التوصية ITU-R F.699-7*

مخططات الإشعاع المرجعية لأنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة التي يجب استعمالها في دراسات التنسيق وفي تقييم التداخل في مدى الترددات الذي يتراوح بين 100 MHz ونحو 70 GHz

(المسألة ITU-R 110/9)

(2006-2004-2000-1997-1995-1994-1992-1990)

مجال التطبيق

تتضمن هذه التوصية أنماط الإشعاع المرجعية، كما تتضمن معلومات عن أنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة في مدى الترددات الذي يتراوح بين 100 MHz ونحو 70 GHz. ويمكن استعمال هذه المعلومات في دراسات التنسيق وفي تقييم التداخل عندما لا تتوافر معلومات معينة عن الهوائيات اللاسلكية الثابتة.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أنه، لدراسات التنسيق ولتقدير التداخل المتبادل بين أنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة وبين محطات تلك الأنظمة والمحطات الأرضية لخدمات الاتصالات الراديوية الفضائية التي تتقاسم نفس نطاق التردد، قد يكون من الضروري استعمال مخططات إشعاع مرجعية للهوائيات اللاسلكية الثابتة؛

ب) أنه، لهذه الدراسات، قد تكون مخططات الإشعاع، التي تقوم على مستوى يتجاوز ذروات الفص الجانبي بنسبة مئوية صغيرة، مناسبة؛

ج) أن مخططات الفص الجانبي لهوائيات بقدود مختلفة تتأثر بقوة بالنسبة بين قطر الهوائي وطول موجة التشغيل؛

د) أن مخططات الإشعاع المرجعية مطلوبة في الحالات التي لا تتوافر فيها المعلومات المتعلقة بقطر الهوائي؛

ه) أنه يجب أن تؤخذ في الاعتبار إمكانية حدوث انعكاسات أرضية محلية عند الزوايا الكبيرة؛

و) أن استعمال هوائيات بأفضل مخططات إشعاع ممكنة يساعد على تحقيق أفضل استعمال لطيف التردد الراديوي، مع مراعاة تقرير قطاع الاتصالات الراديوية (الوثيقة ITU-R F.2059).

توصي

1 بأنه، في حالة عدم توافر معلومات معينة بشأن مخطط إشعاع أنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة المعنية (انظر الملاحظة 1)، ينبغي استعمال مخطط الإشعاع المرجعي المبين فيما يلي، في:

1.1 تقدير التداخل بين أنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة؛

* ينبغي عرض هذه التوصية على لجان الدراسات 4 و6 و7 و8 التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية.

2.1 دراسات التنسيق وتقدير التداخل بين محطات أنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة ومحطات خدمات الاتصالات الراديوية الفضائية التي تتقاسم نفس نطاق التردد؛

2 بأنه ينبغي تطبيق مخطط الإشعاع المرجعي التالي للترددات في المدى الذي يتراوح بين 100 MHz ونحو 70 GHz؛

1.2 بأنه بالنسبة للترددات التي تكون في المدى الذي يتراوح بين 1 GHz ونحو 70 GHz، في الحالات التي تكون فيها النسبة بين قطر الهوائي وطول الموجة أكبر من 100، ينبغي استعمال المعادلات التالية (انظر الملاحظتين 6 و7):

$$G(\varphi) = G_{max} - 2{,}5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\varphi\right)^2 \qquad \text{for} \quad 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \qquad \text{for} \quad \varphi_m \le \varphi < \varphi_r$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi \qquad \text{for} \quad \varphi_r \le \varphi < 48°$$

$$G(\varphi) = -10 \qquad \text{for} \quad 48° \le \varphi \le 180°$$

حيث:

$G(\varphi)$: الكسب بالنسبة للهوائي المتناحي

φ: زاوية الانحراف عن المحور الرئيسي (بالدرجات)

D: قطر الهوائي

λ: طول الموجة

يعبر عنهما بنفس الوحدات

G_1: كسب الفص الجانبي الأول $= 2 + 15 \log \frac{D}{\lambda}$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D}\sqrt{G_{max} - G_1} \qquad \text{بالدرجات}$$

$$\varphi_r = 15.85\left(\frac{D}{\lambda}\right)^{-0.6} \qquad \text{بالدرجات}$$

2.2 بأنه بالنسبة للترددات التي تكون في المدى الذي يتراوح بين 1 GHz ونحو 70 GHz، في الحالات التي تكون فيها النسبة بين قطر الهوائي وطول الموجة أقل من أو مساوية لـــ100، ينبغي استعمال المعادلات التالية (انظر الملاحظتين 6 و7):

$$G(\varphi) = G_{max} - 2{,}5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\varphi\right)^2 \qquad \text{for} \quad 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \qquad \text{for} \quad \varphi_m \le \varphi < 100\,\frac{\lambda}{D}$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \qquad \text{for } 100\,\frac{\lambda}{D} \le \varphi < 48°$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \qquad \text{for} \quad 48° \le \varphi \le 180°$$

3.2 بأنه بالنسبة للترددات التي تكون في المدى الذي يتراوح بين 100 MHz وأقل من 1 GHz، في الحالات التي تكون فيها النسبة بين قطر الهوائي وطول الموجة أكبر من 0,63 (G_{max} أكبر من 3,7 dBi)، ينبغي استعمال المعادلات التالية:

$$G(\varphi) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\varphi\right)^2 \qquad \text{for} \quad 0° < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \qquad \text{for} \qquad \varphi_m \le \varphi < 100\,\frac{\lambda}{D}$$

$$G(\varphi) = 52 - 10\log\frac{D}{\lambda} - 25\log\varphi \qquad \text{for} \qquad 100\,\frac{\lambda}{D} \le \varphi < \varphi_s$$

$$G(\varphi) = -2 - 5\log\frac{D}{\lambda} \qquad \text{for} \qquad \varphi_s \le \varphi \le 180°$$

حيث:

$$\varphi_s = 144.5\left(\frac{D}{\lambda}\right)^{-0.2}$$

3 بأنه، في الحالات التي يكون فيها الكسب الأقصى للهوائي فقط هو المعروف، يمكن تقدير D/λ من الصيغة التالية:

$$20\log\frac{D}{\lambda} \approx G_{max} - 7.7$$

حيث G_{max} هو كسب الهوائي في الفص الرئيسي معبراً عنه بالوحدة (dBi)؛

4 بأنه في الحالات التي تكون فيها عروض الحزمة فقط هي المعروفة:

1.4 يمكن تقدير D/λ (المعبر عنها بنفس الوحدة) من الصيغة التالية:

$$D/\lambda \approx 69{,}3 / \theta$$

حيث θ هو عرض الحزمة (تحت 3 dB) (بالدرجات)؛

2.4 وعلى افتراض أن عرض الحزمة θ، يمكن تقدير قيمة G_{max} على وجه التقريب بما يلي:

$$G_{max}\,(\text{dBi}) \approx 44{,}5 - 20\log\theta$$

5 بأن تقدم الإدارات مخططات إشعاع مُقيسة أو خصائص تتيح إعداد مخططات إشعاع مرجعية جديدة ومحسنة واقتراح استعمالها في دراسات التنسيق وفي تقدير التداخل (انظر التذييل 1 للملحق 1).

