

# ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R F.1336-5  
(2019/01)

مخططات الإشعاع المرجعية لهوائيات شاملة  
الاتجاهات وقطاعية وهوائيات أخرى  
للخدمات الثابتة والمتنقلة، للاستخدام  
في دراسات التشارك في مدى التردد  
من 400 MHz إلى 70 GHz تقريباً

السلسلة F  
الخدمة الثابتة

## تمهيد

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 المدى 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 القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات 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
<b>الخدمة الثابتة</b>	<b>F</b>
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، 2019

© ITU 2019

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 F.1336-5\*

## مخططات الإشعاع المرجعية لهوائيات شاملة الاتجاهات وقطاعية وهوائيات أخرى للخدمات الثابتة والمتنقلة، للاستخدام في دراسات التشارك في مدى التردد من 400 MHz إلى 70 GHz تقريباً

(المسألة ITU-R 242-2/5)

(1997-2000-2007-2012-2014-2019)

### مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية نماذج مرجعية للهوائيات المستخدمة في الخدمة الثابتة والخدمة المتنقلة. وتقدم مخططات الإشعاع بقيمة الذروة والقيمة المتوسطة للهوائيات شاملة الاتجاهات والقطاعية في مدى التردد من 400 MHz إلى 70 GHz تقريباً وكذلك للهوائيات الاتجاهية منخفضة الكسب في مدى التردد من 1 GHz إلى 3 GHz تقريباً، للاستخدام في دراسات التشارك في مدى التردد ذي الصلة. وينبغي استعمال مخططات الإشعاع المرجعية في تقييمات التداخل عندما لا تتوفر معلومات محددة تتعلق بالهوائيات الحقيقية.

### الكلمات الرئيسية

الخدمة الثابتة، الخدمة المتنقلة البرية، مخطط الإشعاع المرجعي، هوائي قطاعي، هوائي شامل الاتجاهات، ذروة مخطط إشعاع الفص الجانبي، متوسط مخطط إشعاع الفص الجانبي، فتحة الحزمة في السمات وعند الارتفاع، استقطاب متقاطع، دراسات تقاسم الترددات الراديوية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أنه قد يلزم استعمال مخططات الإشعاع المرجعية لهوائيات النظام اللاسلكي الثابت أو هوائيات محطة قاعدة الخدمة المتنقلة البرية في دراسات التنسيق وتقييم التداخل المتبادل بين الأنظمة اللاسلكية الثابتة (FWS) أو الأنظمة في الخدمة المتنقلة البرية (LMS) من نقطة إلى عدة نقاط (P-MP) وبين محطات هذه الأنظمة ومحطات خدمات الاتصالات الراديوية الفضائية التي تشارك في نفس نطاق التردد؛ قد يلزم استعمال مخططات الإشعاع المرجعية من أجل هوائيات المحطات القاعدة FWS و LMS.

(ب) أنه تبعاً لسيناريو التشارك، قد يكون من المناسب في دراسات التشارك مراعاة مخططات إشعاع الفصوص الجانبية التي يعبر عنها بقيم الذروة أو القيم المتوسطة؛

(ج) أنه قد يستحسن استعمال مخطط إشعاع الهوائي الذي يمثل قيمةً متوسطةً للفصوص الجانبية في الحالات التالية:

- التنبؤ بالتداخل المجمع من العديد من محطات لاسلكية ثابتة أو محطات قاعدة الخدمة المتنقلة البرية على سائل مستقر أو غير مستقر بالنسبة إلى الأرض؛
- التنبؤ بالتداخل المجمع الذي تسببه سواتل كثيرة مستقرة بالنسبة إلى الأرض على محطة لاسلكية ثابتة أو محطات قاعدة الخدمة المتنقلة البرية؛
- التنبؤ بالتداخل الذي يسببه سائل غير مستقر بالنسبة إلى الأرض واحد أو أكثر بزوايا متغيرة دائماً على محطة لاسلكية ثابتة أو محطات قاعدة الخدمة المتنقلة البرية؛
- في أي حالة أخرى يتاح فيها استخدام مخطط الإشعاع الذي يمثل القيم المتوسطة للفصوص الجانبية؛

\* ينبغي رفع هذه التوصية إلى عناية لجان الدراسات 4 و6 و7 بقطاع الاتصالات الراديوية.

