الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R M.1851 التوصيـــة
(06/2009)

نماذج رياضية لمخططات هوائيات أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي يتعين استخدامها في الدراسة التحليلية للتداخل

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيـــد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REC/en)

السلسلة	العنـــوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	**الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة**
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
S	الخدمة الثابتة الساتلية
RS	أنظمة الاستشعار عن بعد
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2009

© ITU 2009

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصيـــة ITU-R M.1851

نماذج رياضية لمخططات هوائيات أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي يتعين استخدامها في الدراسة التحليلية للتداخل

(2009)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية مخططات لهوائيات أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي يتعين استخدامها في الدراسات التحليلية للتداخل بنوعية التداخل وحيد المصدر والتداخل المجمع. فإذا ما عرفت، على نحو مسبق، المعلومات بشأن عرض حزمة الهوائي بقدر 3 dB وسوية الذروة الأولى للفصوص الجانبية، أمكن اختيار المجموعة المناسبة من المعادلات لكل من مخططي السمت والارتفاع. وتحدد هذه التوصية كذلك تعريف مخططات الذروة، بالنسبة لمسبب تداخل وحيد المصدر، والمخططات المتوسطة، بالنسبة لمسببات تداخل متعدد المصادر.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أنه لا توجد معادلات معرّفة لمخططات هوائيات أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي، ضمن توصيات قطاع الاتصالات الراديوية، قصد استعمالها في تقييمات التداخل؛

ب) أن نموذجاً رياضياً يعد لازماً من أجل إجراء المخططات المعممة للهوائيات المعدة للدراسات التحليلية للتداخل عندما لا يتوفر أي مخطط محدد لأنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي،

توصـــي

1 بأنه ينبغي، إذا ما توفرت معادلات مخططات و/أو مخطط الهوائيات واجبة التطبيق على الرادار (الرادارات) قيد الدراسة ضمن توصيات أخرى لقطاع الاتصالات الراديوية التي تتناول خصائص أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي، استعمال تلك المعادلات؛

2 بأنه يجوز، في غياب معلومات محددة تتعلق بمخططات هوائيات الأنظمة المعنية للرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي، استعمال أحد النماذج الرياضية المرجعية للهوائيات الموصوفة في الملحق 1 وذلك لأغراض تحليل التداخل.

الملحق 1

نماذج رياضية لمخططات هوائيات أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي يتعين استخدامها في الدراسات التحليلية للتداخل

1 مقدمة

لا بد من إيجاد نموذج رياضي معمم لمخططات هوائيات أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي عندما لا يتوفر لهذه المخططات أي تعريف ضمن توصيات قطاع الاتصالات الراديوية واجبة التطبيق على نظام الرادار في خدمة الاستدلال الراديوي قيد التحليل. ويمكن استعمال النماذج المعممة لمخططات الهوائيات في الدراسات التحليلية التي تخص مداخل مسببات التداخل وحيد المصدر ومتعدد المصادر، من قبيل التداخل الصادر عن الأنظمة الأخرى للرادارات والاتصالات.

ويصف هذا النص المخططات المقترحة للهوائيات والتي يتعين استخدامها. وإذا ما عرفت، على نحو مسبق، المعلومات بشأن فتحة حزمة الهوائي وسوية الذروة الأولى للفصوص الجانبية، أمكن اختيار المجموعة المناسبة من المعادلات واجبة الاستعمال لكل من مخططي السمت والارتفاع.

ويسجل الجدول 1 النتائج المحرزة لمسح أمدية معلمات الهوائيات استناداً إلى توصيات قطاع الاتصالات الراديوية.

الجـــدول 1

الحدود الممسوحة لمعلمات الهوائيات

معلمة الهوائي	الوصف	القيمة الدنيا	القيمة القصوى
ترددات الإرسال والاستقبال (MHz)		420	33 400
نمط استقطاب الهوائي	أفقي، رأسي، دائري		
نمط الهوائي	شامل الاتجاهات، صفيف عنصر ياغي، عاكس مكافئي، صفيف هوائيات مطاورة		
نمط الحزمة – الأكثر شيوعاً	مروحي، حزمة نقطية، حزمة بقاطع التمام التربيعي		
كسب الإرسال والاستقبال (dBi)		25,6	54
ارتفاع فتحة حزمة الهوائي (بالدرجات)	حزمة نقطية	0,25	5,75
	حزمة بقاطع التمام التربيعي (CSC^2)	3,6 CSC^2 إلى 20	3,6 CSC^2 إلى 44
سمت فتحة الحزمة (بالدرجات)	حزمة نقطية	0,4	5,75
ارتفاع حد زاوية المسح (بالدرجات)		60–	90+
سمت حد زاوية المسح (بالدرجات)		30 قطاعاً	360
السوية الأولى للفصوص الجانبية الأدنى من ذروة الفص الرئيسي (dB)		35–	15,6–

تم استخدام الجدول 1 من أجل الاسترشاد به في تطوير الأنماط والمخططات المقترحة للهوائيات.

2 الصيغ المقترحة

من أجل تبسيط التحليل، يعتبر التوزيع الحالي للهوائي بصفته دالة تعتمد على إحداثيات الارتفاع أو السمت. ويتم الحصول على مخطط الاتجاهية، $F(\mu)$، لتوزيع معين انطلاقاً من التحويل المنتهي لفوريي (Fourier) وفقاً للتالي:

$$F(\mu) = \frac{1}{2}\int_{-1}^{+1} f(x)\cdot e^{j\mu x}\,dx$$

حيث:

$f(x)$: الشكل النسبي لتوزيع المجال، انظر الجدول 2 والشكل 1

μ: معلمة متاحة في الجدول أدناه كالتالي = $\pi\left(\frac{l}{\lambda}\right)\sin(\alpha)$

l: الطول الكلي للفتحة

λ: طول الموجة

ω: ارتفاع الحزمة أو زاوية تسديد (مسح) السمت

α: الزاوية نسبة إلى الفتحة العادية

θ: الزاوية نسبة إلى الفتحة العادية وزاوية التسديد (α-ω)

x: المسافة المقيسة على طول الفتحة: $-1 \le x \le 1$

j: الترميز للأعداد المركبة.