6 بأنه يجب الرجوع إلى الملحق 1 للحصول على المعلومات الإضافية المتعلقة بأنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة؛

7 بأنه لإجراء الحساب التفصيلي لمستويات التداخل على مسيرات التداخل، من الضروري أن تؤخذ في الاعتبار استجابة الاستقطاب المتقاطع لكل من الهوائيات التي تتعرض للتداخل والهوائيات المسببة للتداخل؛

1.7 بأنه لإجراء الحساب المشار إليه في الفقرة 7 من *توصي*، بما في ذلك عنصر الإشارة التي تسقط بالإشعاع على القطبية المقصودة واستجابة الاستقطاب المشترك للهوائي المُستقبِل المعرض للتداخل لعنصر الإشارة التي تسقط بالإشعاع من الهوائي المُرسِل على القطبية غير المقصودة، يمكن استعمال المعادلة التالية:

$$G_t(\varphi_t) + G_r(\varphi_r) = 10\cdot\log\left(10^{\frac{G_{tH}(\varphi_t)+G_{rV}(\varphi_r)}{10}} + 10^{\frac{G_{tV}(\varphi_t)+G_{rH}(\varphi_r)}{10}}\right) \quad \text{dBi}$$

حيث تشير المعلمات التالية إلى كسب الهوائي (dBi):

$G_t(\varphi_t)$: الكسب الفعلي للهوائي المُرسِل في اتجاه الهوائي المعرض للتداخل

$G_r(\varphi_r)$ الكسب الفعلي للهوائي المُستقبِل في اتجاه الهوائي المسبب للتداخل

$G_{tH}(\varphi_t)$ عنصر الكسب المستقطب أفقياً للهوائي المُرسِل

$G_{rV}(\varphi_r)$ عنصر الكسب المستقطب رأسياً للهوائي المُستقبِل

$G_{tV}(\varphi_t)$ عنصر الكسب المستقطب رأسياً للهوائي المُرسِل

$G_{rH}(\varphi_r)$ عنصر الكسب المستقطب أفقياً للهوائي المُستقبِل.

φ_t و φ_r هما الزاويتان الواقعتان بين اتجاه الحزمة الرئيسية والاتجاه جهة الهوائي المعرض للتداخل والهوائي المُرسِل على التوالي.

ويتضمن الملحق 2 معلومات إضافية وأمثلة عددية عن استعمال المعادلة السابقة.

8 أن الملاحظات التالية ينبغي اعتبارها جزءاً من هذه التوصية.

الملاحظة 1 – لا بد من القيام بكل مجهود لاستخدام مخطط إشعاع الهوائي الفعلي في دراسات التنسيق وتقدير التداخل.

الملاحظة 2 – ينبغي ملاحظة أن مخطط إشعاع الهوائي الفعلي قد يكون أسوأ من مخطط الإشعاع المرجعي على مدى معين من الزوايا (انظر الملاحظة 3). لذلك فإن مخطط الإشعاع المرجعي في هذه التوصية ينبغي ألا يفسر على أنه يحدد الحد الأقصى لمخططات إشعاع أنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة الموجودة أو المخطط لها. ويلاحظ أنه لأغراض الاعتماد، يمكن للإدارات أن تطبق المعايير التي تكون قائمة في العادة على قياسات إحصائية للهوائيات الفعلية وهي التي قد تمثل قيماً مختلفة لمستويات مخطط إشعاع الفص الجانبي.

الملاحظة 3 – ينبغي توخي الحذر في استعمال مخطط الإشعاع المرجعي على مدى الزوايا حيث قد يؤدي نظام التغذية المعين إلى مستويات أعلى نسبياً من الطفح.

الملاحظة 4 – ينطبق المخطط المرجعي المبين في الفقرة 2 على استقطاب واحد فقط (أفقي أو رأسي). والمخططات المرجعية الخاصة باستقطابين (أفقي ورأسي) تحت الدراسة.

الملاحظة 5 – مخطط الإشعاع المرجعي المشار إليه في هذه التوصية يخص الهوائيات تناظرية الدوران. ويتطلب مخطط الإشعاع المرجعي للهوائيات التي هي بفتحات لا تناظرية أو التي هي بدون فتحات في مدى التردد من 100 MHz إلى 1 GHz مزيداً من الدراسة. ويمكن اعتبار المخططات المرجعية المبينة أعلاه صالحة لمثل هذه الهوائيات بصفة مؤقتة. وفي هذه الحالة، تكون قيمة D/λ المحسوبة من G_{max} هي القيمة المكافئة لـ D/λ وليست القيمة الفعلية لها.

الملاحظة 6 – تتضمن التوصية ITU-R F.1245 نموذجاً رياضياً لمخططات الإشعاع التي تستعمل في بعض دراسات التنسيق وفي تقييم التداخل.

الملاحظة 7 – تتضمن التوصية ITU-R F.1336 مخططات الإشعاع المرجعية للهوائيات شاملة الاتجاه والقطاعية في الأنظمة التي تعمل من نقطة إلى عدة نقاط.

الملاحظة 8 – من اللازم إجراء مزيد من الدراسات للتأكد من مدى ضرورة الاستمرار في تطوير مخططات الإشعاع المرجعية لمراعاة جوانب التقدم في تصميم الهوائيات.

الملاحظة 9 – على الرغم من أن مخطط الإشعاع المشار إليه في الفقرة 2 من *توصي* يمكن تطبيقه بشكل عام، فإنه لا يمثل نموذجاً مناسباً لبعض هوائيات الخدمة الثابتة المستعملة عملياً ويجب التعامل معه بحذر في مديات الزوايا التي تتراوح بين 5 و 70 درجة (انظر أيضاً الملاحظتين 2 و 3).

الملحق 1

مخططات الإشعاع الراديوي المرجعية الخاصة بالهوائيات اللاسلكية الثابتة

1 مقدمة

لدراسة تقاسم الترددات بين أنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة والخدمة الثابتة الساتلية أو إمكانية إعادة استعمال الترددات في شبكة الهوائيات اللاسلكية الثابتة، يكون من الضروري في حالات كثيرة استعمال مخطط مرجعي، لأن مخطط الإشعاع الفعلي للهوائيات لا يكون دائماً معروفاً بدقة، أو يتضمن الكثير من التفاصيل. ولذا، ينبغي للمخطط المرجعي أن يمثل غلاف الفص الجانبي بشكل مبسط.

ومع ذلك، قد يختلف مخطط الإشعاع المرجعي الذي يجب انتقاؤه تبعاً للاستعمال المخصص له.

وعموماً، تستعمل مخططات الإشعاع المرجعية المبينة في النص الرئيسي من هذه التوصية.