- (د) أن مخططات الإشعاع المرجعية ضرورية عندما لا تتوفر معلومات بشأن المخطط الحالي للإشعاع؛  
 (هـ) أن استعمال الهوائيات بأفضل مخططات إشعاع متوفرة سيؤدي إلى أمثل استعمال لطيف التردد الراديوي؛  
 (و) أن المسافات الزاوية الكبيرة من مخطط إشعاع الحزمة الرئيسية قد لا تمثل إرسالات الهوائي تماماً بسبب الانعكاسات المحلية عن الأرض،

وإذ تلاحظ

أن التوصيتين ITU-R F.699 و ITU-R F.1245 تقدمان مخططين مرجعيين للإشعاع أحدهما بقيمة الذروة والثاني بالقيمة المتوسطة على التوالي للهوائيين الاتجاهيين اللذين يُستخدمان في دراسات التنسيق وتقدير التداخل في الحالات التي لا ترد في البنود من 1 إلى 4 من توصي أدناه،

توصي

**1** باستعمال مخطط الإشعاع المرجعي كما يرد أدناه في حالة غياب معلومات معينة بشأن مخطط إشعاع هوائي نظام لاسلكي ثابت من نقطة إلى عدة نقاط أو هوائي محطة قاعدة الخدمة المتنقلة البرية (انظر الملاحظة 1) وذلك في الحالات التالية:

1.1 بتقييم التداخل بين الأنظمة اللاسلكية الثابتة من نقطة إلى عدة نقاط أو بين محطات قاعدة LMS؛

2.1 تقييم التداخل بين المحطات الراديوية الثابتة من نقطة إلى عدة نقاط أو بين محطات قاعدة LMS وخدمات أخرى تشارك في نفس نطاق التردد؛

**2** باستعمال مخططات الإشعاع المرجعية التالية في مدى الترددات من 400 MHz إلى 70 GHz تقريباً في الحالات التي تضم محطات تستخدم هوائيات شاملة الاتجاهات (في السمات):

1.2 بأن تستعمل المعادلات التالية في حالة استعمال مخططات الفصوص الجانبية الذروية الواردة في الفقرة ب) من إذ تضع في اعتبارها، بالنسبة إلى زوايا الارتفاع من -90° إلى 90° درجة (انظر الملحق 1):

$$(1a) \quad G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 \left( \frac{\theta}{\theta_3} \right)^2 & \text{for } 0 \leq |\theta| < \theta_4 \\ G_0 - 12 + 10 \log(k+1) & \text{for } \theta_4 \leq |\theta| < \theta_3 \\ G_0 - 12 + 10 \log \left[ \left( \frac{|\theta|}{\theta_3} \right)^{-1.5} + k \right] & \text{for } \theta_3 \leq |\theta| \leq 90^\circ \end{cases}$$

و:

$$(1b) \quad \theta_3 = 107,6 \times 10^{-0,1 G_0}$$

$$(1c) \quad \theta_4 = \theta_3 \sqrt{1 - \frac{1}{1,2} \log(k+1)}$$

حيث:

 $G(\theta)$ : الكسب نسبة إلى الهوائي المتناحي (dBi) $G_0$ : أقصى كسب في مستوى السمت (dBi) $\theta$ : زاوية الارتفاع نسبة إلى زاوية أقصى كسب (بالدرجات) ( $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ) $\theta_3$ : عرض النطاق 3 dB في مستوي الارتفاع (بالدرجات) $k$ : المعلمة التي تحسب زيادة سويات الفص الجانبي فوق ما يمكن توقعه بالنسبة إلى هوائي ذي خصائص فصوص جانبية محسنة (انظر 3.2 و 4.2 من توصي).يقارن الشكل 13 في الملحق 1 المعادلة (1a) مع مخطط الارتفاع المقيس من أجل هوائي شامل الاتجاهات (السمت) بأداء فصوص جانبية محسن ( $k = 0$ ).2.2 تستعمل المعادلات التالية في حالات مخططات الفصوص الجانبية بالقيمة المتوسطة المشار إليها في الفقرة ج) من إذ تضع في اعتبارها، من أجل زوايا الارتفاع التي تتراوح بين  $-90^\circ$  و  $90^\circ$  (الملحقان 1 و 4):

$$(1d) \quad G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 \left( \frac{\theta}{\theta_3} \right)^2 & \text{for } 0 \leq |\theta| < \theta_3 \\ G_0 - 15 + 10 \log(k+1) & \text{for } \theta_3 \leq |\theta| < \theta_5 \\ G_0 - 15 + 10 \log \left[ \left( \frac{|\theta|}{\theta_3} \right)^{-1.5} + k \right] & \text{for } \theta_5 \leq |\theta| \leq 90^\circ \end{cases}$$