يقدم الجدول 2 المخططات النظرية المقترحة للهوائيات. وتعد هذه المخططات صالحة في ±90° من زاوية مسح الحزمة نسبةً إلى خط تسديد الهوائي. أما القيم التي تزيد عن ±90° من هذه الزاوية فيفترض أن تكون في الفص الخلفي حيث يجب تطبيق السوية الدنيا لقناع الهوائي. وتعد المعلمات والصيغ التي يتعين استخدامها من أجل تحديد مخططات اتجاهية الهوائيات (ADP) المقدمة ضمن الجدول 2 (ثم بعد ذلك في الجدول 3 ذي الصلة والأشكال ذات الصلة) صحيحة فقط في الحالة التي يساوي فيها اتساع المجال عند حافة فتحة الهوائي، الصفر، ويكون ضمن حدود الفص الرئيسي والفصين الجانبيين الأولين لمخططات اتجاهية الهوائي. أما بالنسبة للقيم الأخرى لاتساع المجال عند حافة فتحة الهوائي، فيمكن أن يختلف شكل مخططات اتجاهية الهوائي ومعلماتها اختلافاً هاماً عن القيم النظرية المقدمة في هذه التوصية. وإذا ما توفرت مخططات فعلية لهوائيات أنظمة الرادارات، فينبغي عندئذ رقمنتها واستخدامها.

الجـــدول 2

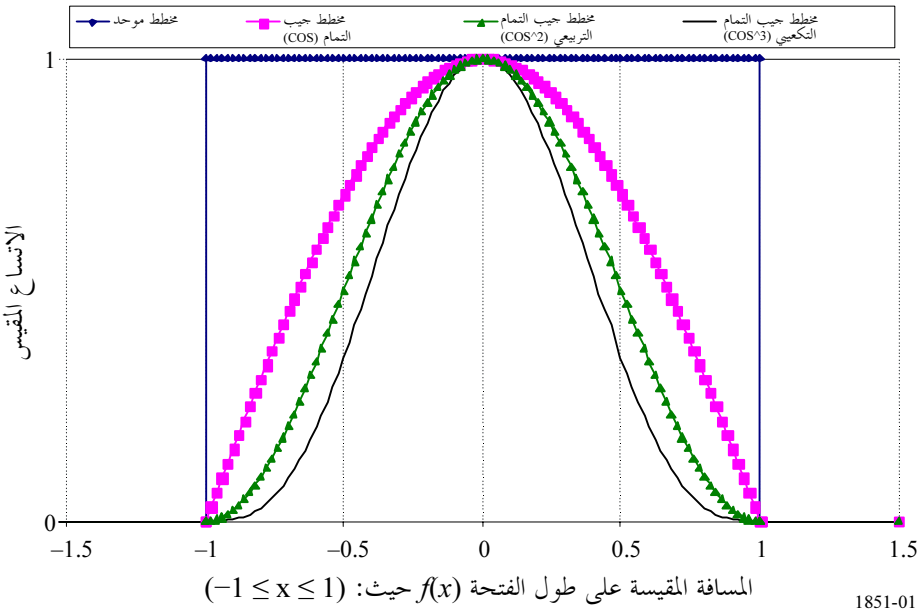
معلمات اتجاهية الهوائيات

الشكل النسبي لتوزيع المجال $f(x)$ حيث: $-1 \le x \le 1$	مخطط الاتجاهية $F(\mu)$	المعلمة θ_3 وهي فتحة نصف القدرة للحزمة (بالدرجات)	المعلمة μ بصفتها دالة تعتمد على المعلمة θ_3	السوية الأولى للفصوص الجانبية الأدنى من ذروة الفص الرئيسي (dB)	السوية الدنيا المقترحة لقناع الهوائي (dB)	المعادلة رقم
قيمة موحدة بقدر 1	دالة الجيب: $\frac{\sin(\mu)}{\mu}$	$50.8\left(\frac{\lambda}{l}\right)$	$\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	13,2–	30–	(1)
دالة جيب التمام $\cos(\pi*x/2)$	$\frac{\pi}{2}\left[\frac{\cos(\mu)}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2-\mu^2}\right]$	$68.8\left(\frac{\lambda}{l}\right)$	$\frac{\pi \cdot 68.8 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	23–	50–	(2)
دالة جيب التمام التربيعي $\cos(\pi*x/2)^2$	$\frac{\pi^2}{2\cdot\mu}\left[\frac{\sin(\mu)}{\left(\pi^2-\mu^2\right)}\right]$	$83.2\left(\frac{\lambda}{l}\right)$	$\frac{\pi \cdot 83.2 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	32–	60–	(3)
دالة جيب التمام التكعيبي $\cos(\pi*x/2)^3$	$\frac{3\cdot\pi\cdot\cos(\mu)}{8}\left[\frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2-\mu^2}-\frac{1}{\left(\frac{3\cdot\pi}{2}\right)^2-\mu^2}\right]$	$95\left(\frac{\lambda}{l}\right)$	$\frac{\pi \cdot 95 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	40–	70–	(4)

حيث تكون المعلمة θ_3 هي فتحة نصف القدرة لحزمة الهوائي (بالدرجات) بقدر 3 dB. ويمثل الشكل 1 الرسوم البيانية للأشكال النسبية لدوال توزيع المجال $f(x)$، مثلما حَدَّد تعريفها الجدول 2.