2 استعمالات مخططات الإشعاع الراديوي

الاستعمالان الرئيسيان لمخططات الإشعاع الراديوي هما كالآتي:

1.2 في الدراسات الأولية داخل منطقة التنسيق

عند تحديد منطقة التنسيق المحيطة بمحطة أرضية، يُفترض أن الهوائيات اللاسلكية الثابتة مسددة مباشرة نحو هوائي المحطة الأرضية. ومع ذلك، ففي معظم الحالات يوجد بعض التمييز الزاوي. وباستعمال مخطط إشعاع مرجعي يمكن إغفال محطات الهوائيات اللاسلكية الثابتة الواقعة في منطقة التنسيق والتي من غير المحتمل أن تكون سبباً في حدوث تداخل.

ومن الضروري، بل ومن الواجب مراعاة الحيطة لدى وضع المخطط لتفادي إغفال بعض مصادر التداخل المهمة. ويتطلب الحساب الدقيق لمستوى التداخل توافر معلومات أكثر دقة عن مخطط الهوائي.

2.2 في إعادة استعمال التردد في الشبكة اللاسلكية الثابتة

يمكن استعمال نفس التردد عدة مرات في الشبكة اللاسلكية الثابتة، سواء على أقسام بعيدة عن بعضها بشكل كاف، أو على أقسام تبدأ من المحطة نفسها في اتجاهات مختلفة، أو على نفس القسم باستعمال الاستقطاب المتقاطع.

وفي الحالتين الأخيرتين، يكون أداء الهوائي مهماً جداً ويجب استعمال مخطط إشعاع مرجعي دقيق إلى حد ما في وضع مشروع الشبكة؛ وقد يكون هذا المخطط أكثر تعقيداً من المخطط المشار إليه في الفقرة 1.2، ومع التسليم بضرورة أخذ الكفاءة الاقتصادية في الاعتبار، قد ترغب الإدارات في استعمال أنواع من الهوائيات عالية الأداء في المناطق التي يكون استعمال الطيف فيها مرتفعاً.

3 نتائج القياسات التي أجريت على هوائيات الوصلات اللاسلكية الثابتة

القياسات التي أجريت على العديد من الهوائيات تؤكد بما فيه الكفاية حسابات مخططات الإشعاع المرجعية المعروضة في نص هذه التوصية، على الأقل لغاية قيمة D/λ بنسبة 130 تقريباً. ومع ذلك، يجب مراعاة النقاط الآتية:

1.3 أن أداء بعض الهوائيات ذات التصاميم القديمة نسبياً لا يكون مُرضياً بنفس درجة الطرازات الأحدث. وينبغي مراعاة وجود هذا الأداء المتوسط للهوائيات عند تقاسم الترددات.

2.3 يقوم هذا الحساب على افتراض أن الهوائيات تعمل في ظروف الفضاء الحر. إلا أن خصائص الهوائيات العاملة قد تكون أقل جودة بعض الشيء بسبب الانعكاسات الصادرة عن العوائق المجاورة أو عن هوائيات أخرى مركبة على نفس السارية.

4 مخططات الإشعاع الخاصة بالهوائيات عالية الأداء

تساهم الهوائيات عالية الأداء في زيادة سعة العقدة بدرجة كبيرة في الأنظمة اللاسلكية الثابتة. وفيما يتعلق بالهوائيات ذات العاكس البوقي التي تم تطويرها لتلبية متطلبات الأنظمة اللاسلكية الثابتة في الشبكات عالية الكثافة، يمكن اعتبار المخطط المرجعي المشار إليه أعلاه صالحاً في المستوي الأفقي فقط. أما المستويات البعيدة عن الأفق فتكشف عن تغيرات كبيرة في درجة الحساسية.

ويتضمن الشكل 1 مثالاً لمخطط الإشعاع الخاص بهوائي بعاكس بوقي هرمي يستعمل بشكل واسع. وفي هذا المثال، تُحدد أكفة غلاف الإشعاع (بالوحدة dB تحت الحزمة الرئيسية) في نظام إحداثي باستعمال الزاويتين φ وθ (إذا كان مركز النظام الإحداثي الكروي هو مركز فتحة الهوائي). ويرجع التباعد الكبير في التناظر الدوراني المفترض في مخططات الإشعاع المرجعية المحددة في الفقرة 2 من *توصي* إلى:

- "فص الطفح" حوالي $\varphi = +90°$ و $\theta >$ بين 60° و < 80°،
- "فص الغطاء ضد الأرصاد الجوية" حوالي $\varphi = -90°$ و $\theta >$ بين 50° و < 90°.

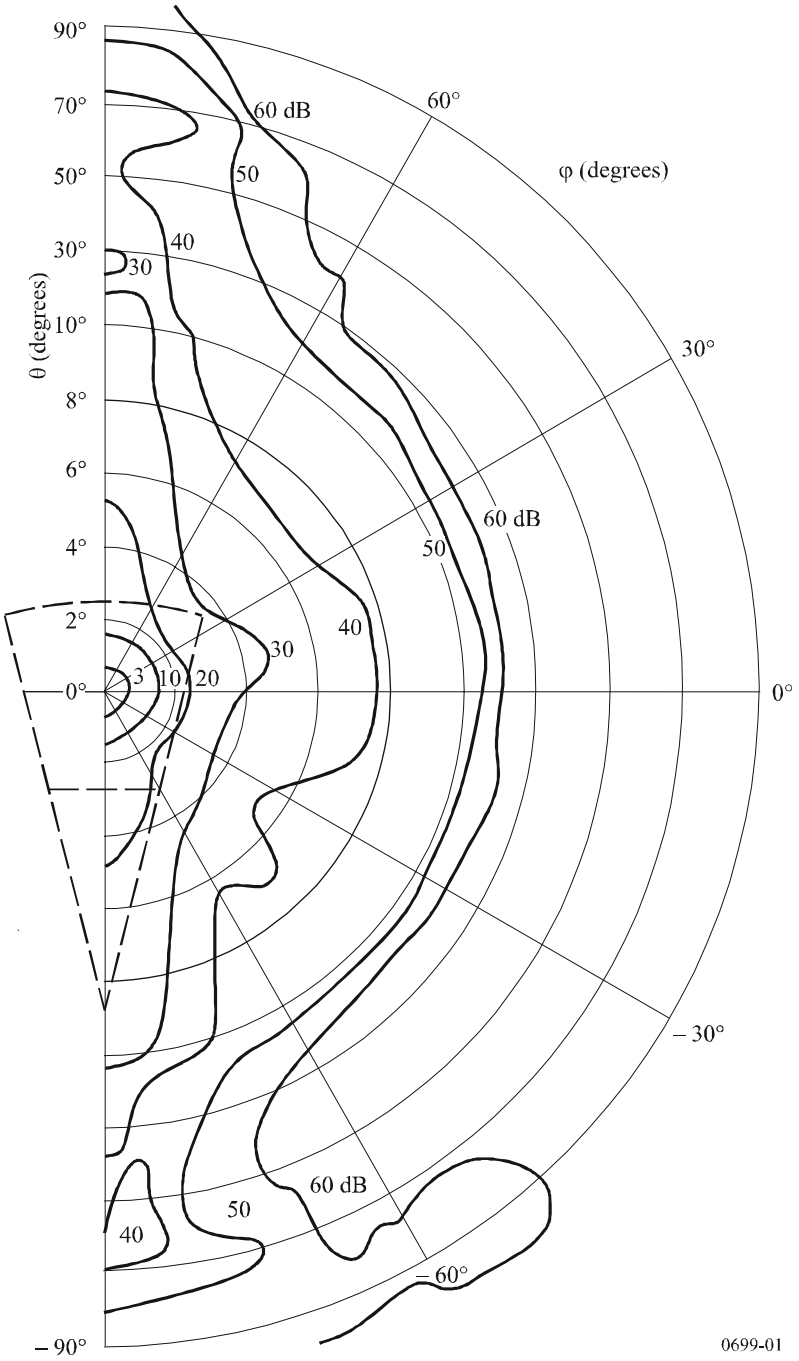
وينتج فص الطفح من انعراج الموجة عند الحافة العليا للفتحة بسبب الأشعة المباشرة المنبعثة من القسم البوقي الهرمي. ولا يحدث هذا التأثير إلا في حالة الاستقطاب العمودي. ويُعزى فص الغطاء ضد الأرصاد الجوية إلى انعكاس الطاقة من غطاء الحماية المائل المصنوع من مادة لدنة إلى السطح المكافئ الذي يعيد توجيه معظم الطاقة إلى أسفل فوق الحافة السفلية للفتحة. وهذه الظاهرة غير حساسة للاستقطاب والتردد.