مع:

$$\theta_5 = \theta_3 \sqrt{1.25 - \frac{1}{1.2} \log(k+1)}$$

حيث  $\theta$  و  $\theta_3$  و  $G_0$  و  $k$  معرفة ومعبّر عنها في الفقرة 1.2 من "توصي"؛3.2 في حالات استخدام هوائيات تعمل في المدى من 400 MHz إلى 3 GHz ينبغي أن تكون المعلمة  $k$  0,7؛4.2 في حالات استخدام هوائيات ذات أداء فصوص جانبية محسن في المدى من 400 MHz إلى 3 GHz وفي الهوائيات العاملة في المدى 3-70 GHz، ينبغي أن تكون المعلمة  $k$  0؛

5.2 في الحالات التي تعمل فيها الهوائيات، المذكورة في الفقرتين 1.2 و 2.2 من توصي، بميل كهربائي نحو الأسفل، تصح جميع المعادلات فيهما مع تعاريف المتحولات التالية (انظر الفقرة 3 من الملحق 5):

 $\theta_e$ : زاوية الارتفاع (بالدرجات) التي تُحسب بها مخططات الإشعاع المائلة باستخدام المعادلات الواردة في الفقرتين 1.2 و 2.2 من توصي $\theta_h$ : زاوية الارتفاع (بالدرجات) المقيسة من المستوي الأفقي في موقع الهوائي ( $-90^\circ \geq \theta_h \geq 90^\circ$ ): حيث  $90^\circ$  هي السمات و  $-90^\circ$  هي نظير السمات $\beta$ : زاوية الميل نحو الأسفل، وهي الزاوية الموجبة (بالدرجات) التي ينحدر بها محور الحزمة الرئيسية تحت المستوي الأفقي في موقع الهوائي.

وترتبط هذه المتحولات فيما بينها كما يلي:

$$(1e) \quad \begin{aligned} \theta_h + \beta \geq 0 \text{ من أجل} & \quad \theta_e = \frac{90 \cdot (\theta_h + \beta)}{90 + \beta} \\ \theta_h + \beta < 0 \text{ من أجل} & \quad \theta_e = \frac{90 \cdot (\theta_h + \beta)}{90 - \beta} \end{aligned}$$

ويُحسب كسب الإشعاع المائل كهربائياً عند الزاوية  $\theta_h$  باستخدام  $\theta_e$  في المعادلة (1e) بدلاً من  $\theta$  في المعادلات الواردة في الفقرتين 1.2 و 2.2 من توصي، على التوالي؛

3 بأن تستعمل في مدى التردد من 400 MHz إلى حوالي 70 GHz مخططات الإشعاع المرجعية التالية في حالات المحطات التي تستخدم هوائيات قطاعية؛

1.3 في مدى التردد من 400 MHz إلى حوالي 6 GHz (انظر الملحق 7):

1.1.3 في حالة مخططات الفصوص الجانبية الذروية الواردة في ب) من إذ تضع في اعتبارها ينبغي استعمال المعادلات التالية لزاويا الارتفاع الواقعة بين  $90^\circ$  و  $90^\circ$  ولزاويا السمات بين  $180^\circ$  و  $180^\circ$ :

$$(2a1) \quad G(\varphi, \theta) = G_0 + G_{hr}(x_h) + R \cdot G_{vr}(x_v) \quad (\text{dBi})$$

حيث:

$G_{hr}(x_h)$ : الكسب المرجعي النسبي للهوائي في مستوي السمات باتجاه  $(x_h, 0)$  المقيس (dB)

$$|\varphi|/\varphi_3 = x_h$$

$\varphi$ : زاوية السمات نسبة إلى زاوية الكسب الأقصى في المستوى الأفقي (بالدرجات)

$\varphi_3$ : فتحة الحزمة قدرها 3 dB في مستوي السمات (بالدرجات) (تساوي عادة فتحة حزمة الهوائي القطاعي).