الشـــكل 1

الشكل النسبي لتوزيع المجال $f(x)$

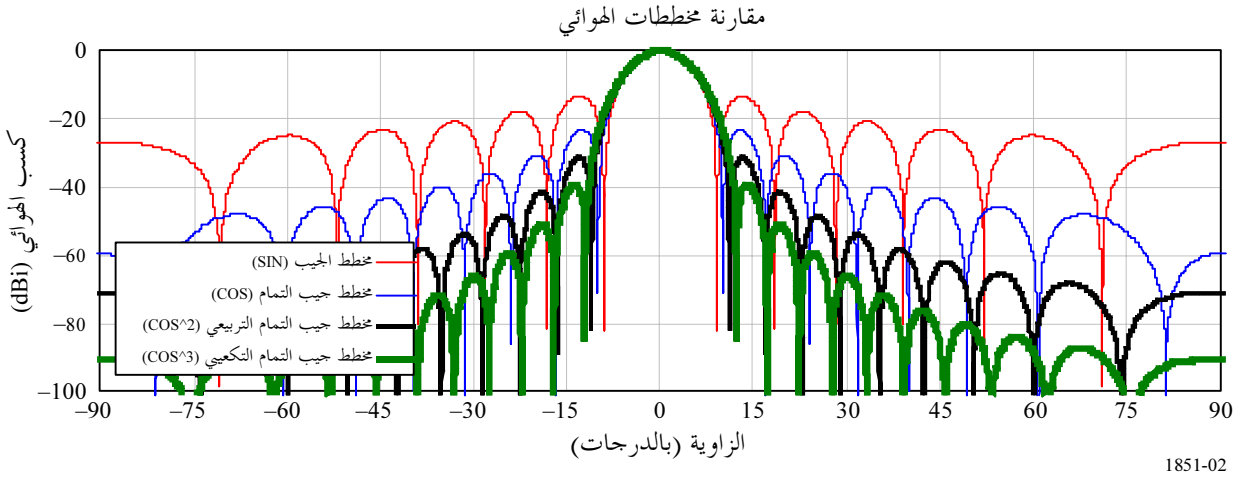


ولما كانت فتحة نصف القدرة لحزمة الهوائي، θ_3، متاحة، فإن قيمة μ يمكن إعادة تعريفها بصفتها دالة تتوقف على فتحة نصف القدرة لحزمة الهوائي. ويمكن إنجاز ذلك بواسطة الاستعاضة عن الكمية $\left(\frac{l}{\lambda}\right)$ الواردة ضمن المعادلة $\mu = \pi\left(\frac{l}{\lambda}\right)\sin(\alpha)$ بثابت يعتمد على الشكل النسبي لتوزيع المجال؛ مع قسمته بفتحة نصف القدرة للحزمة، θ_3، مثلما يبين ذلك الجدول 2. ويمكن اشتقاق هذه القيم الثابتة 50,8 و68,8 و83,2 والقيمة الثابتة 95، التي يُظهرِها الجدول 2، بواسطة جعل المعادلة الخاصة بالدالة $F(\mu)$ مساوية للقدر: -3 dB، وحل المعادلة بالنسبة للزاوية θ.

ويُمثِّل الشكل 2 مخططات الهوائي لدوال التوزيع لجيب التمام (COS) وجيب التمام التربيعي (COS^2) وجيب التمام التكعيبي (COS^3).

الشـــكل 2

مقارنة مخططات الهوائي، فتحة الحزمة بقدر 3 dB تضاهي الزاوية °8,0



وبالاستناد إلى الشكل 2 أعلاه، يتم اشتقاق معادلات القناع باستخدام منحنى متوافق مع السويات الذروية للفصوص الجانبية للهوائي. وقد ثبت، بواسطة مقارنة تكامل المخطط النظري والمخطط المقترح للقناع، أن الفرق بين القدرة الذروية والمتوسطة في انقطاع واحد على مستوى رئيسي يساوي حوالي 4 dB. ويتوجب تطبيق التعريفات التالية:

- تحويل المعادلات من (1) إلى (4) إلى قيم بالديسيبل (dB) باستخدام التالي:
20*log(abs(Directivity Pattern)) أي: 20 ضارب لوغاريتم (مطلق (مخطط الاتجاهية))؛
- تقييس كسب مخططات الهوائي. أما المخطط الموحد فلا يستلزم التقييس، وأما بالنسبة لمخطط جيب التمام فاطرح القيمة: -3,92 dB، وبالنسبة لمخطط جيب التمام التربيعي اطرح القيمة: -6,02 dB، وبالنسبة لمخطط جيب التمام التكعيبي اطرح القيمة: -7,44 dB؛
- من أجل رسم مخطط القناع، استخدم المخطط النظري للاتجاهية استناداً إلى الجدول 2، مثلما جاء بيانه في الخطوتين السابقتين، حتى تصل إلى نقطة الانقطاع إما بالنسبة للمخطط الذروي أو المتوسط للهوائي، حسب ما يقتضيه الحال. وبعد نقطة الانقطاع، طُبق مخطط القناع مثلما جاء بيانه في الجدول 3؛
- إن قناع المخطط الذروي هو مخطط الهوائي الذي يمر فوق ذروات الفصوص الجانبية. ويتعين استخدام هذا القناع بالنسبة لمسبب التداخل وحيد المدخل؛
- إن قناع المخطط المتوسط هو مخطط الهوائي الذي يقارب القيمة التكاملية للمخطط النظري. ويتعين استخدامه لمسببات التداخل المجمع متعدد المصادر؛
- إن نقطة انقطاع قناع المخطط الذروي هي النقطة التي تقع في اتساع المخطط (dB) وتكون أدنى من الكسب الأقصى حيث يبتعد شكل المخطط من المخطط النظري إلى المخطط الذروي للقناع، مثلما جاء بيانه في الجدول 3؛
- إن نقطة انقطاع قناع المخطط المتوسط هي النقطة التي تقع في اتساع المخطط (dB) وتكون أدنى من الكسب الأقصى حيث يبتعد شكل المخطط من المخطط النظري إلى المخطط المتوسط للقناع، مثلما جاء بيانه في الجدول 3؛
- إن المعلمة θ_3 هي فتحة حزمة الهوائي بقدر 3 dB (بالدرجات)؛
- إن المعلمة θ هي الزاوية الموجودة إما في الانقطاعات على المستويين الرئيسيين للارتفاع (المستوى الرأسي) أو للسمت (المستوى الأفقي) (بالدرجات)؛
- إن القناع المتوسط هو القناع الذروي بعد طرح ما يقارب 4 dB. ولاحِظْ أن نقاط انقطاع المخطط الذروي تختلف عنها في المخططات المتوسطة.

ويبين الجدول 3 المعادلات التي يجب استعمالها في هذه الحسابات.