يكشف الهوائي المزود بعاكس متخالف اتجاهية حادة خاصة في المستوي الأفقي. ويوضح الشكل 2 أمثلة لمخططات الإشعاع الخاصة بالهوائي المزود بعاكس متخالف مع مثال لهوائي بعاكس بوقي هرمي مستنتج من الشكل 1.

الشكل 1

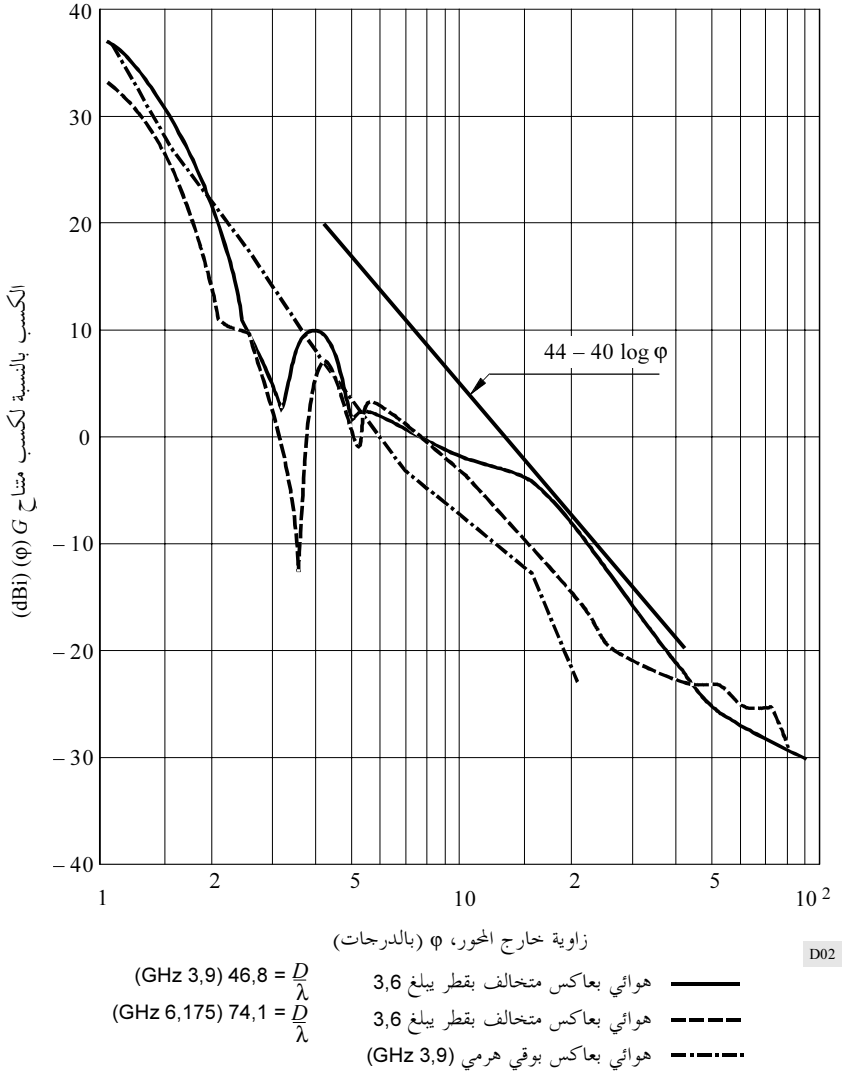
مخطط إشعاع ثلاثي الأبعاد لهوائي مزود بعاكس بوقي هرمي عند GHz 3,9 واستقطاب عمودي

(ينبغي ملاحظة تغير السلم حيث إنه عند θ = 10°)



الشكل 2

مخطط الإشعاع للهوائيات عالية الأداء



فيما يتعلق بالهوائيات المزودة بعاكس بوقي والهوائيات المزودة بإضاءة ضعيفة جداً على حافة العاكس، يمكن استعمال الصيغة التالية مؤقتاً كمخطط إشعاع مرجعي في المستوى الأفقي:

$$G = 88 - 30 \log \frac{D}{\lambda} - 40 \log \varphi \qquad (1)$$

هذه الصيغة تصلح خارج الفص الرئيسي من أجل القيمة φ لغاية حوالي 90°. بينما عندما لا تكون الإضاءة على حافة العاكس ضعيفة جداً، قد يكون مستوى الفصوص الجانبية في بعض الاتجاهات أعلى مما هو مبين في المعادلة (1).

