

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M.1851-1
(2018/01)

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

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي
وخدمة الهواة والخدمات الساتلية
ذات الصلة

تمهيد

يضمطلع 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 مدى 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 الكهروتقنية 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>)

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2018

© ITU 2018

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).

التوصية ITU-R M.1851-1

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

(2018-2009)

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. واعتماداً على هوائي ذي عرض حزمة 3 dB وسوية الذروة الأولى للفصوص الجانبية، أمكن اختيار المجموعة المناسبة من المعادلات لكل من مخططي السمات والارتفاع. وتحدد هذه التوصية كذلك تعريف مخططات الذروة، بالنسبة لمسبب تداخل وحيد المصدر، والمخططات المتوسطة، بالنسبة لمسببات تداخل متعدد المصادر.

مصطلحات أساسية

مخططات هوائيات، توزيع التيار، مجال الإضاءة، معادلات مخططات القناع الأقصى والمتوسط

المختصرات/المسرد

ADP مخطط اتجاهية الهوائي (Antenna directivity pattern)

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية ذات الصلة

التوصيات ITU-R F.699 و ITU-R F.1245 و ITU-R M.1638 و ITU-R M.1652 و ITU-R M.1849

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

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،

توصي

- 1 بأنه ينبغي، إذا ما توفرت معادلات مخططات و/أو مخطط الهوائيات واجبة التطبيق على رادار (رادارات) ضمن توصيات أخرى لقطاع الاتصالات الراديوية التي تتناول خصائص أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي، استعمال تلك المعادلات؛
- 2 بأنه ينبغي، في غياب معلومات 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 مداخيل 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 السمات والارتفاع.

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

الجدول 1

الحدود المسموحة لمعلمات الهوائيات

القيمة القصوى	القيمة الدنيا	الوصف	الوحدات	معلمة الهوائي
33 400	420		MHz	ترددات الإرسال والاستقبال
		أفقي، رأسي، دائري		نمط استقطاب الهوائي
		شامل الاتجاهات، صفييف عنصر ياغي، عاكس مكافئ، صفييف هوائيات مطاورة		نمط الهوائي
		مروحي، حزمة نقطية، حزمة بقاطع التمام التريبيعي		نمط الحزمة - الأكثر شيوعاً
54	25,6		dBi	كسب الإرسال والاستقبال
5,75	0,25	حزمة نقطية		عرض الحزمة في الارتفاع (-3 dB)
(θ_3) 3,6 (θ_{Max}) 44	(θ_3) 3,6 (θ_{Max}) 20	حزمة بقاطع التمام التريبيعي (CSC^2) (المعادلة 12 والجدول 4)	بالدرجات	
5,75	0,4	حزمة نقطية	بالدرجات	عرض الحزمة في السمات (-3 dB)
90+	60-		بالدرجات	حد زاوية المسح في الارتفاع
360	30 قطاعاً		بالدرجات	حد زاوية المسح في السمات
15,6-	35-		dB	السوية الأولى للفصوص الجانبية الأدنى من ذروة الفص الرئيسي

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

2 الصيغ الرياضية

1.2 هوائي الرادار بعرض حزمة ضيق

1.1.2 خلفية

في غياب معلومات معينة تتعلق بعرض الحزمة عند 3 dB أو شكل توزيع التيار أو مجال الإضاءة في فتحة الهوائي، لكن بتوفر معلومات عن أبعاد الهوائي، فإن θ_3 ، عرض حزمة نصف القدرة (بالدرجات) يقرب بالمقدار $70 \lambda/D$ ، حيث λ طول الموجة و D طول الهوائي بالوحدات نفسها، انظر التوصية ITU-R F.699، الفقرة يوصي 1.4.

ويمكن استعمال نماذج أدق لمخططات الهوائي عندما تتاح معلومات عن شكل توزيع التيار أو مجال الإضاءة عند فتحة الهوائي. ولتبسيط التحليل، يعتبر التوزيع الحالي للهوائي بصفته دالة تعتمد على إحداثيات الارتفاع أو السم. ويتم الحصول على مخطط الاتجاهية، $F(\mu)$ ، لتوزيع معين انطلاقاً من التحويل المنتهي لفوريي (Fourier) وفقاً للتالي:

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

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 نسبة إلى الفتحة العادية

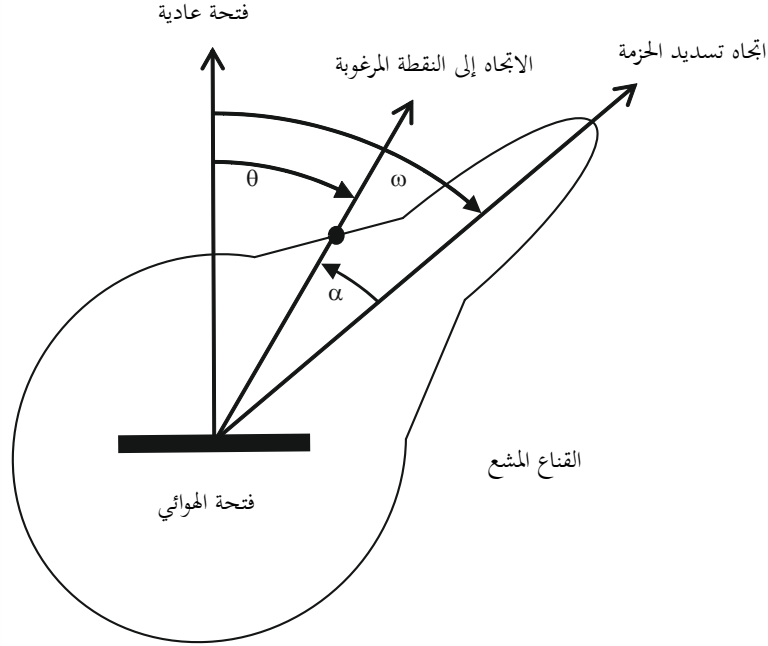
θ : زاوية اتجاه النقطة المعنية نسبة إلى الفتحة العادية

α : زاوية اتجاه النقطة المعنية نسبة إلى اتجاه زاوية التسديد $((\alpha = \theta - \omega))$

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

z : الترميز للأعداد المركبة.

الشكل 1
قناع مخطط قطبي للهوائي



M.185101

يقدم الجدول 2 المخططات النظرية المقترحة للهوائيات ذات توزيع مجال الطور المنتظم.

وترد المخططات النظرية المقترحة لهوائيات الصفيح المطاور في الفقرة 7 مع مراعاة الآثار الخاصة المتعلقة بالفصوص الجانبية التي تنشأ عند المسح الواسع للزوايا ω .

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.

وفي حال غياب أي معلومات أخرى، يمكن اعتبار نماذج مبسطة للهوائيات مكيّفة مع الفص الرئيسي النظري، وقناع في الاتجاهات الأخرى من أجل دراسات التقاسم والتوافق مع أنظمة الرادارات. ويُوصى بأقنعة قصوى أو متوسطة من أجل إجراء هذه الدراسات بمصادر التداخل الوحيدة أو المتعددة، على التوالي. ويبدأ القناع عند نقطة القطع المستقيمة من المخطط النظري ويتناقص عبر الفصوص الجانبية وصولاً إلى قناع أساس يمثل الفصوص الجانبية البعيدة والفصوص الخلفية، كما هو مبين في الفقرة 3.1.2.

وإذا ما توفرت مخططات هوائيات رادارات فعلية، فينبغي عندئذ رصمتها واستخدامها.

2.1.2 معادلات الهوائي النظرية

ترد معادلات مخططات الاتجاهية والمعلمات ذات الصلة في الجدول 2 لشكل مختلف لتوزيع المجال عند فتحة الهوائي.