الجـــدول 3

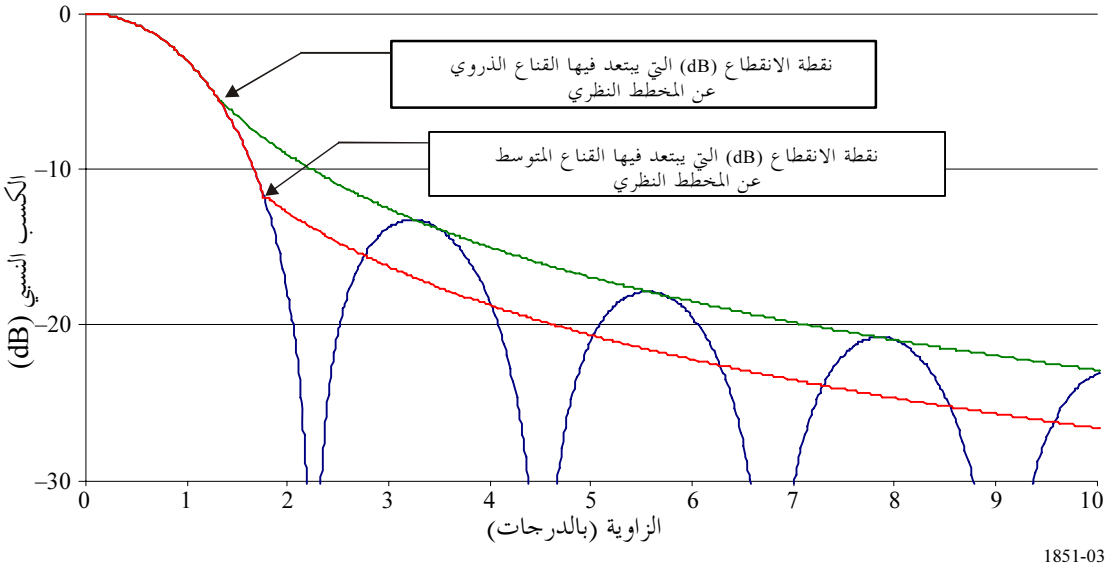
معادلات مخططات القناع الذروي والمتوسط

نمط المخطط	معادلة القناع بعد نقطة انقطاع المخطط التي يبتعد فيها القناع من المخطط النظري (dB)	نقطة انقطاع المخطط الذروي التي يبتعد فيها القناع من المخطط النظري (dB)	نقطة انقطاع المخطط المتوسط التي يبتعد فيها القناع من المخطط النظري (dB)	الثابت المضاف إلى مخطط الذروة لتحويله إلى قناع متوسط (dB)	رقم المعادلة
الجيب (SIN)	$-8.584 \cdot \ln\left(2.876 \cdot \frac{\lvert\theta\rvert}{\theta_3}\right)$	5,75-	12,16-	3,72-	(5)
جيب التمام (COS)	$-17.51 \cdot \ln\left(2.33 \cdot \frac{\lvert\theta\rvert}{\theta_3}\right)$	14,4-	20,6-	4,32-	(6)
جيب التمام التربيعي (COS^2)	$-26.882 \cdot \ln\left(1.962 \cdot \frac{\lvert\theta\rvert}{\theta_3}\right)$	22,3-	29,0-	4,6-	(7)
جيب التمام التكعيبي (COS^3)	$-35.84 \cdot \ln\left(1.756 \cdot \frac{\lvert\theta\rvert}{\theta_3}\right)$	31,5-	37,6-	4,2-	(8)

إن الدالة ln() هي دالة اللوغاريتم الطبيعي. ويقدم الشكل 3 مثالاً عن نقطة الانقطاع.

الشـــكل 3

مثال عن نقطة الانقطاع



أما حالة مخطط الحزمة بقاطع التمام التربيعي فهي حالة خاصة. وتعطي المعادلة التالية هذا المخطط:

$$G(\theta) = G(\theta_1) \cdot \left(\frac{CSC(\theta)}{CSC(\theta_1)} \right)^2 \quad (9)$$

حيث:

$G(\theta)$: مخطط الحزمة بقاطع التمام التربيعي بين الزاويةθ_1 والزاوية القصوى θ_{Max}

$G(\theta_1)$: كسب المخطط عند الزاوية θ_1

θ_1: فتحة نصف القدرة لحزمة الهوائي التي يبدأ عندها مخطط الحزمة بقاطع التمام التربيعي = θ_3

θ_{Max}: الزاوية القصوى التي يقف عندها مخطط الحزمة بقاطع التمام التربيعي

θ: زاوية الارتفاع

θ_3: فتحة نصف القدرة لحزمة الهوائي.

ولا يراعى المخطط المتوسط للهوائي من أجل حساب مخطط الحزمة بقاطع التمام التربيعي. وينبغي استخدامه بالنسبة لمسببات التداخل وحيد المصدر ومتعدد المداخل. ويطبق مخطط الحزمة بقاطع التمام على النحو التالي:

الجـــدول 4

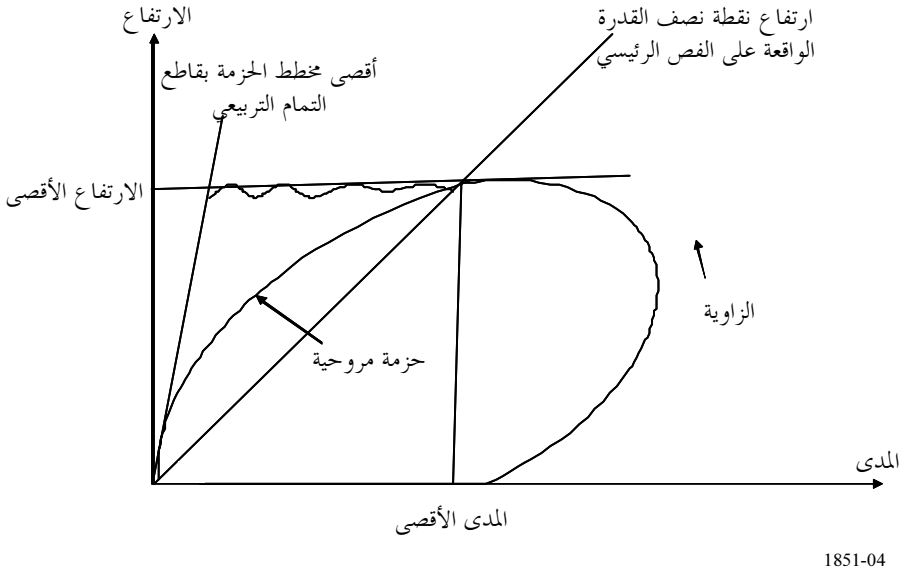
معادلات مخطط الهوائي بقاطع التمام التربيعي

رقم المعادلة	الشرط	معادلة قاطع التمام التربيعي
(10)	$\frac{-\theta_3}{0.88} \le \theta \le +\theta_3$	$\frac{\sin(\mu)}{\mu}$; $\mu = (\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta))/\theta_3$
(11)	$+\theta_3 \le \theta \le \theta_{Max}$	$G(\theta_1) \cdot \left(\frac{CSC(\theta)}{CSC(\theta_1)} \right)^2$
(12)	$\theta_{Max} \le \theta \le \theta_{90}$	السوية الدنيا لقاطع التمام (مثال = -55 dB)
(12a)	$\theta_1 = \theta_3$	$G(\theta_1) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3} \right)}{\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}}$

وتمثل الأشكال الواردة أدناه وصفاً بيانياً لهذه المخططات.