التذييل 1
للملحق 1

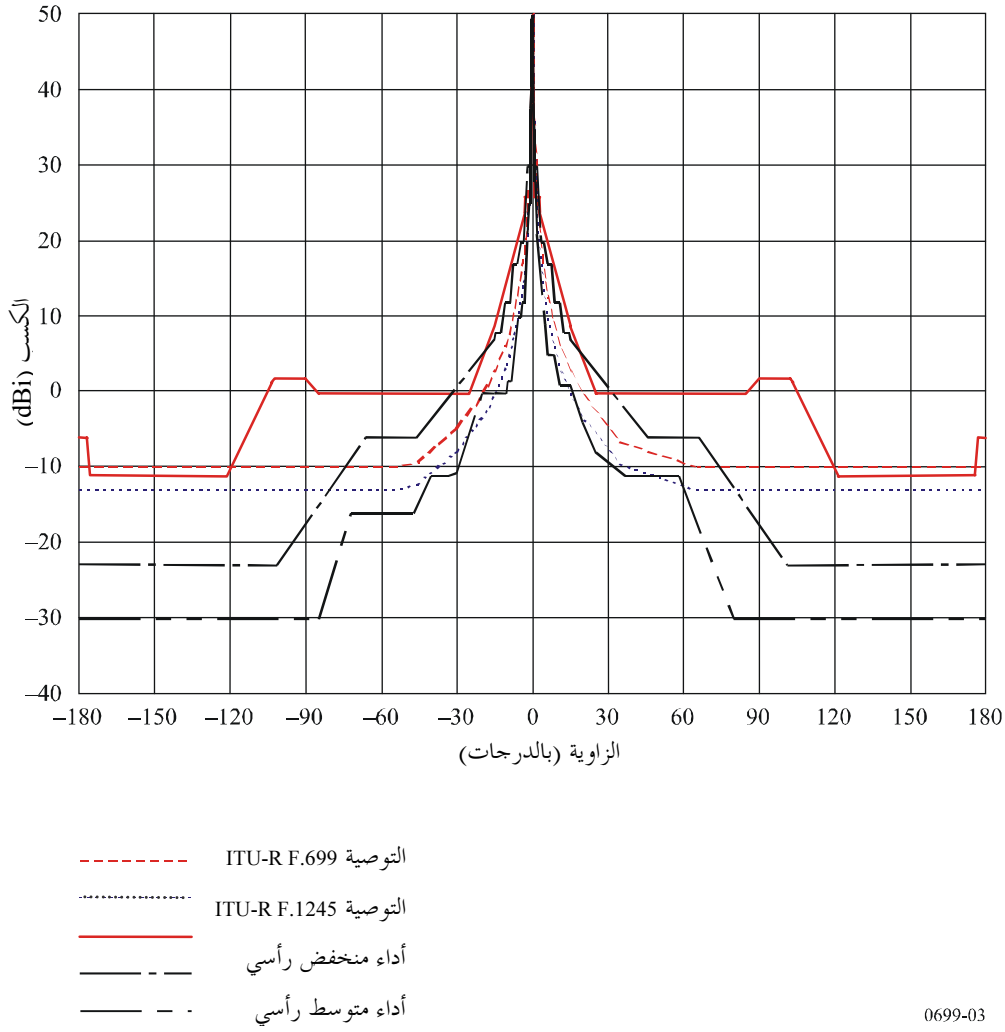
المخططات المقيسة المقترح استعمالها في المراحل التالية لوضع هذه التوصية

1 مقدمة

هناك حاجة مستمرة إلى استعراض وتحديث مخططات الإشعاع المرجعية المبينة في هذه التوصية. ولما كانت نطاقات الترددات المستعملة في أنظمة الهوائيات اللاسلكية الثابتة تتجاوز GHz 70، هناك حاجة إلى توسيع مجال تطبيق هذه المخططات المرجعية التي تتجاوز GHz 70. وللمساعدة في ذلك، يتضمن هذا التذييل مقارنات لبعض أغلفة مخططات الهوائيات العملية ومخططات الإشعاع مع المخططات المرجعية المقابلة لها المستخلصة من هذه التوصية ومن التوصية ITU-R F.1245.

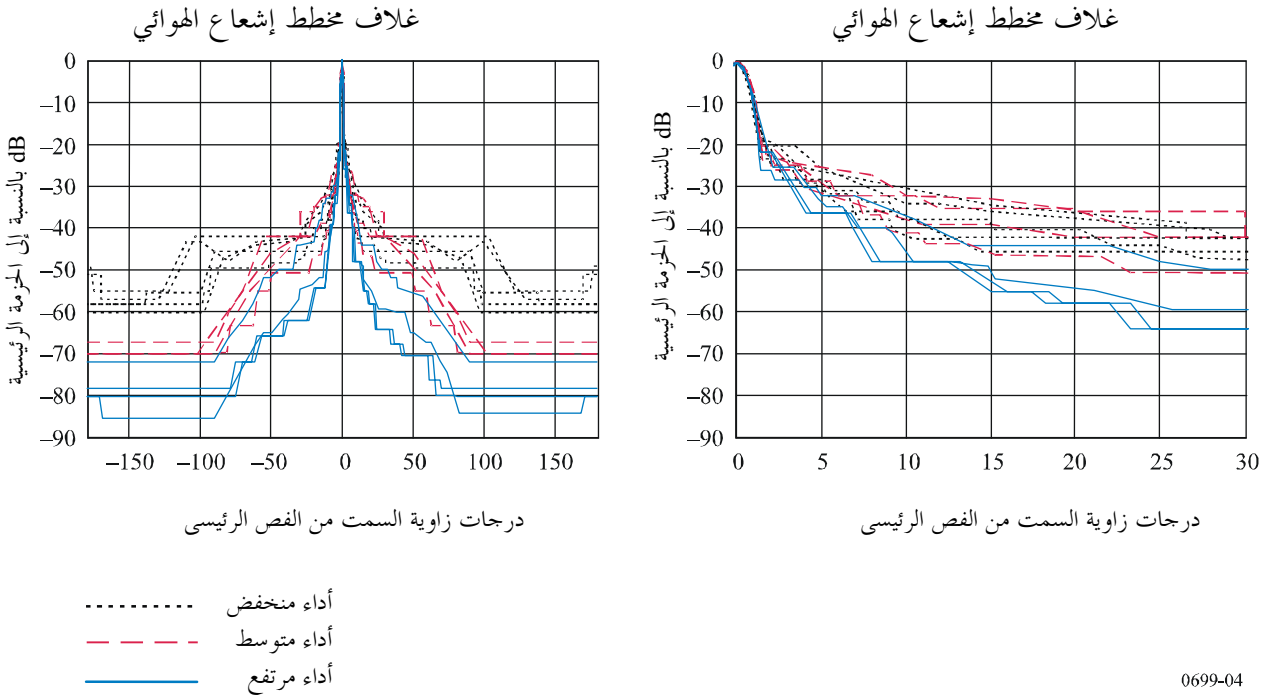
الشكل 3

هوائيات من نقطة إلى نقطة بمدى GHz 10,7 وقطر 3 أمتار (D/λ = 114؛ والكسب = dBi 49,8)
(H: الاستقطاب الأفقي، V: الاستقطاب الرأسي)