الجدول 2

المعلمات النظرية لاتجاهية الهوائيات

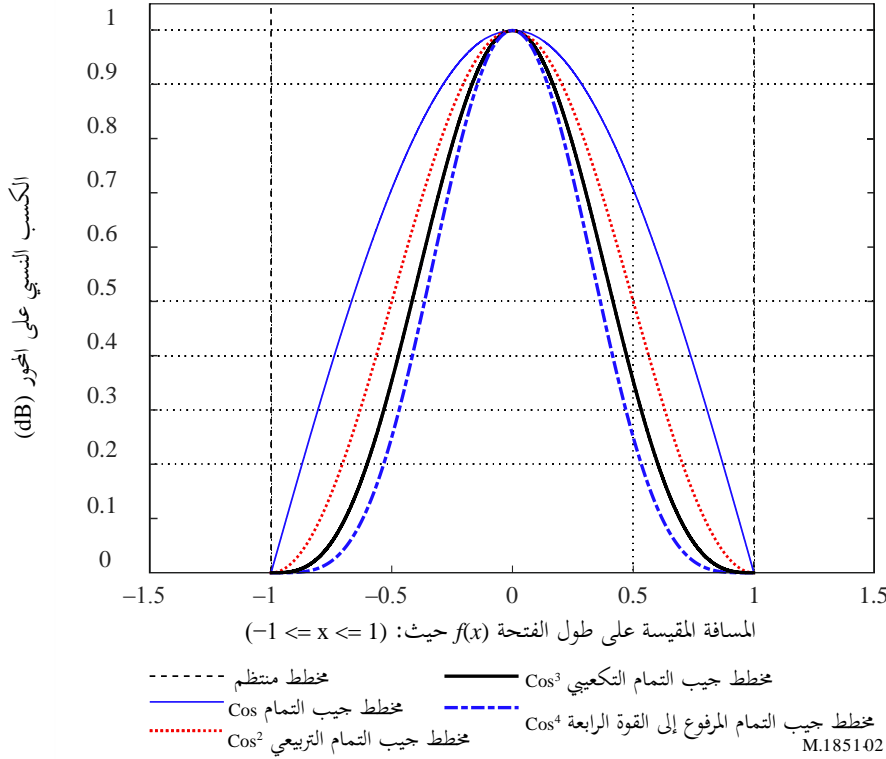
رقم المعادلة	السوية الأولى للفصوص الجانبية الأدنى من ذروة الفص الرئيسي (dB)	المعلمة μ بصفتها دالة تعتمد على المعلمة θ_3	المعلمة θ_3 وهي فتحة نصف القدرة للحزمة (بالدرجات)	مخطط الاتجاهية $F(\mu)$	الشكل النسبي لتوزيع المجال $f(x)$ حيث: $-1 \leq x \leq 1$
(2)	13,2-	$\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	$50.8 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	دالة الجيب: $\frac{\sin(\mu)}{\mu}$	قيمة منتظمة بقدر 1
(3)	23-	$\frac{\pi \cdot 68.8 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	$68.8 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi}{2} \left[\frac{\cos(\mu)}{\left(\frac{\pi}{2} \right)^2 - \mu^2} \right]$	$\text{COS}(\pi^*x/2)$
(4)	32-	$\frac{\pi \cdot 83.2 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	$83.2 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi^2}{2 \cdot \mu} \left[\frac{\sin(\mu)}{\left(\pi^2 - \mu^2 \right)} \right]$	$\text{COS}^2(\pi^*x/2)$
(5)	40-	$\frac{\pi \cdot 95 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	$95 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{3 \cdot \pi \cdot \cos(\mu)}{8} \left[\frac{1}{\left(\frac{\pi}{2} \right)^2 - \mu^2} - \frac{1}{\left(\frac{3 \cdot \pi}{2} \right)^2 - \mu^2} \right]$	$\text{COS}^3(\pi^*x/2)$
(6)	47-	$\frac{\pi \cdot 106 \cdot \sin(\theta)}{\theta_3}$	$106 \left(\frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{3\pi^4 \sin(\mu)}{2\mu(\mu^2 - \pi^2)(\mu^2 - 4\pi^2)}$	$\text{COS}^4(\pi^*x/2)$

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

الشكل 2

التوزيع في الفتحة

التوزيع في الفتحة

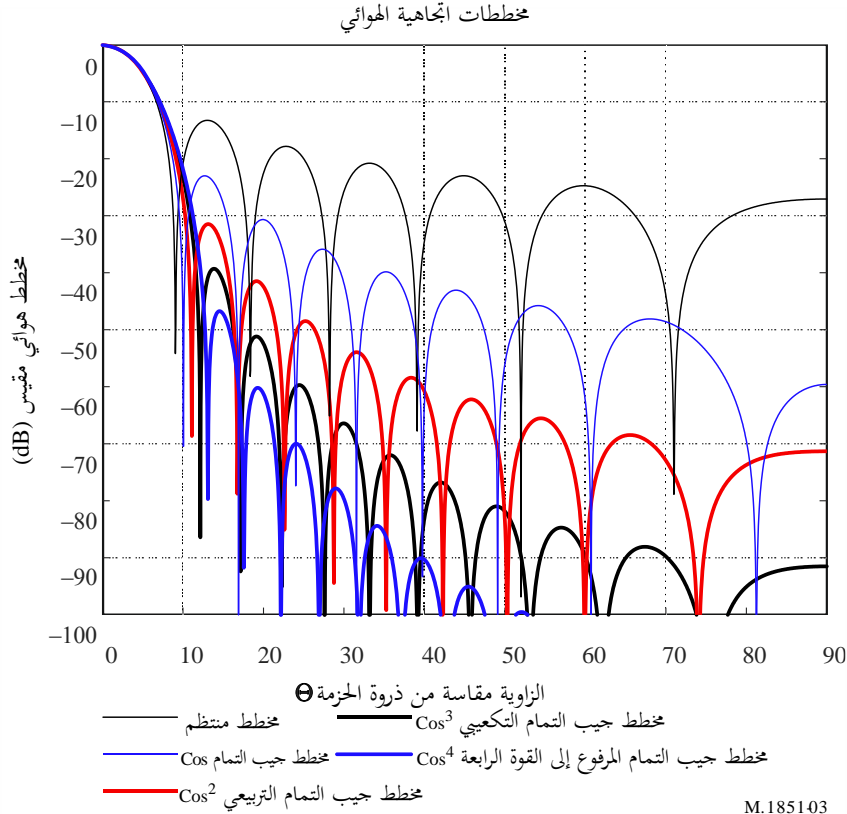


ولما كانت فتحة نصف القدرة لحزمة الهوائي، θ_3 ، متاحة، فإن قيمة μ يمكن إعادة تعريفها بصفتها دالة تتوقف على فتحة نصف القدرة لحزمة الهوائي. ويمكن إنجاز ذلك بواسطة الاستعاضة عن الكمية $\left(\frac{l}{\lambda}\right)$ الواردة ضمن المعادلة $\mu = \pi \left(\frac{l}{\lambda}\right) \sin(\theta)$ بثابت يعتمد 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 و 68,8 و 83,2 و 95 و 106، التي يظهرها الجدول 2، بواسطة جعل المعادلة الخاصة بالدالة $F(\mu)$ مساوية للقدر: -3 dB، وحل المعادلة بالنسبة للزاوية θ .

ويعرض الشكل 3 مخططات الهوائي المختلفة بفتحة خطية لدالات توزيع المجال بجيب التمام (COS) وجيب التمام التربيعي (COS^2) وجيب التمام التكعيبي (COS^3) وجيب التمام المرفوع إلى القوة الرابعة (COS^4). وبما أن المخططات متماثلة رياضياً، رُسمت بشكل جزئي في المخطط. ولأغراض المقارنة، ضبطت جميع المخططات على نفس عرض الحزمة عند 3 dB البالغ 6.0 درجات، مما يعني اختلاف القيم للنسبة λ/l .

الشكل 3

مقارنة مخططات الهوائي لمختلف توزيعات الفتحة الخطية،
حيث عرض الحزمة عند 3 dB يبلغ 6.0 درجات (تماثل المخطط)



3.1.2 إجراء تحديد القناع

وبالاستناد إلى الشكل 3 أعلاه، يتم اشتقاق معادلات القناع باستخدام منحني متوافق مع السويات الذرورية للفصوص الجانبية للهوائي. وقد ثبت، بواسطة مقارنة تكامل المخطط النظري والمخطط المقترح للقناع، أن الفرق بين القدرة الذرورية والمتوسطة في انقطاع واحد على مستوى رئيسي يساوي حوالي 4 dB. ويتوجب تطبيق التعريفات التالية:

- تحويل المعادلات من (2) إلى (6) إلى قيم بالديسيبل (dB) باستخدام التالي: $20 \cdot \log_{10}$ (القيمة المطلقة (مخطط اتجاهية المجال))؛
- تقيس كسب مخططات الهوائي. أما توزيع المجال المنتظم فلا يستلزم التقيس، وأما بالنسبة لجيب تمام واحد فاطرح القيمة: -3,92 dB، وبالنسبة لجيب تمام التربيعي واحد اطرح القيمة: -6,02 dB، وبالنسبة لجيب تمام التكعيبي واحد اطرح القيمة: -7,44 dB، وبالنسبة لجيب تمام المرفوع إلى القوة الرابعة واحد اطرح القيمة: -8,52 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، طبق 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 يتعد 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 يتعد 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. ولاحظ أن نقاط انقطاع المخطط الذروي تختلف عنها في المخططات المتوسطة.
- ويبين الجدول 3 المعادلات التي يجب استعمالها في هذه الحسابات.