$G_{vr}(x_v)$ : الكسب المرجعي النسبي للهوائي في مستوي الارتفاع باتجاه  $(0, x_v)$  المقيس (dB)

$$|\theta|/\theta_3 = x_v$$

$R$ : نسبة ضغط الكسب الأفقي لدى انزياح زاوية السمات من  $0^\circ$  إلى  $\varphi$ ، على النحو المبين أدناه:

$$(2a2) \quad R = \frac{G_{hr}(x_h) - G_{hr}(180^\circ/\varphi_3)}{G_{hr}(0) - G_{hr}(180^\circ/\varphi_3)}$$

ويرد تعريف متحولات أخرى في الفقرة 1.2 من توصي؛

1.1.1.3 يمكن حساب الكسب الأدنى النسبي (dB)،  $G_{180}$ ، كما يلي:

$$(2b1) \quad G_{180} = -12 + 10 \log(1 + 8k_p) - 15 \log\left(\frac{180^\circ}{\theta_3}\right)$$

حيث:

$k_p$ : المعلمة التي تحقق الكسب الأدنى النسبي لمخططات إشعاع الفص الجانبي الذروي

1.1.1.1.3 في حالات استخدام هوائيات نمطية ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_p$  0,7، (انظر الملاحظة 2)؛

2.1.1.1.3 في حالات استخدام هوائيات بأداء فصوص جانبية محسّن، ينبغي أيضاً أن تساوي المعلمة  $k_p$  0,7، ويسري ذلك أيضاً على هوائيات محطة قاعدة الاتصالات المتنقلة الدولية (انظر الملاحظة 2)؛

2.1.1.3 الكسب النسبي للهوائي مرجعي في مستوي السمات؛

$$(2b2) \quad \begin{array}{ll} x_h \leq 0,5 & \text{من أجل} \\ 0,5 < x_h & \text{من أجل} \end{array} \quad \begin{array}{l} G_{hr}(x_h) = -12x_h^2 \\ G_{hr}(x_h) = -12x_h^{(2-k_h)} - \lambda_{kh} \\ G_{hr}(x_h) \geq G_{180} \end{array}$$

حيث:

$k_h$ : عامل تعديل مخطط الإشعاع في السميت على أساس القدرة المتسربة ( $0 \leq k_h \leq 1$ )

$$\lambda_{kh} = 3 (1 - 0,5^{-k_h})$$

1.2.1.1.3 في حالات استخدام هوائيات نمطية ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_h$  0,8، (انظر الملاحظة 2)؛

2.2.1.1.3 في حالات استخدام هوائيات بأداء فصوص جانبية محسّن، ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_h$  0,7، ويسري ذلك أيضاً على هوائيات محطة قاعدة الاتصالات المتنقلة الدولية (انظر الملاحظة 2)؛

3.1.1.3 الكسب النسبي لهوائي مرجعي في مستوى الارتفاع:

$$(2b3) \quad \begin{array}{ll} x_v < x_k & \text{من أجل} \\ x_k \leq x_v < 4 & \text{من أجل} \\ 4 \leq x_v < 90^\circ/\theta_3 & \text{من أجل} \\ x_v \geq 90^\circ/\theta_3 & \text{من أجل} \end{array} \quad \begin{array}{l} G_{vr}(x_v) = -12x_v^2 \\ G_{vr}(x_v) = -12 + 10 \log(x_v^{-1,5} + k_v) \\ G_{vr}(x_v) = -\lambda_{kv} - C \log(x_v) \\ G_{vr}(x_v) = G_{180} \end{array}$$

حيث:

$k_v$ : عامل تعديل مخطط الإشعاع في الارتفاع على أساس القدرة المتسربة ( $0 \leq k_v \leq 1$ )

$$\sqrt{1 - 0,36 k_v} = x_k$$

$$12 - C \log(4) - 10 \log(4^{-1,5} + k_v) = \lambda_{kv}$$

ويمثل عامل الحدار التوهين  $C$  كما يلي (انظر الملاحظة 3):

$$C = \frac{10 \log \left( \frac{\left( \frac{180^\circ}{\theta_3} \right)^{1,5} \cdot (4^{-1,5} + k_v)}{1 + 8k_p} \right)}{\log \left( \frac{22,5^\circ}{\theta_3} \right)}$$