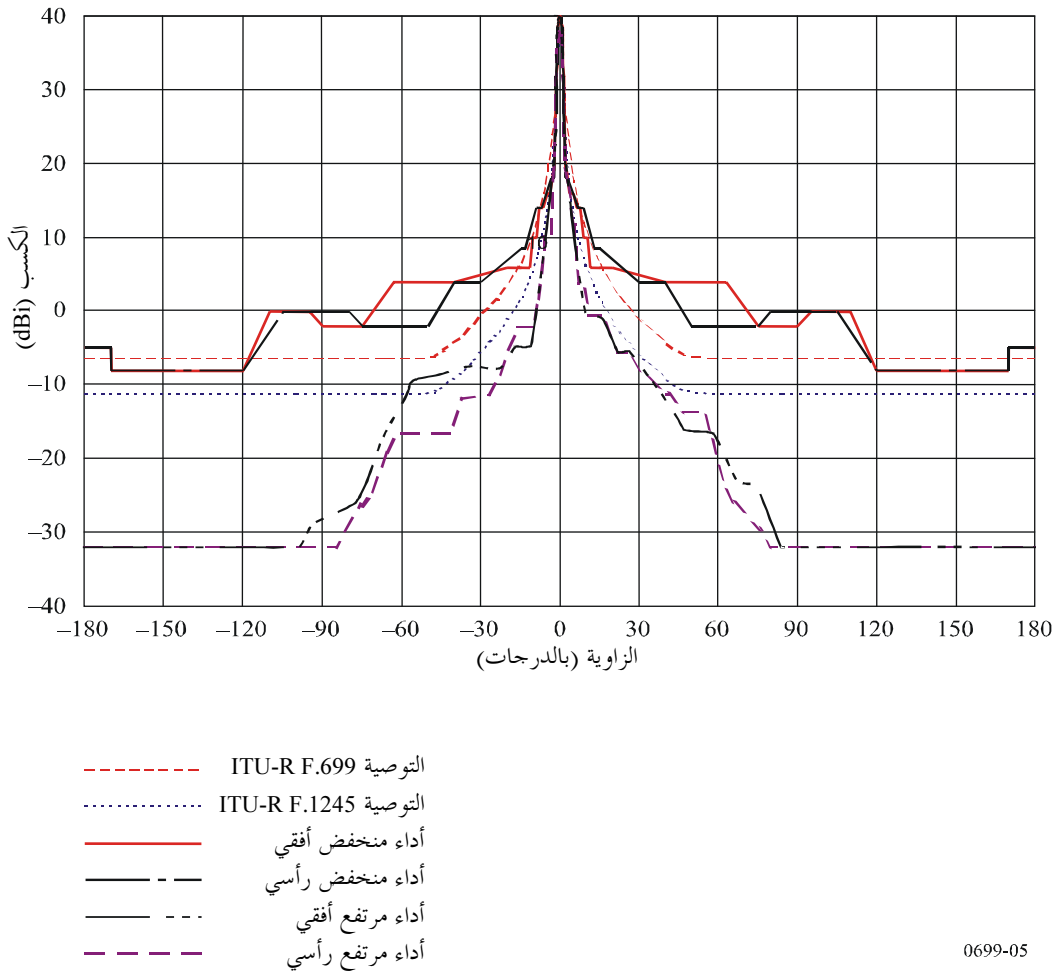
الشكل 4

مخططات لعينة من هوائيات الإنتاج
(بقطر 1,8 متراً، واستقطاب أفقي، 10,7 GHZ)



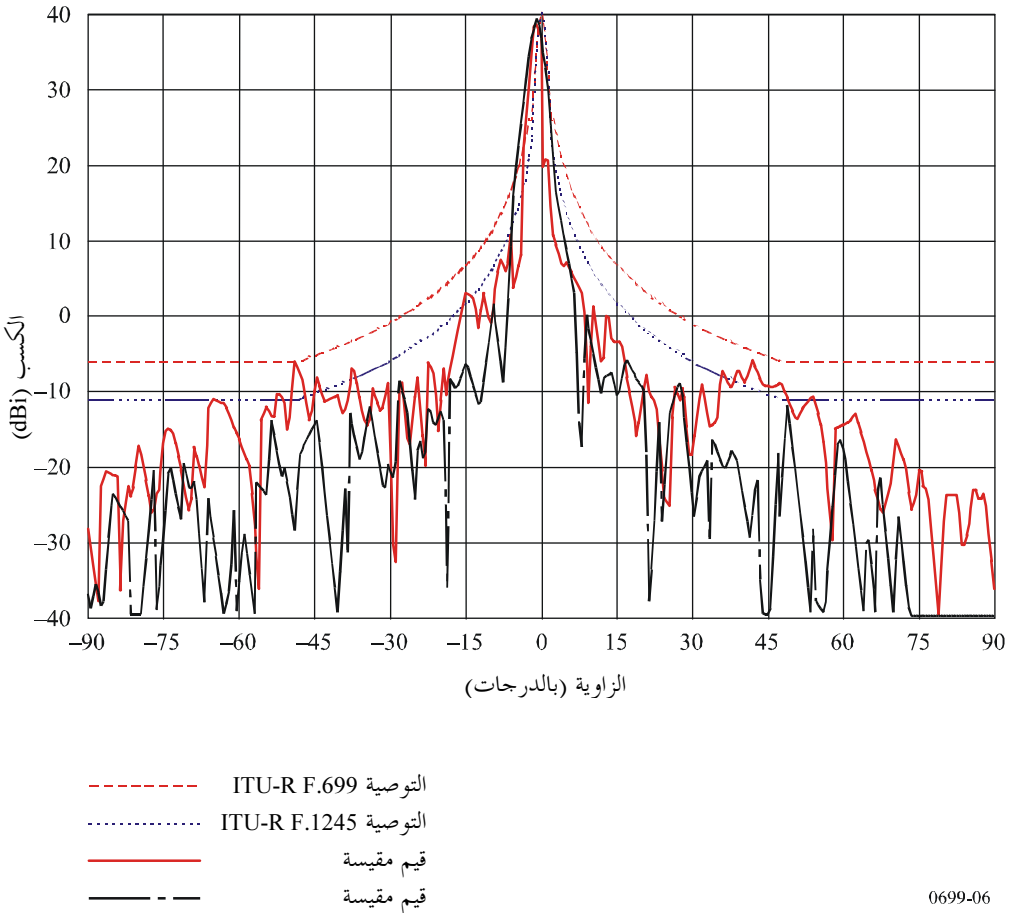
الشكل 5

هوائيات من نقطة إلى نقطة بمدى GHz 10,5 وقطر 1,2 متراً (D/λ = 43؛ والكسب = dBi 39,9)
(H: الاستقطاب الأفقي، V: الاستقطاب الرأسي)