الجدول 3

المعادلات النظرية لمخططات القناع الذروي والمتوسط

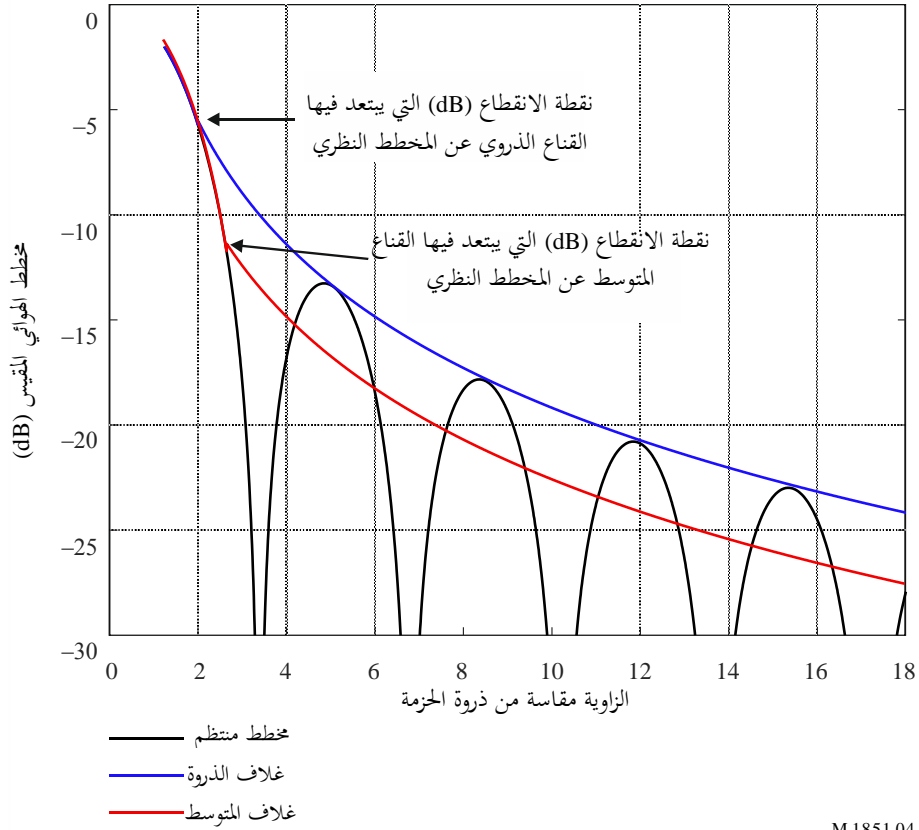
رقم المعادلة	المستوى الأساسي للقناع (dB)	الثابت المضاف إلى مخطط الذروة لتحويله إلى قناع متوسط (dB)	نقطة انقطاع المخطط المتوسط التي يتعد فيها القناع من المخطط النظري (dB)	نقطة انقطاع المخطط الذروي التي يتعد فيها القناع من المخطط النظري (dB)	معادلة القناع بعد نقطة انقطاع المخطط التي يتعد فيها القناع من المخطط النظري (dB)	توزيع المجال
(7)	30-	3,72-	12,16-	5,75-	$-8.584 \cdot \ln \left(2.876 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	منتظم
(8)	50-	4,32-	20,6-	14,4-	$-17.51 \cdot \ln \left(2.33 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	COS
(9)	60-	4,6-	29,0-	22,3-	$-26.882 \cdot \ln \left(1.962 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	COS ²
(10)	70-	4,2-	37,6-	31,5-	$-35.84 \cdot \ln \left(1.756 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	COS ³
(11)	80-	2,61-	42,5-	39,4-	$-45.88 \cdot \ln \left(1.56 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	COS ⁴

إن الدالة $\ln()$ هي دالة اللوغاريتم الطبيعي. ويقدم الشكل 4 مثلاً عن نقطة الانقطاع.

الشكل 4

مثال عن نقطة الانقطاع

مخطط إشعاع الهوائي، عرض الحزمة = 3°



M.1851-04

2.2 هوائيات الرادارات ذات مخطط الارتفاع على شكل قاطع التمام التربيعي

أما حالة المخطط على شكل قاطع التمام التربيعي فهي حالة خاصة. وتُعطي القدرة (لا شدة المجال) بالمعادلة التالية:

$$(12) \quad G(\theta) = G(\theta_1) \cdot \left(\frac{\text{CSC}(\theta)}{\text{CSC}(\theta_1)} \right)^2$$

حيث:

$G(\theta)$: مخطط الحزمة بقاطع التمام التربيعي بين الزاوية θ_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 $\theta_3 =$

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

θ : زاوية الارتفاع (بالدرجات)

θ_3 : فتحة نصف القدرة لحزمة الهوائي (بالدرجات).

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 المبين في الجدول 4:

الجدول 4

معادلات منخطط الهوائي بقاطع التمام التريبيعي

رقم المعادلة	الشرط	معادلة قاطع التمام التريبيعي
(13)	$\frac{-\theta_3}{0.88} \leq \theta \leq +\theta_3$	$\frac{\sin(\mu)}{\mu}$; $\mu = (\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta)) / \theta_3$
(14)	$+\theta_3 \leq \theta \leq \theta_{Max}$	$G(\theta_1) \cdot \left(\frac{CSC(\theta)}{CSC(\theta_1)} \right)^2$
(15)	$\theta_{Max} \leq \theta \leq \theta_{90}$	الحد الأدنى لقاطع التمام (مثال = -55 dB)
(16)	$\theta_1 = \theta_3$	$G(\theta_1) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}}$

يرجى ملاحظة أن $G(\theta_1) \cdot \left(\frac{CSC(\theta)}{CSC(\theta_1)} \right)^2$ يشير إلى اتساع منخطط القدرة، بينما يشير $\frac{\sin(\mu)}{\mu}$ و $G(\theta_1) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}}$ إلى

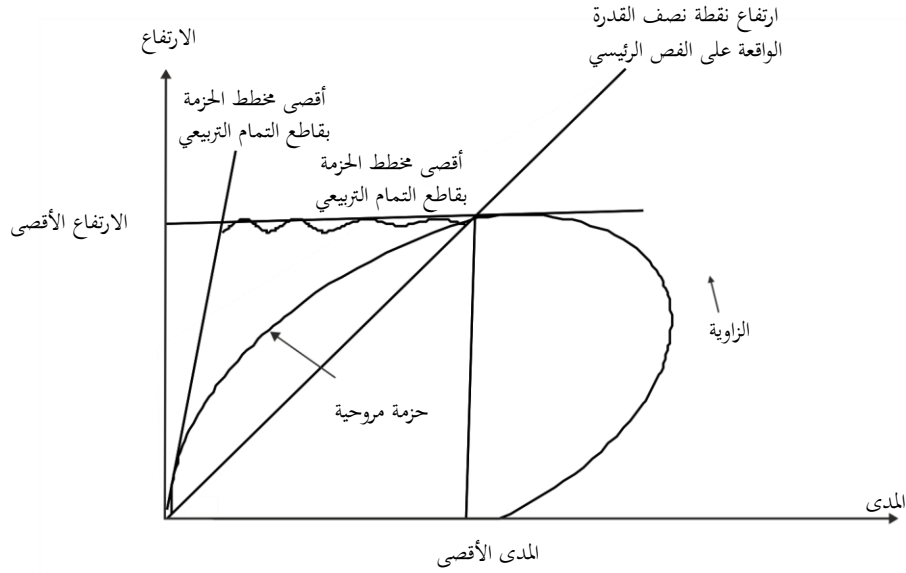
إلى 'منخطط التوجيهية F(μ)'، واتساع المجال المساويين لمربع اتساع القدرة. ويمكن أن يكون الحل بكتابة $\left(\frac{\sin(\mu)}{\mu} \right)^2$

$$G(\theta_1) = \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50.8 \cdot \sin(\theta_1)}{\theta_3}} \right)^2 \text{ و}$$

وتمثل الأشكال الواردة أدناه وصفاً بيانياً لهذه المخططات.