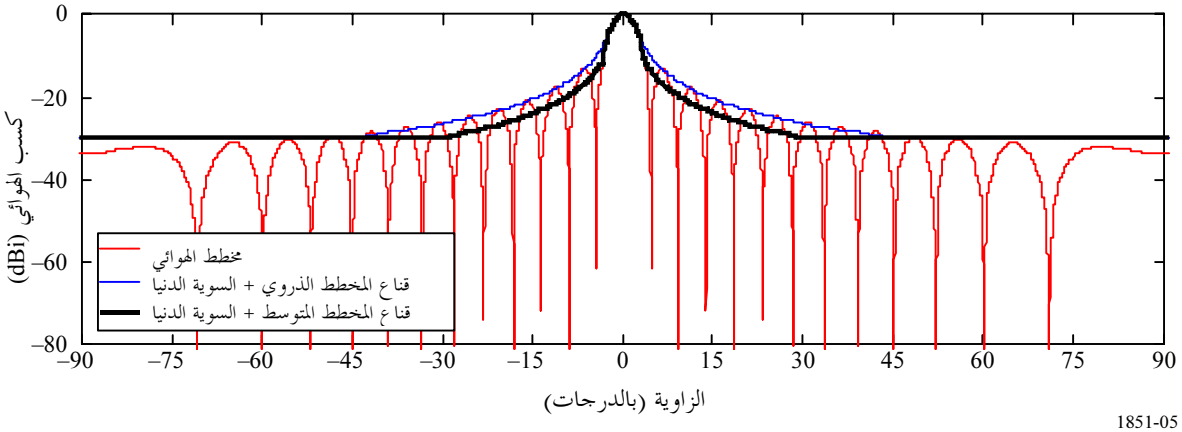
الشـــكل 4

تغطية الحزمة بقاطع التمام التربيعي لأنظمة رادارات البحث



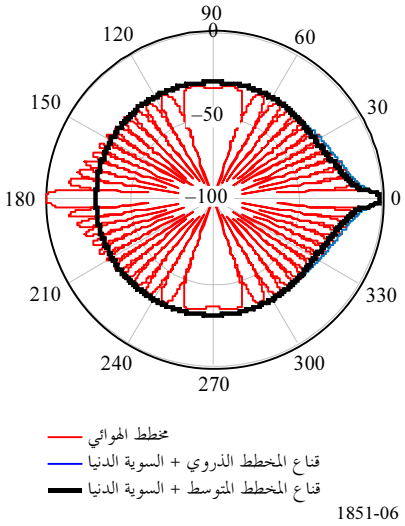
الشـــكل 5

مخطط لهوائي بالجيب، الغلاف الذروي والمتوسط



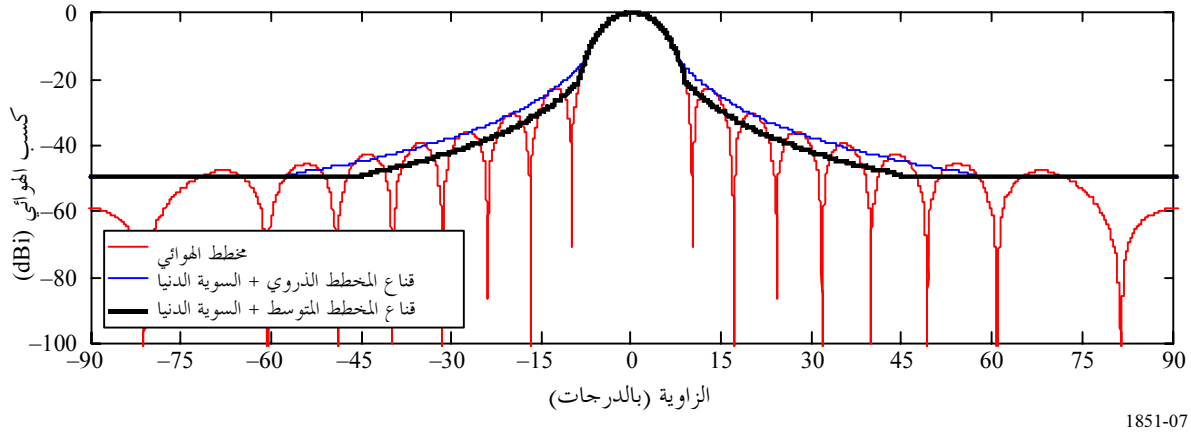
الشـــكل 6

مخطط لهوائي قطبي بالجيب، الغلاف الذروي والمتوسط



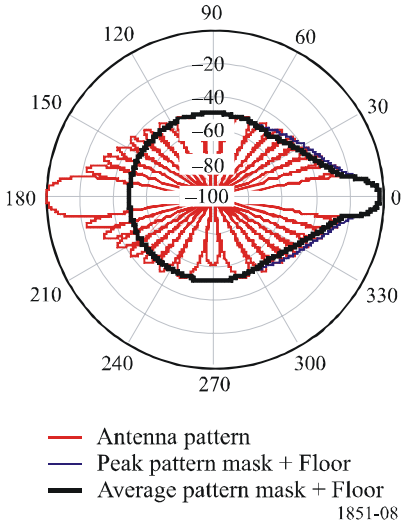
الشـــكل 7

مخطط لهوائي بجيب التمام، الغلاف الذروي والمتوسط



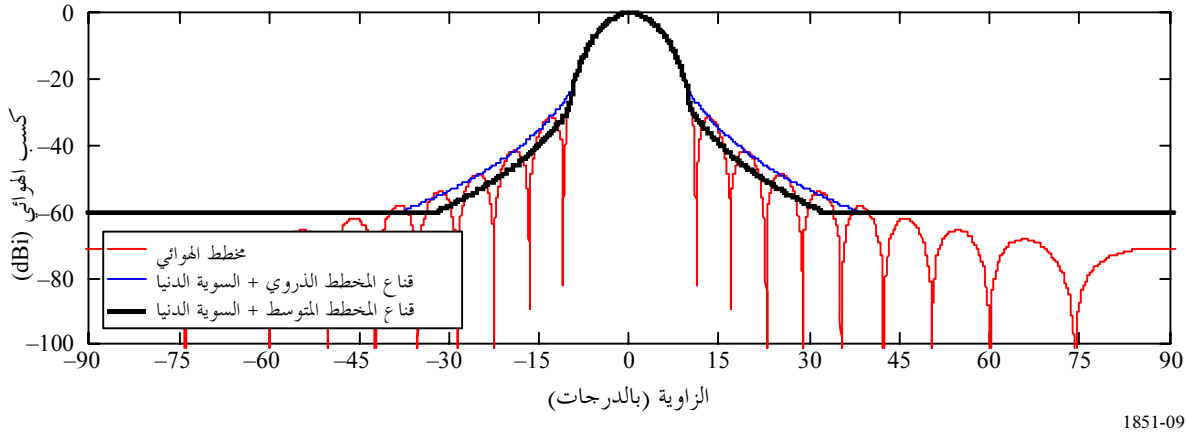
الشـــكل 8

مخطط لهوائي قطبي بجيب التمام، الغلاف الذروي والمتوسط



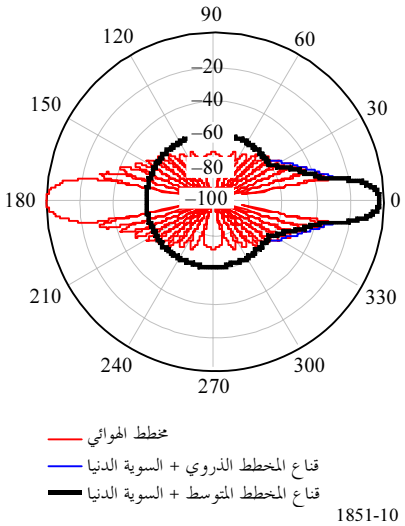
الشـــكل 9

مخطط لهوائي بجيب التمام التربيعي، الغلاف الذروي والمتوسط



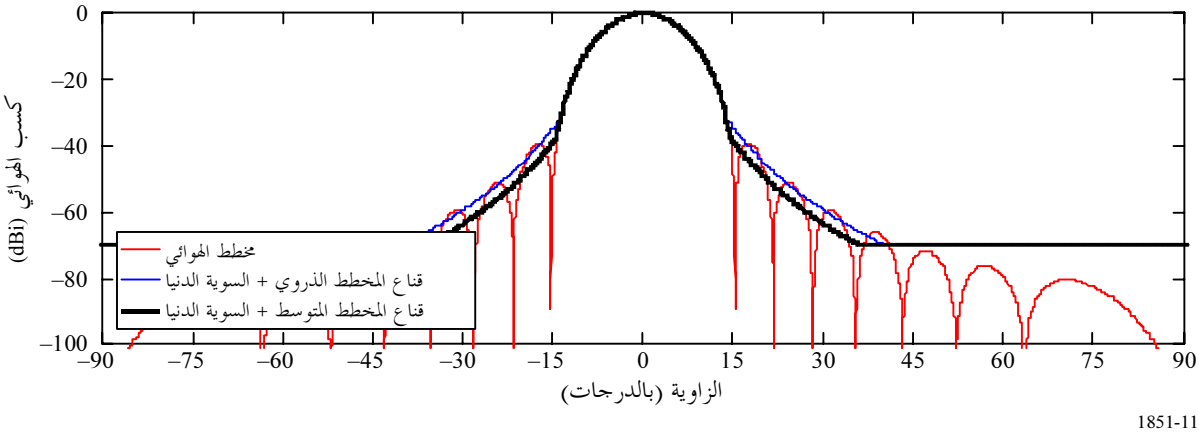
الشـــكل 10

مخطط لهوائي قطبي بجيب التمام التربيعي، الغلاف الذروي والمتوسط



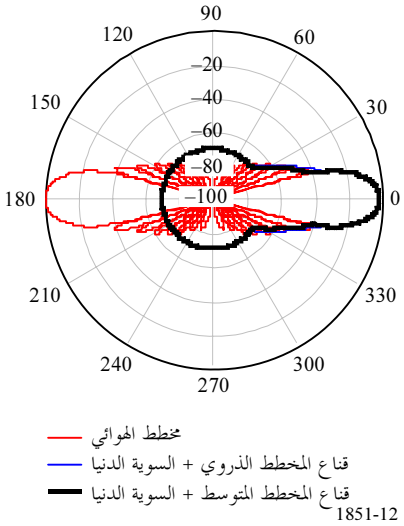
الشـــكل 11

مخطط لهوائي بجيب التمام التكعيبي، الغلاف الذروي والمتوسط



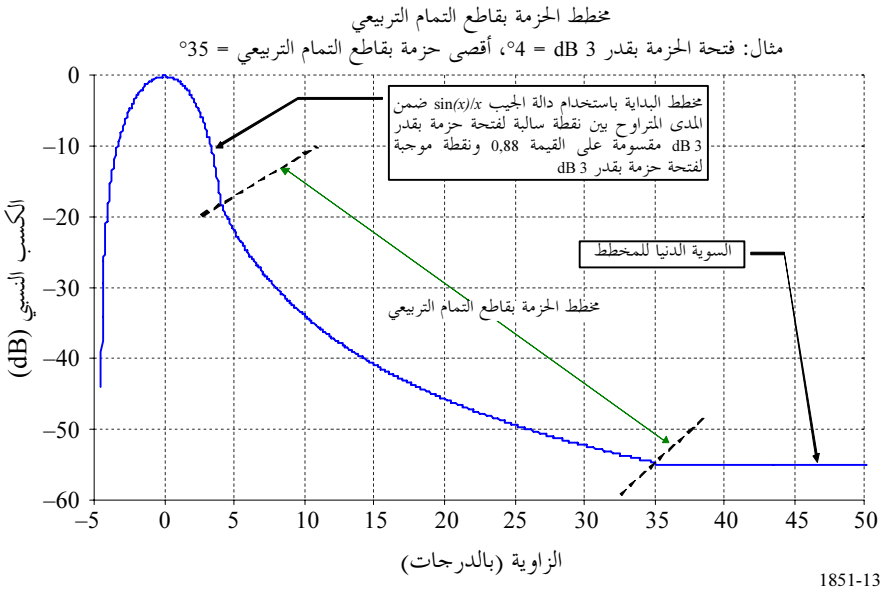
الشـــكل 12

مخطط لهوائي قطبي بجيب التمام التكعيبي، الغلاف الذروي والمتوسط



الشـــكل 13

غلاف مخطط الهوائي بقاطع التمام التربيعي



3 اختيار مخطط الهوائي

يستند الاقتراح الذي يقدم الكيفية التي ينبغي اختيار مخطط الهوائي طبقاً لها إلى معلومات حول فتحة نصف القدرة لحزمة الهوائي وسوية الذروة للفصوص الجانبية. ويقدم الجدول 5 هذه الكيفية.

الجـــدول 5

جدول اختيار المخطط