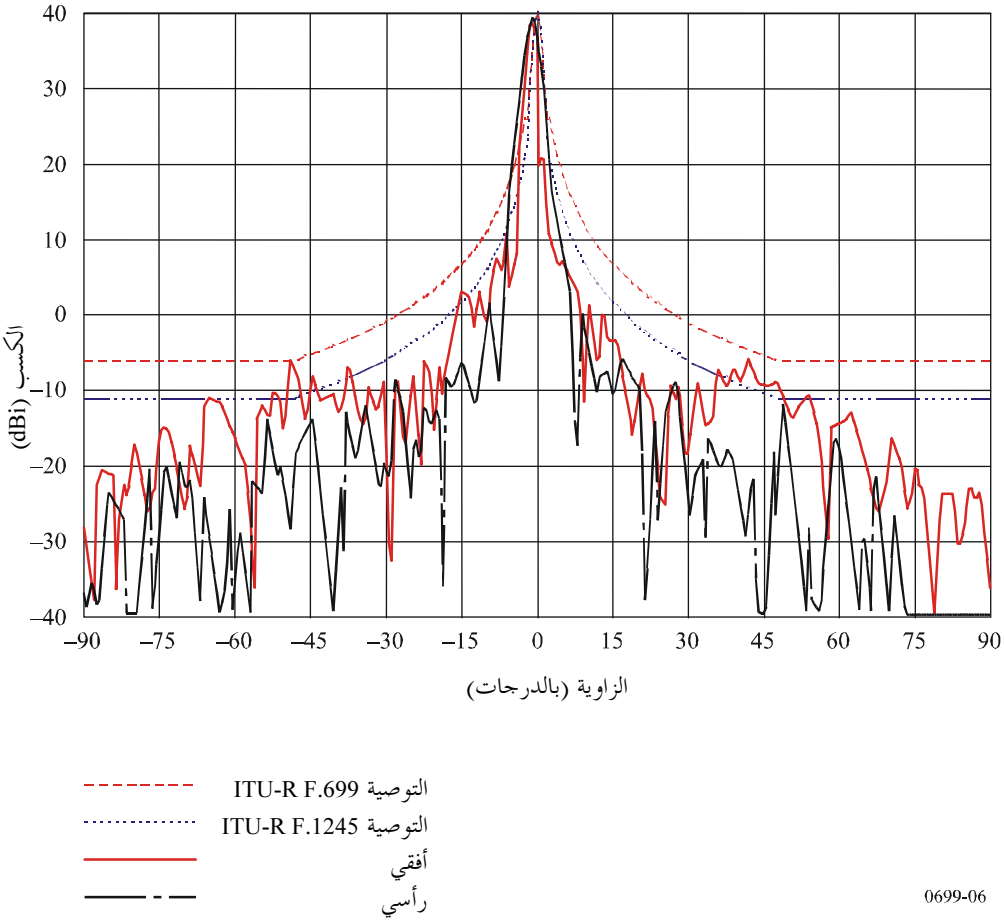
الشكل 6

هوائيات من نقطة إلى نقطة بمدى GHz 21 وقطر 50 سنتيمتراً (D/λ = 37؛ والكسب = dBi 40)
(H: الاستقطاب الأفقي، V: الاستقطاب الرأسي)



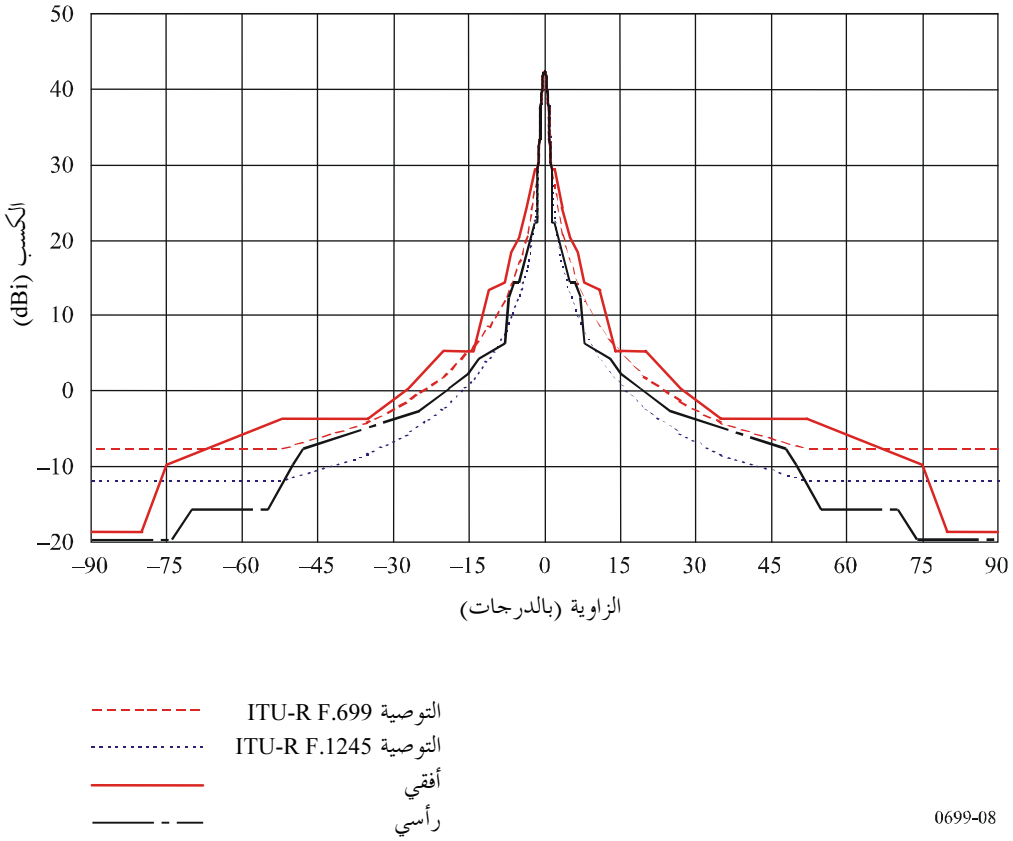
الشكل 7

هوائيات من نقطة إلى نقطة بمدى GHz 31 وقطر 0,3 متراً (D/λ = 32؛ والكسب = dBi 36,9)
(H: الاستقطاب الأفقي، V: الاستقطاب الرأسي)



الشكل 8

هوائيات من نقطة إلى نقطة بمدى GHz 55 وقطر 0,3 متراً (D/λ = 57؛ والكسب = dBi 42,4)
(H: الاستقطاب الأفقي، V: الاستقطاب الرأسي)



الملحق 2

معلومات عن تطبيق الفقرة 7 من *توصي*

1 مقدمة

بعض الأشكال والأمثلة الرقمية معطاة بهدف توضيح الدلالات المستعملة في المعادلة المشار إليها في الفقرة 1.7 من *توصي*.

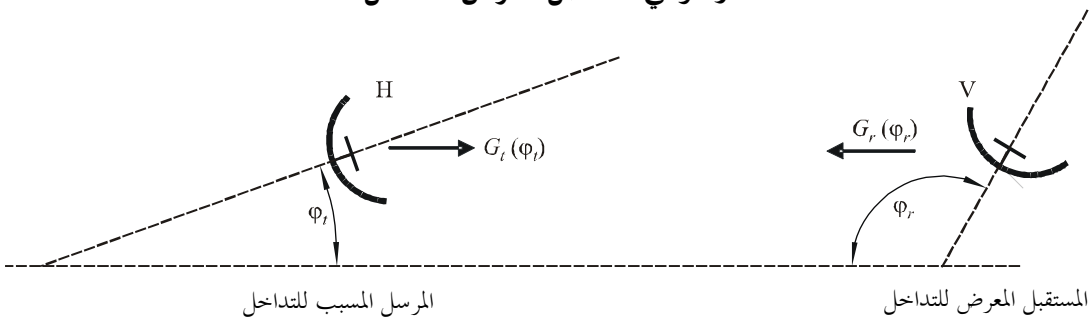
ويمكن استعمال معادلة بديلة (انظر الفقرة 4) في حالة توافر بيانات عن الكسب النسبي للهوائي.