الشكل 5

تغطية الحزمة بقاطع التمام التربيعي لأنظمة رادارات البحث

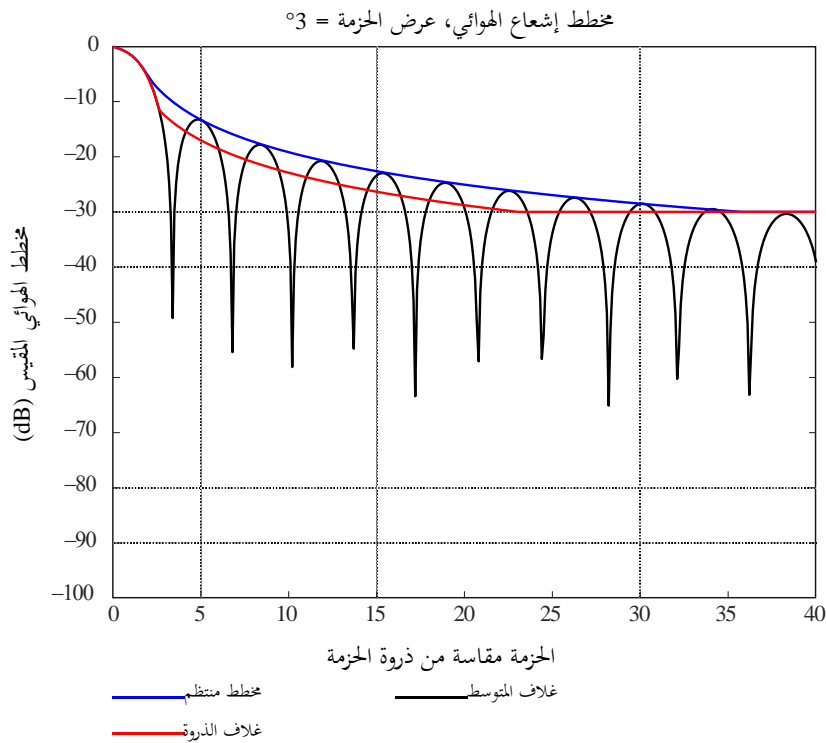


M.1851-05

3.2 المخططات النظرية والأقنعة لمختلف مخططات إشعاع الهوائيات

الشكل 6

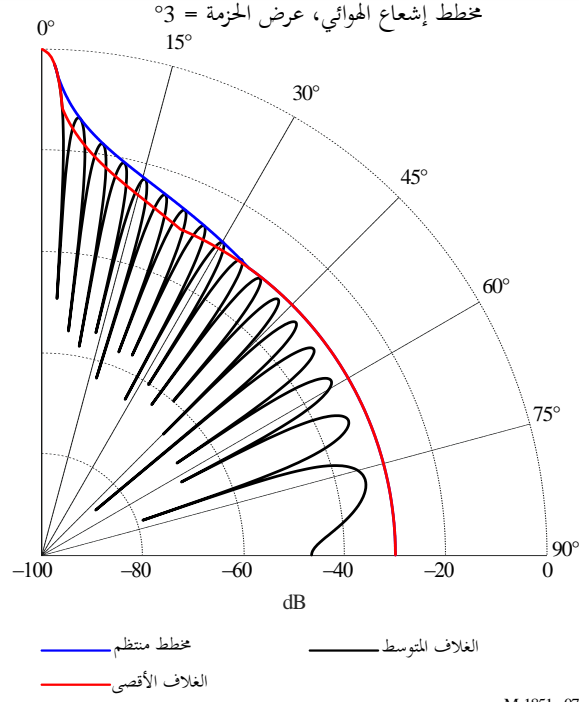
مخطط الهوائي، الذروة $\left(\frac{\sin \theta}{\theta}\right)^2$ بالتقويم الدائري أو $\left(\frac{\sin \theta}{\theta} \times 57.3\right)^2$ بالدرجات، ومتوسط الغلاف لتوزيع المجال المنتظم



M.1851-06

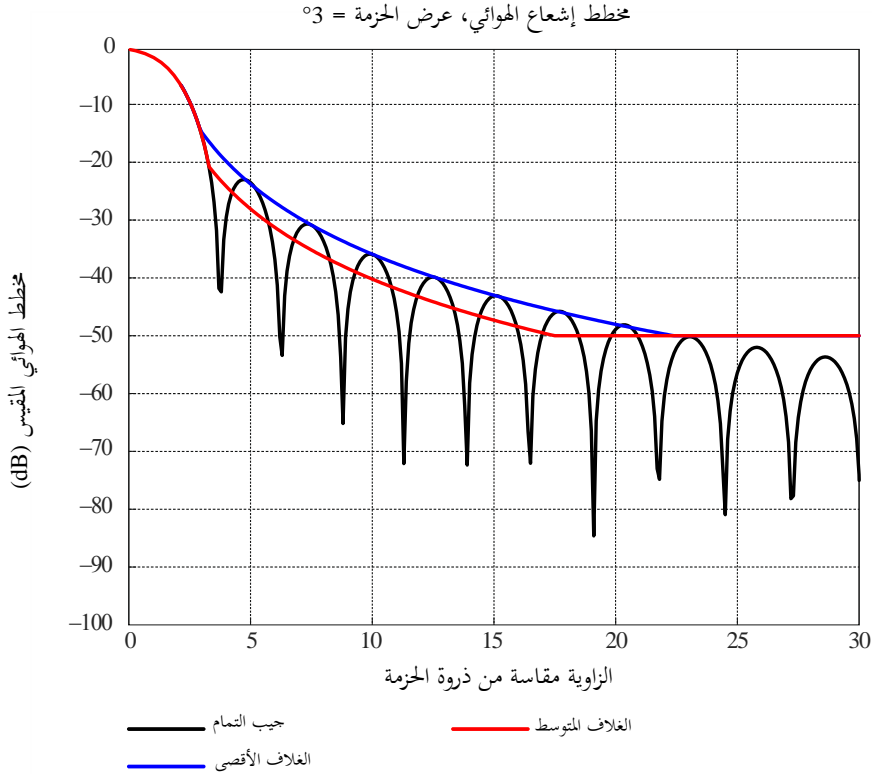
الشكل 7

مثال الرسم البياني القطبي لمخطط هوائي والغلاف الأقصى والمتوسط لتوزيع المجال المنتظم



الشكل 8

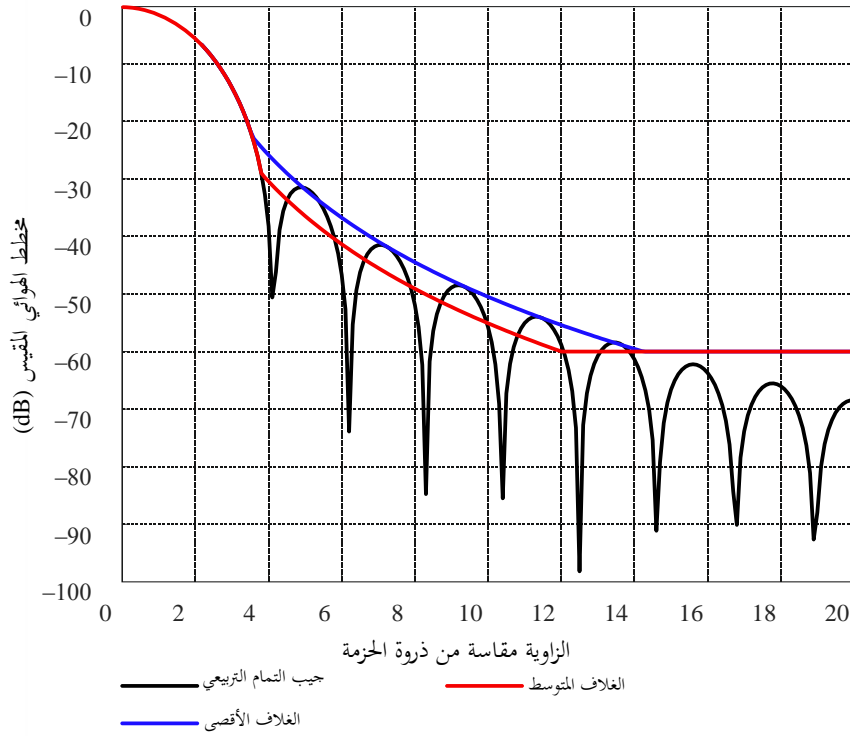
مخطط الهوائي، الغلاف الأقصى والمتوسط لتوزيع مجال على شكل جيب التمام