مدى السوية الأولى للفصوص الجانبية الأدنى من الذروة المقيسة للفص الرئيسي **(dB)**	نمط توزيع الهوائي الممكن	مخطط الاتجاهية $F(\mu)$	معادلة القناع بعد نقطة انقطاع المخطط التي يتباين فيها القناع عن المخطط النظري **(dB)**	نقطة انقطاع المخطط الذروي التي يتباين فيها القناع عن المخطط النظري **(dB)**	نقطة انقطاع المخطط المتوسط التي يتباين فيها القناع عن المخطط النظري **(dB)**	الثابت المضاف إلى مخطط الذروة من أجل تحويله إلى قناع متوسط **(dB)**	السوية الدنيا المقترحة للقناع **(dB)**	رقم المعادلة
13,2 - إلى dB 20 -	توزيع موحد	$\frac{\sin(\mu)}{\mu};\ \mu = (\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta))/\theta_3$	$-8.584 \cdot \ln\left(2.876 \cdot \frac{\lvert\theta\rvert}{\theta_3}\right)$	5,75-	12,16-	3,72-	30-	(13)
20 - إلى dB 30 -	توزيع بجيب التمام (COS)	$\frac{\pi}{2}\left[\frac{\cos(\mu)}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \mu^2}\right];\ \mu = (\pi \cdot 68.8 \cdot \sin(\theta))/\theta_3$	$-17.51 \cdot \ln\left(2.33 \cdot \frac{\lvert\theta\rvert}{\theta_3}\right)$	14,4-	20,6-	4,32-	50-	(14)
30 - إلى dB 39 -	توزيع بجيب التمام التربيعي (COS^2)	$\frac{\pi^2}{2 \cdot \mu}\left[\frac{\sin(\mu)}{\left(\pi^2 - \mu^2\right)}\right];\ \mu = (\pi \cdot 83.2 \cdot \sin(\theta))/\theta_3$	$-26.882 \cdot \ln\left(1.962 \cdot \frac{\lvert\theta\rvert}{\theta_3}\right)$	22,3-	29,0-	4,6-	60-	(15)
dB 39 - أو أكثر	توزيع بجيب التمام التكعيبي (COS^3)	$\frac{3 \cdot \pi \cdot \cos(\mu)}{8}\left[\frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \mu^2} - \frac{1}{\left(\frac{3 \cdot \pi}{2}\right)^2 - \mu^2}\right];$ $\mu = (\pi \cdot 95 \cdot \sin(\theta))/\theta_3$	$-35.84 \cdot \ln\left(1.756 \cdot \frac{\lvert\theta\rvert}{\theta_3}\right)$	31,5-	37,6-	4,2-	70-	(16)