وتستعمل المعادلة البديلة في حالة حساب الكسب المتبادل بين الهوائيات متحدة الاستقطاب (انظر الفقرة 5).

2 الحالة

الشكل 9

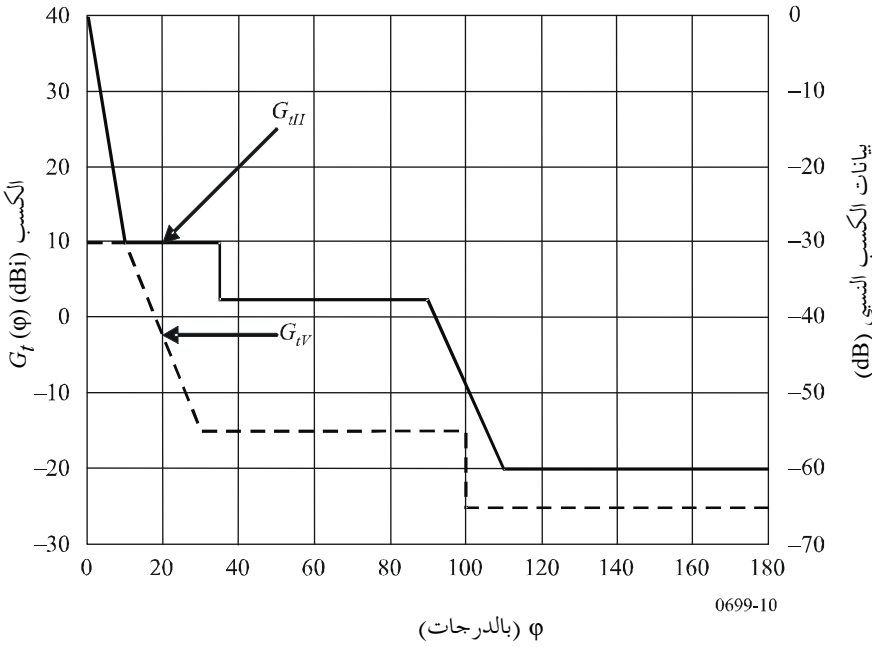
مثال عام للحالة المتبادلة وتوجيه الهوائي المرسل المسبب للتداخل والهوائي المستقبل المعرض للتداخل



3 المثال الرقمي

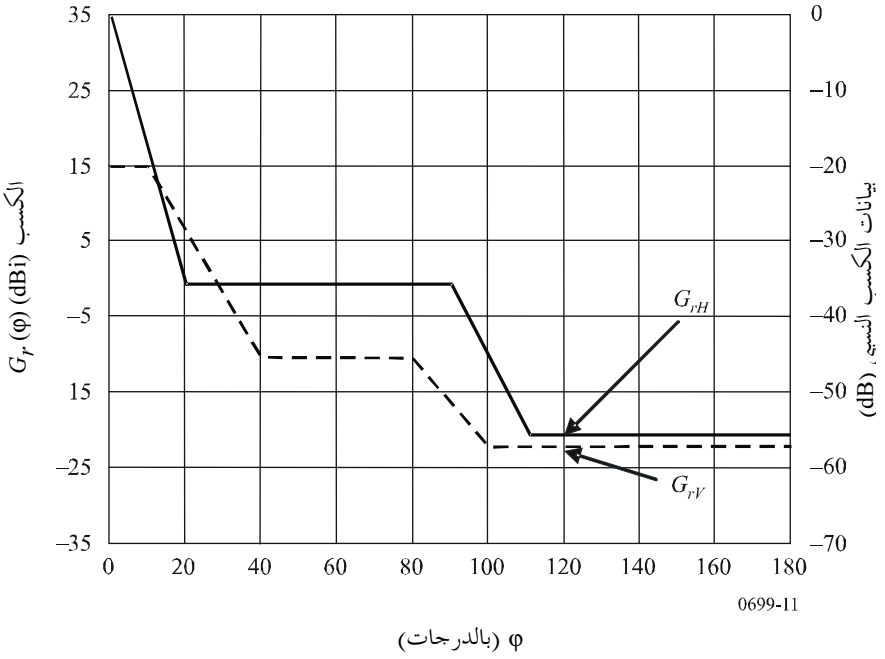
الشكل 10

مثال لقناع هوائي مُرسِل في حالتي الاستقطاب المشترك والاستقطاب المتقاطع



الشكل 11

مثال لقناع هوائي مستقبل في حالتي الاستقطاب المشترك والاستقطاب المتقاطع



مثال هوائيات الاستقطاب المتقاطع مبين فيما يلي.

يمكن الحصول على القيم التالية من الأشكال 9 و10 و11:

$$\varphi_t = 20°$$

$$\varphi_r = 120°$$

$$G_{tH}(\varphi_t) = 10 \text{ dBi}$$

$$G_{rV}(\varphi_r) = 22 \text{ dBi}$$

$$G_{tV}(\varphi_t) = 2 \text{ dBi}$$

$$G_{rH}(\varphi_r) = 20 \text{ dBi}$$

وباستعمال هذه القيم المبينة في المعادلة نحصل على النتيجة التالية: $G_r(120°) + G_t(20°) = -11{,}6$ dBi.

ونظراً لنظرية التبادلية، تكون نتيجة حساب الكسب المتبادل متماثلة في حالة تبادل الهوائي المُرسِل والهوائي المُستقبل.

4 المعادلة البديلة في حالة الاستقطاب المتقاطع

في حالة معرفة قيمة G_{tmax}، تكون G_{rmax} والكسب النسبي لفصوص النطاق الجانبي (كما هو موضح في الجانب الأيمن من الشكلين 10 و11)، تطبق المعادلة (2).

$$\text{dBi}\; G_t(\varphi_t) + G_r(\varphi_r) = G_{tmax} + G_{rmax} + 10 \cdot \log\left(10^{\frac{G_{tH}(\varphi_t)+G_{rV}(\varphi_r)}{10}} + 10^{\frac{G_{tV}(\varphi_t)+G_{rH}(\varphi_r)}{10}} \right) \quad (2)$$

في المعادلة (2) G_{tmax}، تكون G_{rmax} والنتيجة موضحة بقيمة dBi، ولكن الكسب النسبي للفصوص الجانبية يكون موضحاً بالقيمة dB.

5 المعادلة البديلة في حالة الاستقطاب المشترك

إذا كان الهوائيان باستقطاب مشترك، ينبغي تغيير القيم وفقاً لذلك، ويستمر تطبيق المعادلة:

$$\text{dBi}\; G_t(\varphi_t) + G_r(\varphi_r) = 10 \cdot \log\left(10^{\frac{G_{tH}(\varphi_t)+G_{rH}(\varphi_r)}{10}} + 10^{\frac{G_{tV}(\varphi_t)+G_{rV}(\varphi_r)}{10}} \right) \quad (3)$$

وتعطي الأمثلة العددية، في حالة الاستقطاب المشترك، كسباً موحداً بقيمة dBi 9,8– مع نفس الهوائيين، كما هو مبين فيما سبق (الشكلان 10 و11)