الشكل 9

مخطط الهوائي، الغلاف الأقصى والمتوسط لتوزيع على شكل جيب التمام التريبي

مخطط إشعاع الهوائي، عرض الحزمة = 3°

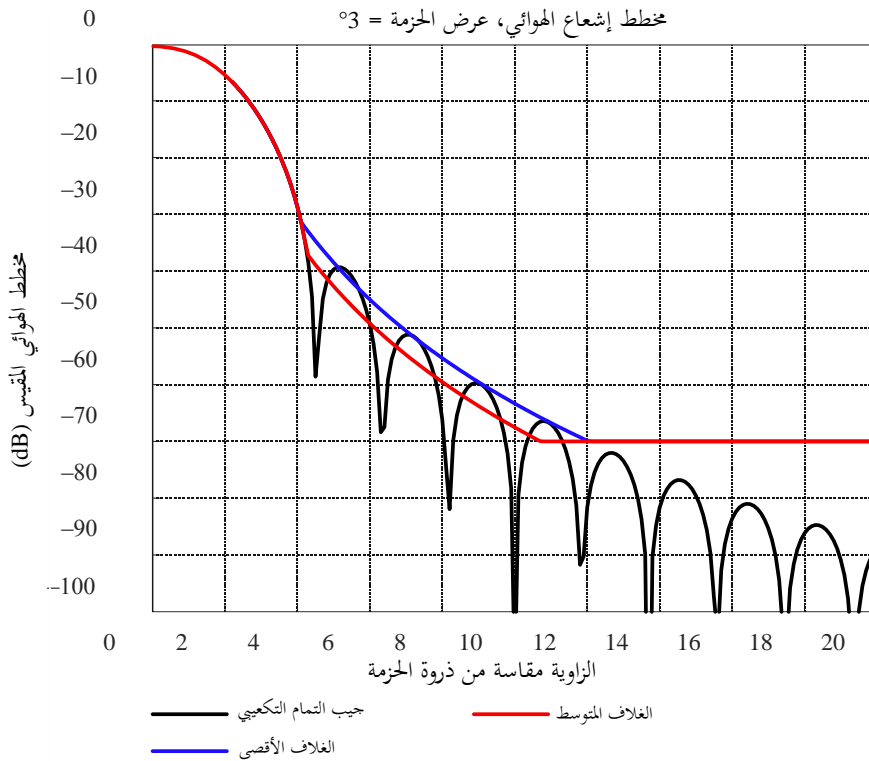


M.185109

الشكل 10

مخطط الهوائي، الغلاف الأقصى والمتوسط لتوزيع على شكل جيب التمام التكميبي

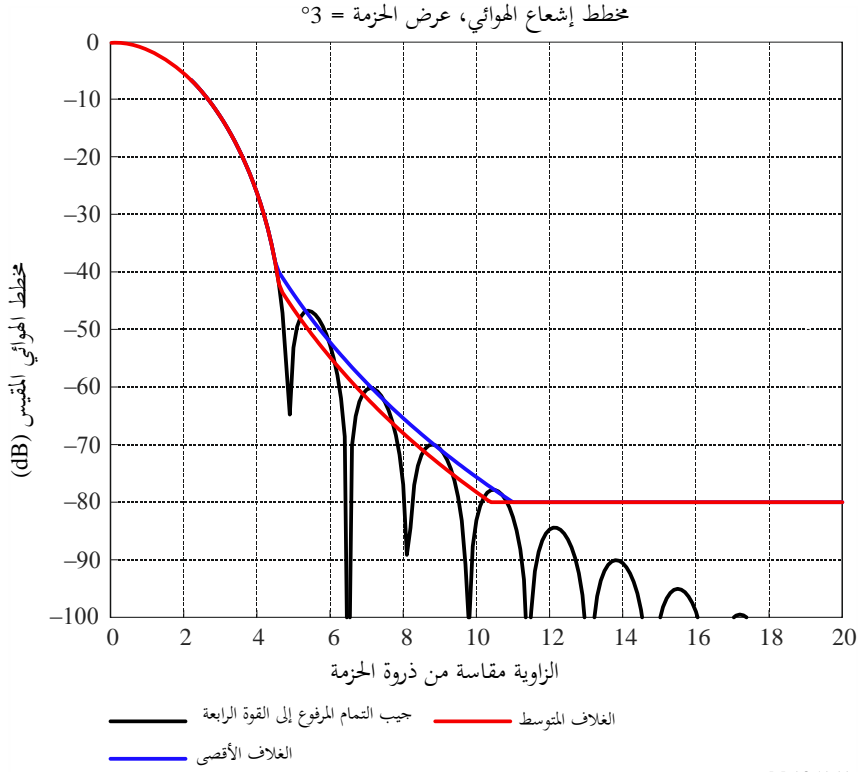
مخطط إشعاع الهوائي، عرض الحزمة = 3°



M.185140

الشكل 11

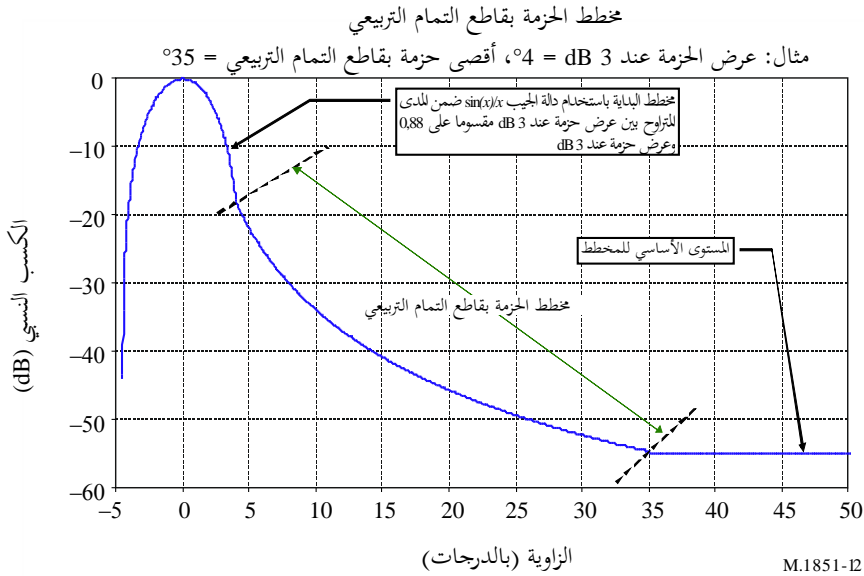
مخطط الهوائي، الغلاف الأقصى والمتوسط لتوزيع المجال على شكل جيب التمام المرفوع إلى القوة الرابعة



M.1851-11

الشكل 12

غلاف مخطط هوائي على شكل قاطع التمام التربيعي



M.1851-12

3 اختيار مخطط الهوائي

يستند الاقتراح الذي يقدمه 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 مع توفر معلومات عن عرض الحزمة عند منتصف القدرة.

الجدول 5

جدول اختيار مقارنة المخطط

رقم معادلة القناع	رقم معادلة المخطط النظري	نمط توزيع الهوائي المحتمل وجيب التمام المرفوع إلى القدرة n	مدى مستوى الفص الجانبي الأول تحت الذروة المعيارية للفص الرئيسي (dB)
(7)	(2)	منتظم	إلى 13,2 > 20
(8)	(3)	$1 = n$	إلى 20 > 30
(9)	(4)	$2 = n$	إلى 30 > 39
(10)	(5)	$3 = n$	39 إلى > 45
(11)	(6)	$4 = n$	>= 45

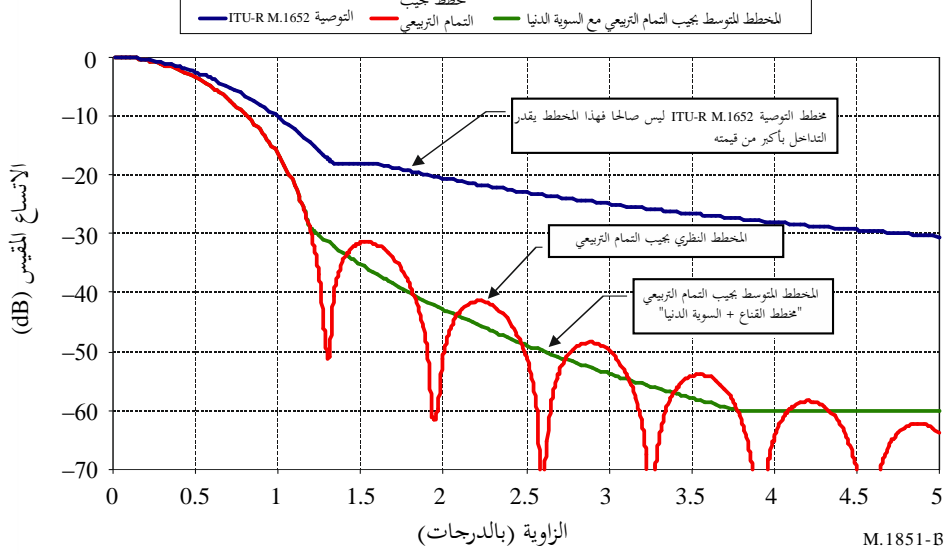
4 مقارنة مخططات الهوائي

تعطي التوصية ITU-R M.1652 أحد النماذج الرياضية التي يتعين استخدامها لمخطط هوائيات أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي الذي تم استخدامه 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.1638-0 أن المخطط الوارد في التوصية ITU-R M.1652 ليس هو المخطط الأمثل. ومثلما يبين ذلك الشكل 13، فإن المخطط الوارد في التوصية ITU-R M.1652 يقدر كسب الهوائي للانحراف عن محور تسديد الهوائي بقدر أكبر بكثير من قيمته (0°). وجدير بالذكر أيضاً أن المعادلات المحددة في التوصية ITU-R F.699 تميل إلى المبالغة في تقدير مستويات الفصوص الجانبية لبعض أنظمة الرادارات، وأنها لم تُوضع من أجل أنظمة الرادارات.