1.3.1.1.3 في حالات استخدام هوائيات نمطية ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_v$  0,7، (انظر الملاحظة 2)؛

2.3.1.1.3 في حالات استخدام هوائيات بأداء فصوص جانبية محسّن، ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_v$  0,3، ويسري ذلك أيضاً على هوائيات محطة قاعدة الاتصالات المتنقلة الدولية (انظر الملاحظة 2)؛

2.1.3 في حالة مخططات الفصوص الجانبية بالقيم المتوسطة التي تشير إليها الفقرة ج) من إذ تضع في اعتبارها، ولأغراض في تقدير التداخل إحصائياً، ينبغي استخدام المعادلات التالية لزوايا الارتفاع الواقعة بين  $90^\circ$  و  $90^\circ$  وزوايا السميت بين  $180^\circ$  و  $180^\circ$ :

$$G(\varphi, \theta) = G_0 + G_{hr}(x_h) + R \cdot G_{vr}(x_v) \quad (\text{dBi})$$



1.2.1.3 يمكن حساب الكسب الأدنى النسبي،  $G_{180}$ ، كما يلي:

$$(2c1) \quad G_{180} = -15 + 10 \log (1 + 8k_a) - 15 \log \left( \frac{180^\circ}{\theta_3} \right)$$

حيث:

$k_a$ : المعلمة التي تحقق الكسب الأدنى النسبي لمخططات إشعاع الفص الجانبي بالقيم المتوسطة

1.1.2.1.3 في حالات استخدام هوائيات نمطية ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_a$  0,7، (انظر الملاحظة 2)؛

2.1.2.1.3 في حالات استخدام هوائيات بأداء فصوص جانبية محسّن، ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_a$  0,7، ويسري ذلك أيضاً على هوائيات محطة قاعدة الاتصالات المتنقلة الدولية (انظر الملاحظة 2)؛

2.2.1.3 الكسب النسبي لهوائي مرجعي في مستوي السمات:

$$x_h \leq 0,5 \quad \text{من أجل} \quad G_{hr}(x_h) = -12x_h^2$$

$$(2c2) \quad 0,5 < x_h \quad \text{من أجل} \quad G_{hr}(x_h) = -12x_h^{(2-k_h)} - \lambda_{kh}$$

$$G_{hr}(x_h) \geq G_{180}$$

حيث:

$$\lambda_{kh} = 3 (1 - 0,5^{-k_h})$$

1.2.2.1.3 في حالات استخدام هوائيات نمطية ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_h$  0,8، (انظر الملاحظة 2)؛

2.2.2.1.3 في حالات استخدام هوائيات بأداء فصوص جانبية محسّن، ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_h$  0,7، ويسري ذلك أيضاً على هوائيات محطة قاعدة الاتصالات المتنقلة الدولية (انظر الملاحظة 2)؛

3.2.1.3 الكسب النسبي لهوائي مرجعي في مستوي الارتفاع:

$$x_v < x_k \quad \text{من أجل} \quad G_{vr}(x_v) = -12x_v^2$$

$$(2c3) \quad x_k \leq x_v < 4 \quad \text{من أجل} \quad G_{vr}(x_v) = -15 + 10 \log(x_v^{-1.5} + k_v)$$

$$4 \leq x_v < 90^\circ/\theta_3 \quad \text{من أجل} \quad G_{vr}(x_v) = -\lambda_{kv} - 3 - C \log(x_v)$$

$$x_v \geq 90^\circ/\theta_3 \quad \text{من أجل} \quad G_{vr}(x_v) = G_{180}$$

حيث:

$$x_k = \sqrt{1.33 - 0.33 k_v}$$

$$\lambda_{kv} = 12 - C \log(4) - 10 \log(4^{-1.5} + k_v)$$



ويعمّل عامل انحدار التوهين  $C$  كما يلي (انظر الملاحظة 3):

$$C = \frac{10 \log \left( \frac{\left( \frac{180^\circ}{\theta_3} \right)^{1.5} \cdot (4^{-1.5} + k_v)}{1 + 8k_a} \right)}{\log \left( \frac{22.5^\circ}{\theta_3} \right)}$$

1.3.2.1.3 في حالات استخدام هوائيات نمطية ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_v$  0,7، (انظر الملاحظة 2):