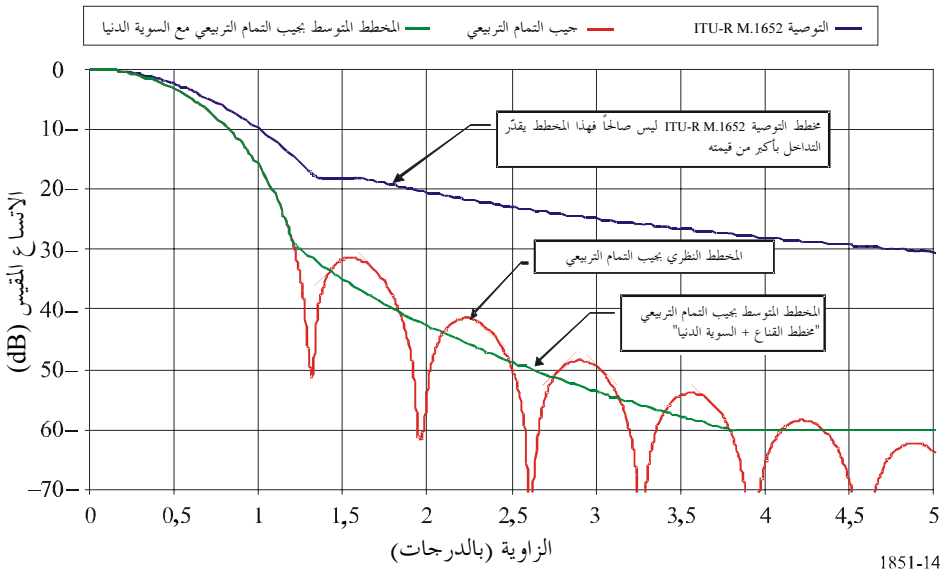
4 مقارنة مخططات الهوائي

تعطي التوصية ITU-R M.1652 أحد النماذج الرياضية التي يتعين استخدامها لمخططات هوائيات أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي والتي تم استخدامها في تحليل التداخل ويتضمن هذا النموذج معادلات يتوجب استخدامها للعديد من المخططات بصفتها دالة تتوقف على كسب الهوائي. وتثبت المقارنة بين النماذج المطورة في هذه التوصية وبين نظام الرادار جيم (C) من التوصية ITU-R M.1638 أن المخطط الوارد في التوصية ITU-R M.1652 ليس هو المخطط الأمثل. ومثلما يبين ذلك الشكل 14، فإن المخطط الوارد في التوصية ITU-R M.1652 يقدر كسب الهوائي للانحراف عن محور تسديد الهوائي بقدر أكبر بكثير من قيمته (0°).

الشـــكل 14

مقارنة مخططات الهوائي

مقارنة مخطط التوصية ITU-R M.1652 بمخططي جيب التمام التربيعي
(مثال: نظام الرادار جيم: الكسب = 44 dBi، (المخطط الرأسي) Az = El (مخطط السمت)
فتحة الحزمة = 0,95°، السوية الأولى للفصوص الجانبية = - 35 dB)



5 تقريب المخططات ثلاثية الأبعاد (3-D)

يمكن استخدام المعطيات المحرزة من رسوم الأكفة كأدوات لتحليل عمليات المحاكاة. ويمكن تقريب المخطط ثلاثي الأبعاد (3-D) بسهولة. ويتم إنجاز ذلك بضرب انقطاعات التوتر على المستويين الرئيسيين الأفقي والرأسي. ومن أجل القيام بذلك، ضع مخطط المستوى الرئيسي الرأسي في العمود الأوسط لمصفوفة مربعة، واجعل كل العناصر الأخرى مساوية للصفر. ثم ضع مخطط المستوى الرئيسي الأفقي في الصف الأوسط واجعل كل العناصر الأخرى مساوية للصفر. واضرب المصفوفتين معاً ثم نفِّذ الرسم. ولاحظ أنه لا بد من تقييس كل المخططات.

وتعطي العبارة التالية المعادلة اللازمة لحساب المخطط ثلاثي الأبعاد:

$$P_{i,h} = 20 \log \left[\sum_{k=0}^{N} \left| H_{k,i} V_{h,k} \right| \right] \quad (17)$$

حيث يتم تحديد مصفوفتي الارتفاع والسمت، بوحدات فلط، ضمن المعادلتين (18) و(19).

وتعطي المعادلة التالية المخطط الرأسي:

$$\text{المصفوفة الرأسية } (V_{h,k}) = \begin{vmatrix} 0 & .... & 0 & El_1 & 0 & .... & 0 \\ 0 & .... & 0 & El_2 & 0 & .... & 0 \\ .... & .... & 0 & El_3 & 0 & .... & .... \\ .... & .... & .... & .... & .... & .... & .... \\ .... & .... & .... & .... & .... & .... & .... \\ 0 & .... & 0 & El_{N-1} & 0 & .... & 0 \\ 0 & .... & 0 & El_N & 0 & .... & 0 \end{vmatrix} \quad (18)$$

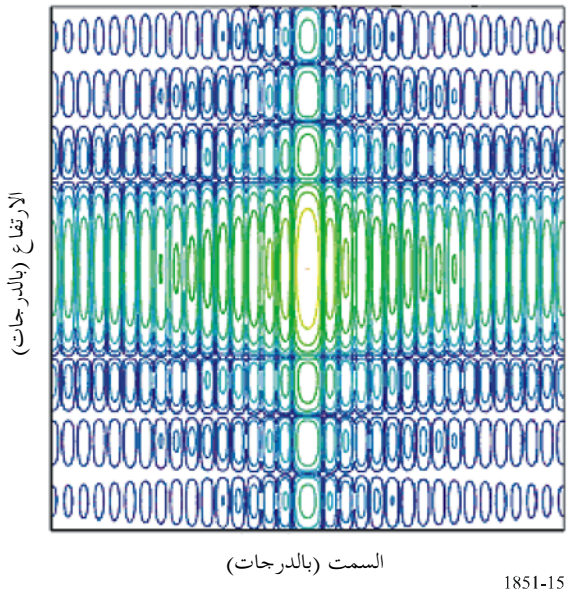
وتُعطي المعادلة التالية المخطط الأفقي:

$$\text{المصفوفة الأفقية } (H_{k,i}) = \begin{vmatrix} 0 & .... & .... & .... & .... & 0 \\ .... & .... & .... & .... & .... & .... \\ 0 & 0 & .... & .... & 0 & 0 \\ Az_N & Az_{N-1} & & & Az_2 & Az_1 \\ 0 & 0 & .... & .... & 0 & 0 \\ .... & .... & .... & .... & .... & .... \\ 0 & .... & .... & .... & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (19)$$

ويُقدم الشكل 17 مثالاً عن مخطط ثلاثي الأبعاد.