الشكل 13

مقارنة مخططات الهوائي

مقارنة مخطط التوصية ITU-R M.1652 بمخططي جيب التمام التريبي (مثال: نظام الرادار جيم: الكسب = 44 dB، المخطط الرأسي) EI عرض الحزمة في الارتفاع = Az عرض الحزمة في السم = 0,95°، السوية الأولى للفصوص الجانبية = -35 dB)



5 تقريب المخططات ثلاثية الأبعاد (3-D)

يمكن استخدام المعطيات المحرزة من رسوم الأكمة 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 نفذ الرسم. ولاحظ أنه لا بد من تقييس كل المخططات.

وتعطي العبارة التالية المعادلة اللازمة لحساب المخطط ثلاثي الأبعاد:

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

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

وتعطي المعادلة التالية المخطط الرأسي:

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

وتُعطي المعادلة التالية المخطط الأفقي:

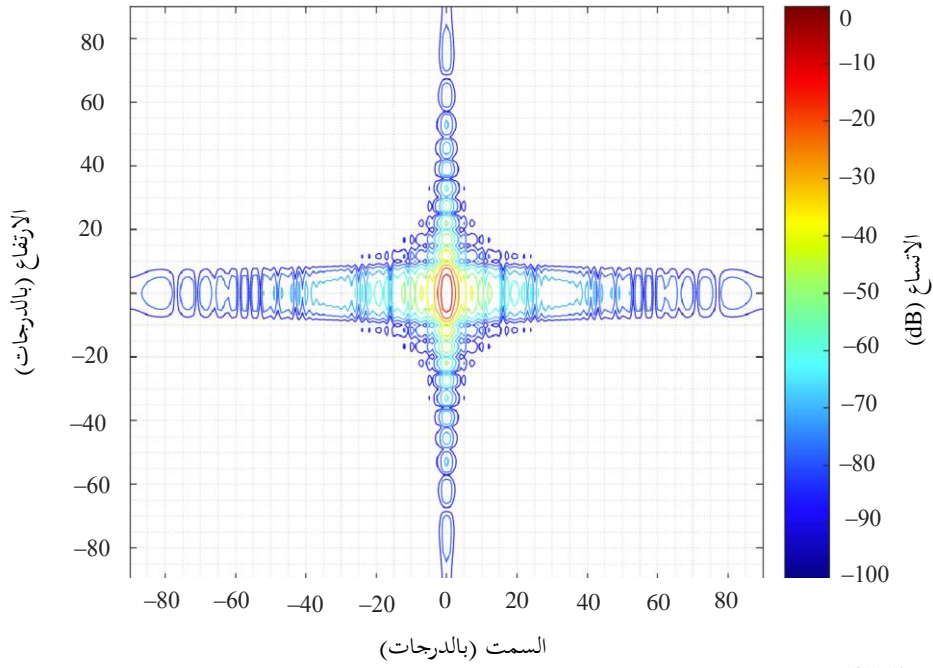
$$(19) \quad \begin{bmatrix} 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ A_{zN} & A_{zN-1} & & & A_{z2} & A_{z1} \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} = (H_{k,i}) \text{ المصفوفة الأفقية}$$

ويُقدم الشكلان 14 و15 مثالاً عن مخطط ثلاثي الأبعاد.

الشكل 14

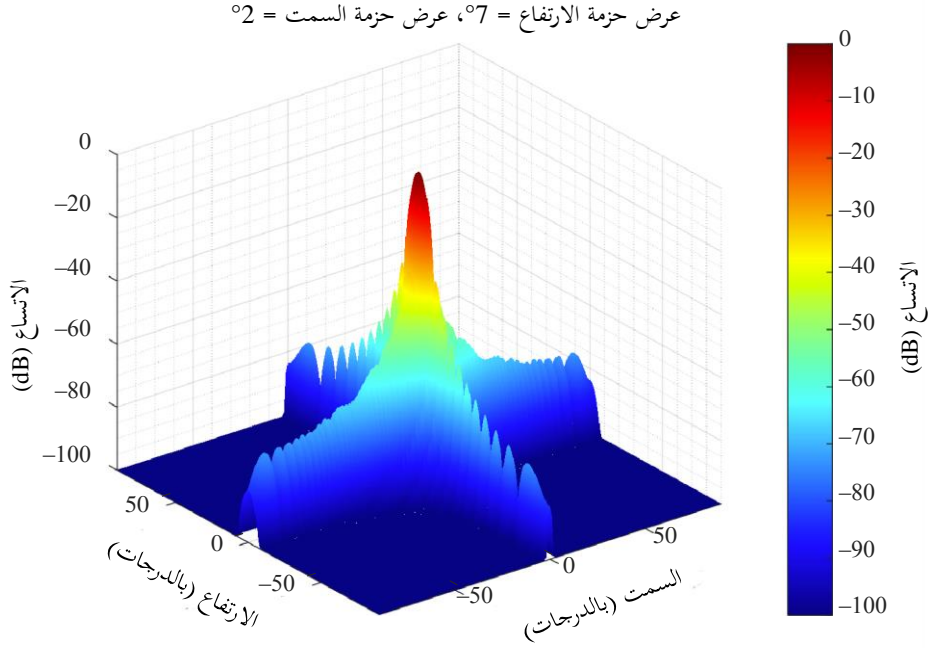
مخطط كفاف معايير (dB)

عرض حزمة الارتفاع = 7°، عرض حزمة السم = 2°



الشكل 15

مثال لرسم بياني ثلاثي الأبعاد لارتفاع وسمت هوائي وتوزيع المجال المنتظم لفتحة مستطيلة، والتوهين (dB) مقابل زاوية خارج المحور؛ θ (الارتفاع، بالدرجات) و ϕ (السمت، بالدرجات)



M.1851-15

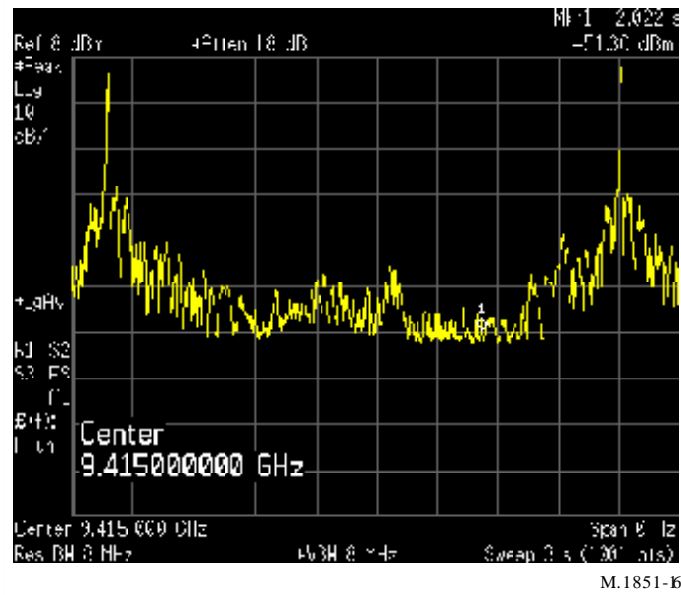
6 أمثلة لمخططات مقاسة

يعرض الشكلان 16 و 17 أمثلة لمخططين مقاسين لهوائي رادار، في النطاق 9 GHz. ويمثل المحور X زاوية السمت الممتدة لأكثر من 360° ، ويمثل المحور Y مستوى القدرة المستقبلية عند كل زاوية سمت. ويجب أن يعاير مخطط القدرة هذا بالنسبة إلى حده الأقصى أو أن ينظر في هوائي متاح كمخطط للهوائي أو مخطط التوجيهية.

ويشير التحليل الأول للمخططين المقاسين هذين إلى أن الفصوص الجانبية الأولى تظهر بالقرب من -30 dB مع ميل ملحوظ للفصوص الجانبية مؤدياً إلى تقدير تقريبي بأنه جرى استعمال قانون جيب التمام التريبيعي لإضاءة الفتحة. وإن الحد النظري الأساسي للقناع عند -60 dB الذي يُعطى بنموذج جيب التمام التريبيعي سيظهر في هذه الحالة منخفضاً قليلاً إلى حد ما بسبب وجود فص خلفي وفصوص انعراج خلفية في مخطط الهوائي هذا، ومن ثم، فإنه، يُشجع عند الضرورة استعمال مخططات هوائيات حقيقية عوضاً عن المخططات النظرية قدر الإمكان.

