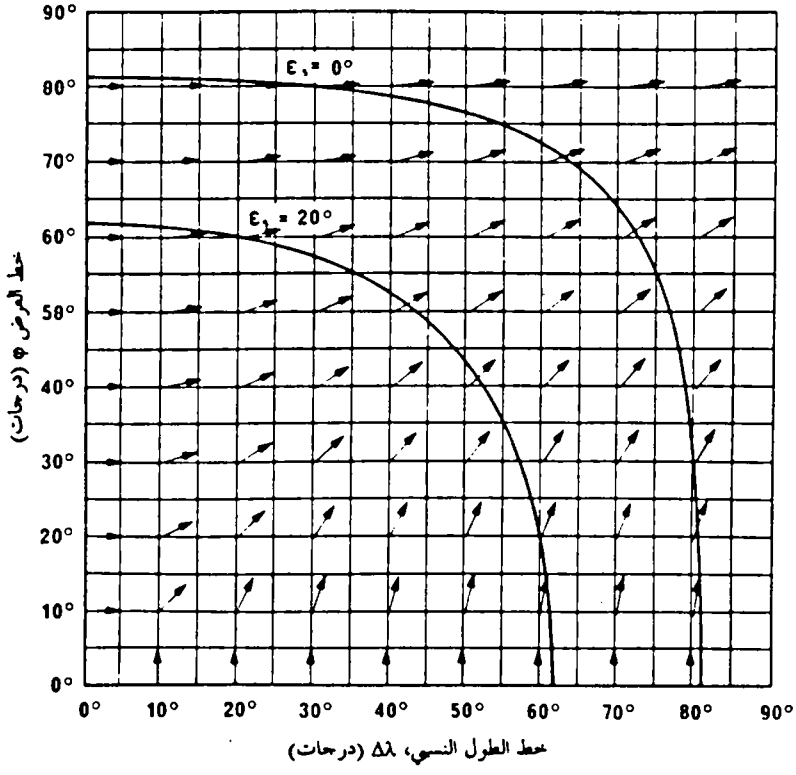
هذا التغير لزاوية الاستقطاب يمثل في الشكل 3 لمختلف خطوط العرض وخطوط الطول النسبية. الزاوية θ_p هي الزاوية التي يكونها متجه الصفير مع المحور $\Delta\lambda$. توضح أيضاً الأكفة لزاويتي ارتفاع قدرهما 0° و 20°.

تتغير زاوية الاستقطاب تغيراً كبيراً وفقاً للموقع الجغرافي. ويبدو، نتيجة لذلك، أن من غير العملي أن يضبط استقطاب الموجة المرسلة لضمان أنها ستستقبل أفقياً عند جميع النقاط في منطقة الخدمة.

وبسبب هذا التغير في زاوية الاستقطاب مع خط العرض ومع خط الطول النسبي، فإن مجرد اختيار الاستقطاب الأفقي (متجه الاستقطاب موازٍ للمستوي الاستوائي) للمحطة الفضائية في الخدمة الإذاعية الساتلية لن يضمن أنها ستستقبل متعامدة بالنسبة إلى متجه الاستقطاب المرغوب فيه (عادة رأسي) في أنظمة للأرض.

الشكل 3

تغيرات زاوية الاستقطاب المستقبلة على الأرض



ε_s: زاوية الارتفاع