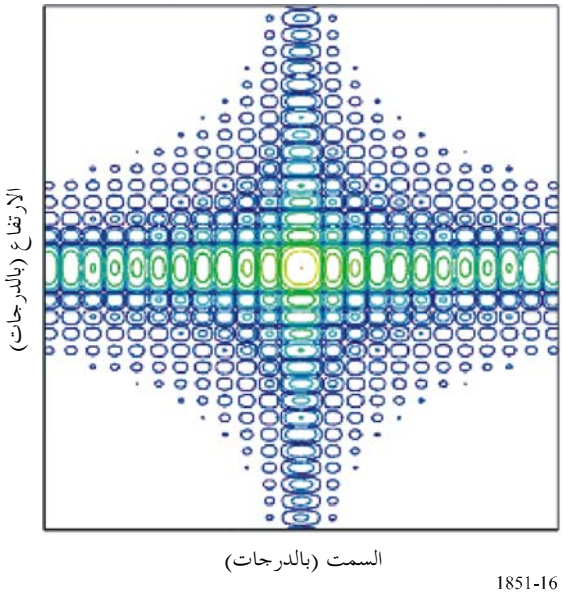
الشـــكل 15

مخطط أكفة الهوائي للقيمتين الأفقية (BW_H = 1,2°) والرأسية (BW_V = 6°)



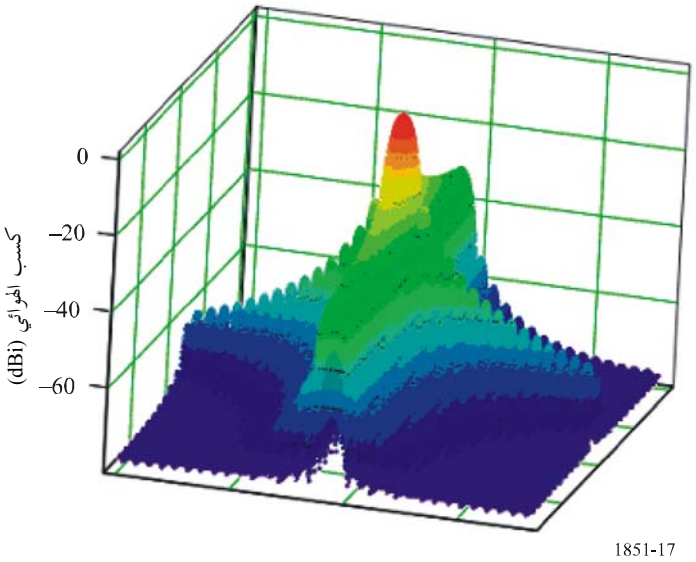
الشـــكل 16

مخطط أكفة الهوائي للقيمتين الأفقية والرأسية (BW_H = BW_V = 1,7°)



الشـــكل 17

مخطط هوائي ثلاثي الأبعاد كمثال

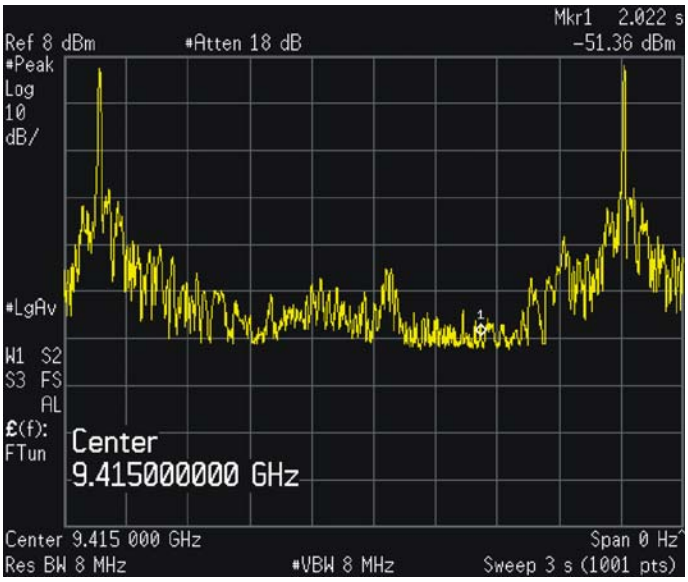


6 مثال لمخطط مقاس

يقدم الشكلان التاليان مثالين عن معطيات لاختبار مخططين لهوائيين من هوائيات أنظمة الرادارات، ضمن النطاق 9 GHz، ويمثلان سوية الذروة للفصوص الجانبية والسوية الدنيا للمخطط.

الشـــكل 18

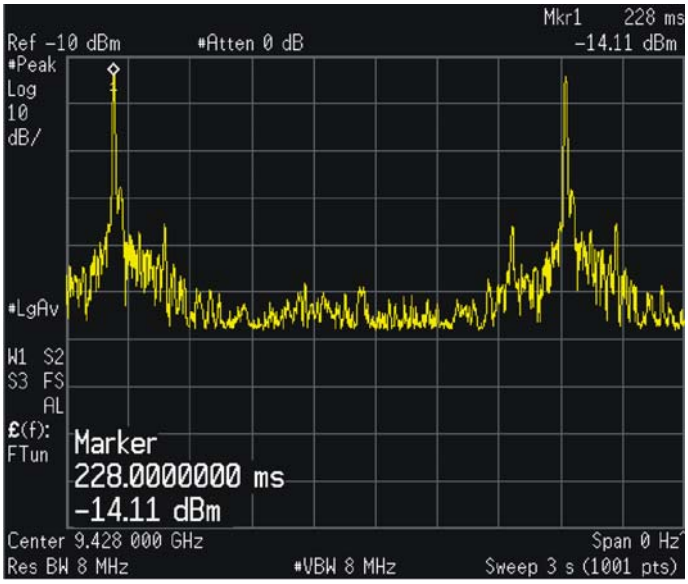
مخطط هوائي مقاس كمثال



1851-18

الشـــكل 19

مخطط هوائي مقاس كمثال



1851-19