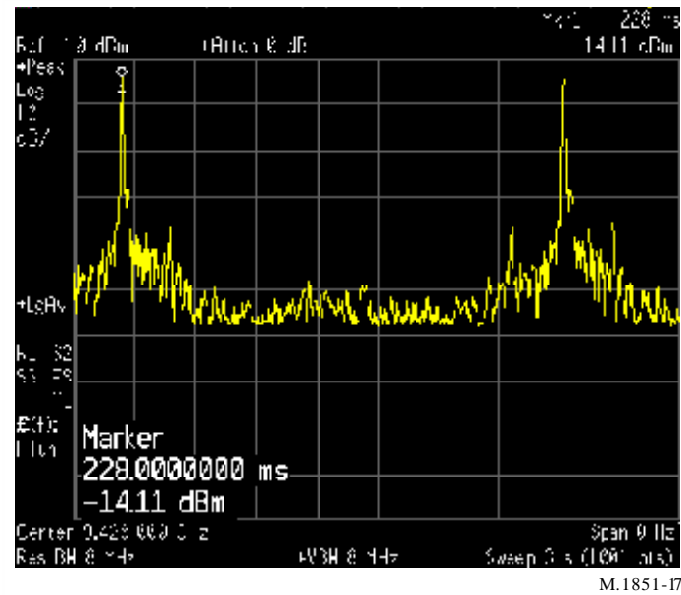
الشكل 16

مثال لمخطط هوائي مقاس



الشكل 17

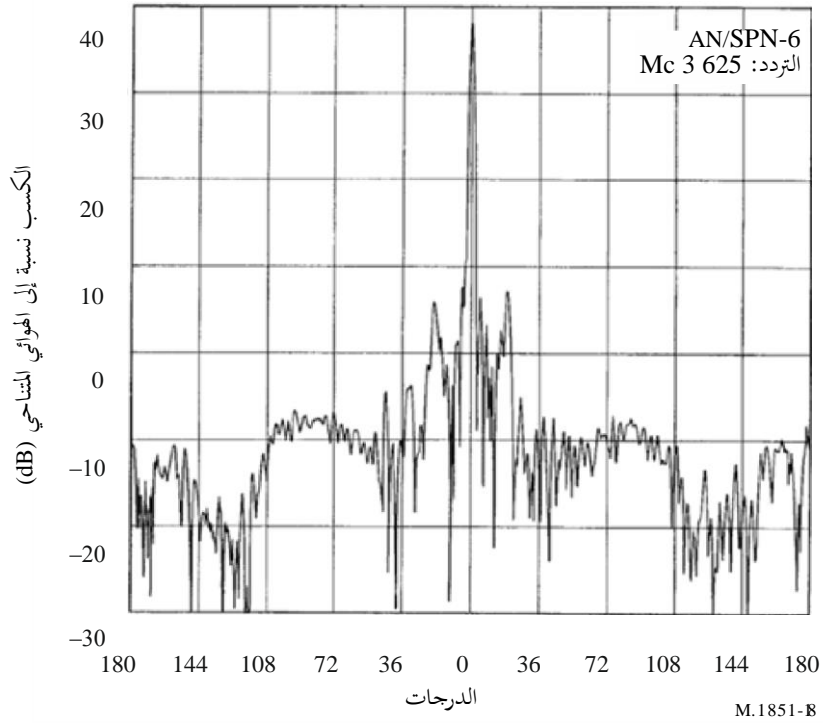
مثال لمخطط هوائي مقاس



ويعرض الشكلان 18 و 19 مثالين آخرين.

الشكل 18

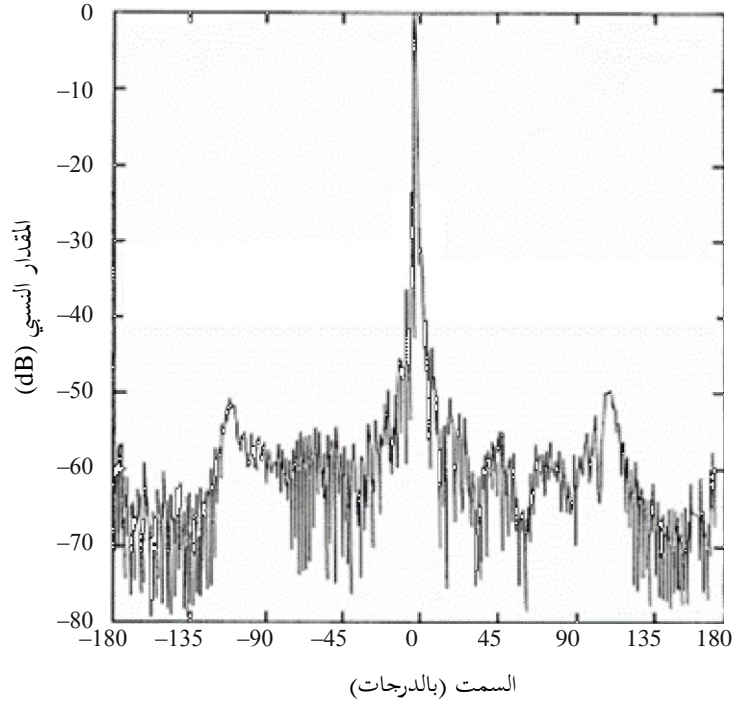
القياس انطلاقاً من هوائي رادار AN/SPN-6 عند 3,6 GHz و 38 dBi



المصدر: الخصائص الإحصائية للكسب والكسب المتبادل لهوائيات الرادارات، المشروع رقم SF 010 204، المهمة 5727، وزارة البحرية
15 سبتمبر، 1963.

الشكل 19

مخطط هوائي رادار دوبلر من رادار للأرصاد الجوية بفص جانبي أول
ذي مستوى يبلغ 25 dB ونسبة المقدمة إلى المؤخرة 60 dB



M.1851-19

المصدر: دليل الولايات المتحدة الأمريكية الفيدرالي للأرصاد الجوية رقم 11، ديسمبر 2005 الجزء B، FCM-H11B-2005.

7 مخططات هوائيات الصفيح المطاور

يمكن استعمال المعادلة التالية في حسابات المخطط المعيار المنتظم لهوائيات الصفيح الخطي:

$$(20) \quad g(\theta) = f(\theta) \cdot \frac{1}{N} |AF(\theta)|^2$$

حيث:

g : مخطط كسب هوائي الصفيح الخطي المعيار المنتظم

f : مخطط الكسب المعيار لعناصر الإشعاع الأساسية المضافة إلى هوائيات الصفيح الخطي المنتظم

N : عدد عناصر الإشعاع الأساسية

AF : عامل هوائيات الصفيح الخطي المنتظم؛ Ψ (بالتقويم الدائري):

$$AF(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{N\Psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)}$$

(21)

(22)

$$\Psi = 2\pi(d/\lambda)(\sin(\theta) - \sin(\omega))$$

حيث:

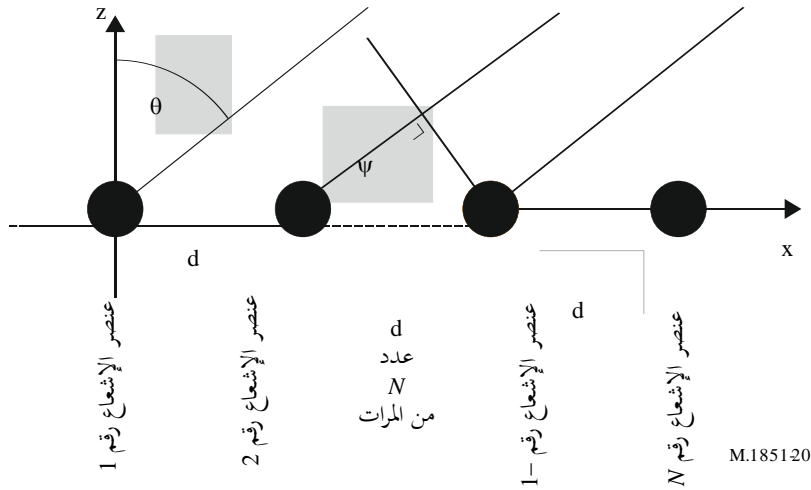
d : المسافة البينية العادية المنتظمة لعنصر الإشعاع الأساسي

λ : طول الموجة عند التردد المعني

ω : زاوية توجيه الحزمة إلكترونياً

θ : الزاوية خارج المحور.

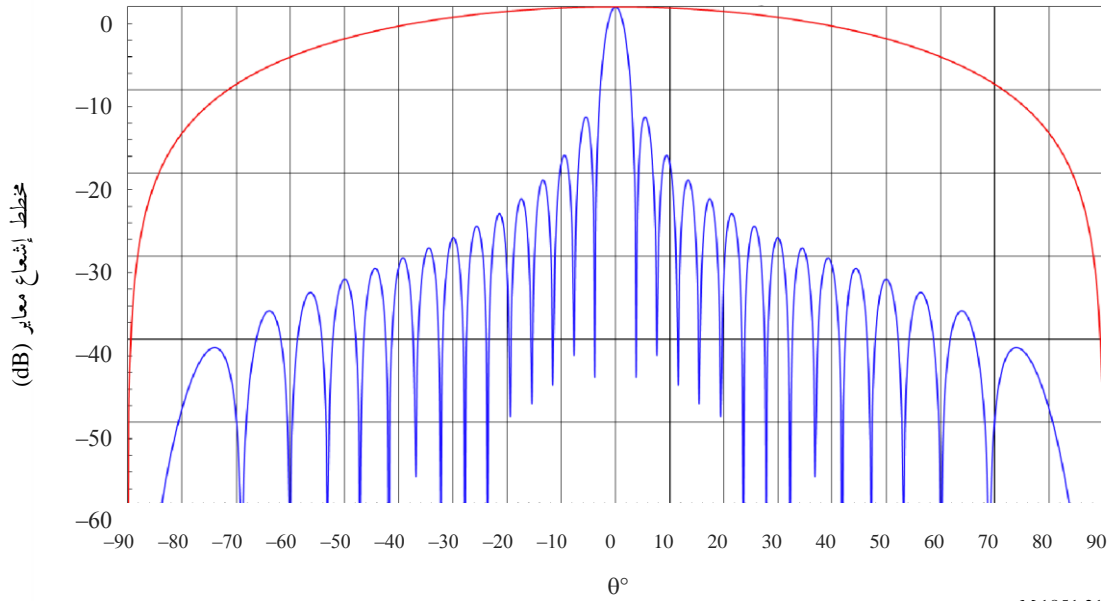
الشكل 20



وتسمح الطبيعة الخاصة لهوائيات الصفيف المتطاور بالتحكم إلكترونياً بالفص الرئيسي لمخطط الهوائي في مدى يبلغ $\pm 90^\circ$ من التسديد الميكانيكي للهوائي. وعند زوايا المسح ω الكبيرة، ينبغي مراعاة آثار بعض الفصوص الجانبية في مخططات الهوائي باعتبارها عمليات كبيرة بالنسبة إلى التوسع وخسارة التماثل (انظر الشكل 22). وفي الحقيقة، تنخفض القيمة القصوى للفص الرئيسي عندما يكون الجيب (ω) فما فوقه هو مخطط عنصر الإشعاع الأساسي في الصفيف. وهذه النتيجة هي حزمة رئيسية موسعة وخسارات في الكسب الأقصى وبالتالي زيادة للفصوص الجانبية البعيدة. وبالنسبة إلى زاوية ω بمدى يتراوح بين $\pm 60^\circ$ و $\pm 90^\circ$ من محور التسديد الميكانيكي للهوائي فإن المخطط الناتج يكون مضطرباً للغاية لدرجة أن يصبح غير قابل للاستعمال (انظر الشكل 24). وتقع القيم العملية للزاوية ω بين 0° و $\pm 60^\circ$ من محور التسديد الميكانيكي للهوائي. وعلاوة على ذلك، إذا كانت شبكة الصفيف بمسافة أكبر من $\lambda/2$ بين عناصر الإشعاع الأساسية في الصفيف، فقد تظهر فصوص شبكية للفص الرئيسي عند قيم للزاوية ω بمدى أقل حتى $\pm 60^\circ$ من محور التسديد الميكانيكي للهوائي (انظر الشكل 23). وحتى إذا كانت شبكة الصفيف بمسافة $\lambda/2$ بين عناصر الإشعاع الأساسية في الصفيف، فإن الفصوص الجانبية للفصوص الشبكية للفص الرئيسي والمتمركزة عند -90° و $+90^\circ$ من محور التسديد الميكانيكي للهوائي، تجعل مخطط الصفيف مضطرباً (انظر الشكل 24).

الشكل 21

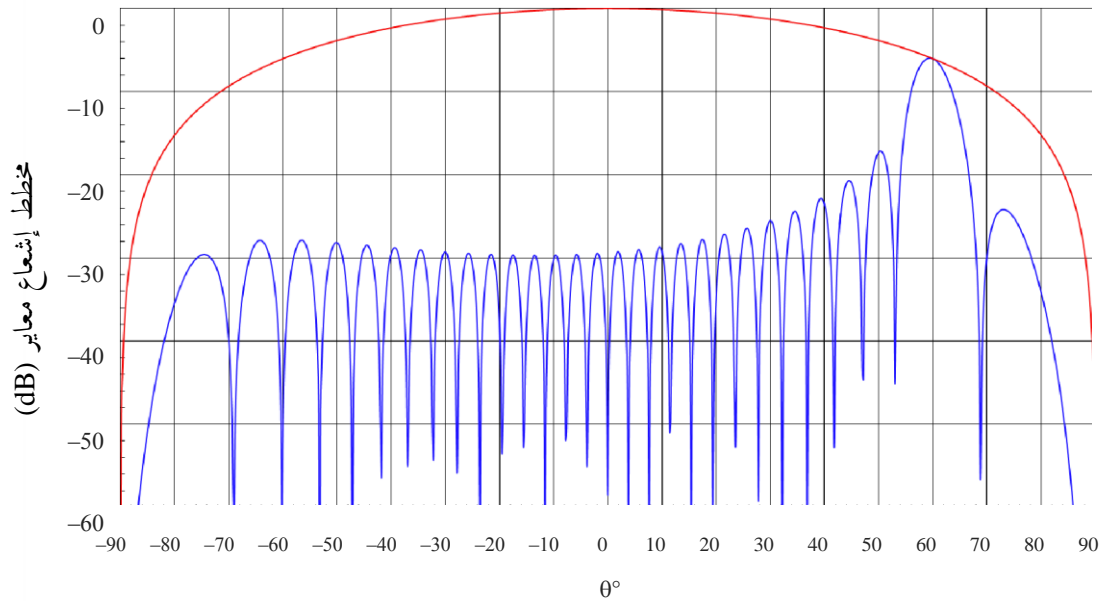
مخطط إشعاع نظري لصفيف خطي منتظم مؤلف من 30 عنصراً مشعاً وبشبكة بمسافة $\lambda/2$ (المنحنى الأزرق) مع مخطط إشعاع بجيب تمام تربيعي (المنحنى الأحمر) موجه نحو محور التسديد



M.1851-21

الشكل 22

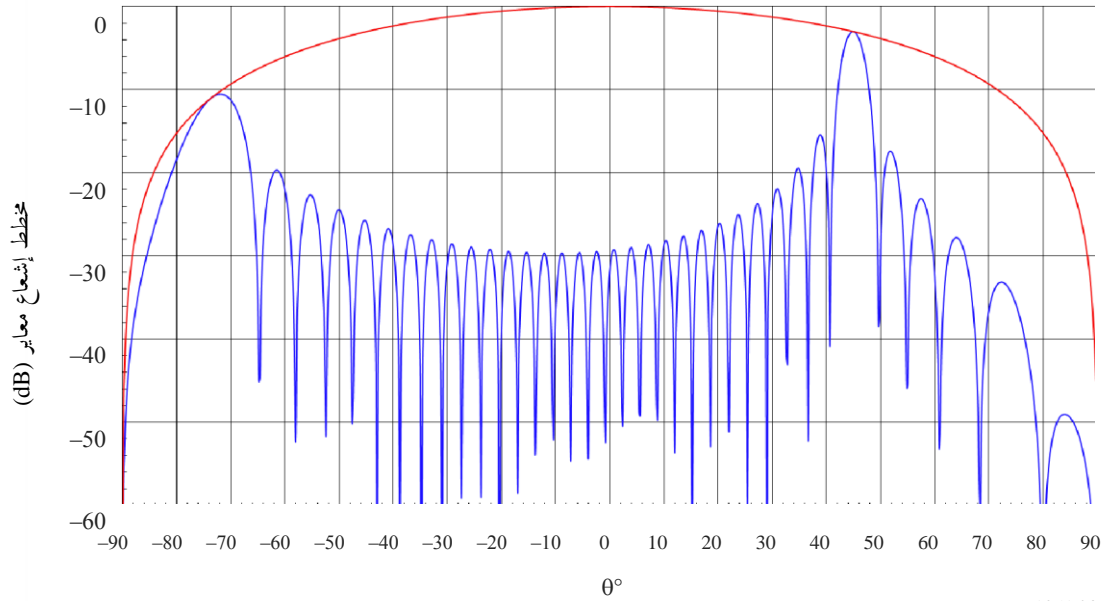
مخطط إشعاع نظري لصفيف خطي منتظم مؤلف من 30 عنصراً مشعاً وبشبكة بمسافة $\lambda/2$ (المنحنى الأزرق) مع مخطط إشعاع بجيب تمام تربيعي (المنحنى الأحمر) الموجه نحو الاتجاه 60°



M.1851-22

الشكل 23

مخطط إشعاع نظري لصفيف خطي منتظم مؤلف من 30 عنصراً مشعاً وبشبكة بمسافة $0,6\lambda$ (المنحنى الأزرق) مع مخطط إشعاع بجيب تمام تريبي (المنحنى الأحمر) موجه نحو الاتجاه 45°



الشكل 24

مخطط إشعاع نظري لصفيف خطي منتظم مؤلف من 30 عنصراً مشعاً وبشبكة بمسافة $\lambda/2$ (المنحنى الأزرق) مع مخطط إشعاع بجيب تمام تريبي (المنحنى الأحمر) موجه نحو الاتجاه 80°