2.3.2.1.3 في حالات استخدام هوائيات بأداء فصوص جانبية محسّن، ينبغي أن تساوي المعلمة  $k_v$  0,3، ويسري ذلك أيضاً على هوائيات محطة قاعدة الاتصالات المتنقلة الدولية (انظر الملاحظة 2)؛

2.3 في مدى التردد من 6 GHz إلى حوالي 70 GHz (انظر الملحق 6):

1.2.3 في حالة مخططات الفصوص الجانبية الذروية الواردة في ب) من إذ تضع في اعتبارها ينبغي استعمال المعادلات التالية لزوايا الارتفاع الواقعة بين  $-90^\circ$  و  $90^\circ$  ولزوايا السمات ذات المدى من  $-180^\circ$  إلى  $180^\circ$ :

$$(2d1) \quad G(\varphi, \theta) = G_{ref}(x)$$

$$(2d2) \quad -90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \quad \alpha = \arctan \left( \frac{\tan \theta}{\sin \varphi} \right)$$

$$(2d3) \quad \psi_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\cos \alpha}{\varphi_3} \right)^2 + \left( \frac{\sin \alpha}{\theta_3} \right)^2}} \quad \text{for } 0^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$$

$$\psi_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\cos \theta}{\varphi_{3m}} \right)^2 + \left( \frac{\sin \theta}{\theta_3} \right)^2}} \quad \text{for } 90^\circ < \psi \leq 180^\circ$$

$$(2d4) \quad \psi = \arccos(\cos \phi \cos \theta), \quad 0^\circ \leq \psi \leq 180^\circ$$

$$(2d5) \quad x = \psi / \psi_\alpha$$

حيث:

$\varphi_{3m}$ : عرض الحزمة المكافئ لنسبة 3 dB في مستوى السمات لتعديل قيم الكسب الأفقي (بالدرجات)؛

$$(2d6) \quad \varphi_{3m} = \varphi_3 \quad \text{for } 0^\circ \leq |\varphi| \leq \varphi_{th}$$

$$(2d7) \quad \varphi_{3m} = \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\cos \left( \frac{|\varphi| - \varphi_{th}}{180 - \varphi_{th}} \cdot 90 \right)}{\varphi_3} \right)^2 + \left( \frac{\sin \left( \frac{|\varphi| - \varphi_{th}}{180 - \varphi_{th}} \cdot 90 \right)}{\theta_3} \right)^2}} \quad \text{for } \varphi_{th} < |\varphi| \leq 180^\circ$$

$\varphi_{th}$ : زاوية السمّت الحدية (بالدرجات)

$$\varphi_{th} = \varphi_3$$

ويرد تعريف متحوّلات ومعلّمات أخرى في الفقرتين 1.2 و 1.1.3 من توصي؛

$$(2e) \quad 0 \leq x < 1 \quad \text{من أجل} \quad G_{ref}(x) = G_0 - 12x^2$$

$$1 \leq x \quad \text{من أجل} \quad G_{ref}(x) = G_0 - 12 - 15 \log(x)$$

2.2.3 في حالة مخططات الفصوص الجانبية بالقيم المتوسطة التي تشير إليها الفقرة ج) من إذ تضع في اعتبارها، ولأغراض في تقدير التداخل إحصائياً، ينبغي استخدام المعادلات التالية لزوايا الارتفاع الواقعة بين  $-90^\circ$  و  $90^\circ$  وزوايا السمّت بين  $-180^\circ$  و  $180^\circ$  (انظر الملاحظة 4):

$$(2f) \quad 0 \leq x < 1,152 \quad \text{من أجل} \quad G_{ref}(x) = G_0 - 12x^2$$

$$1,152 \leq x \quad \text{من أجل} \quad G_{ref}(x) = G_0 - 15 - 15 \log(x)$$

في هذه الحالة، على غرار  $\varphi_{th}$  في المعادلتين (2d6) و (2d7)،  $\varphi_{th} = 1,152\varphi_3$ .

3.3 في حالات استخدام الهوائيات القطاعية بفتحة حزمة قدرها 3 dB في مستوي السمّت الأقل من  $120^\circ$  تقريباً، تكون العلاقة بين الكسب الأقصى وفتحة الحزمة 3 dB في كل من مستوي السمّت ومستوي الارتفاع مؤقتاً كالتالي (انظر الملحق 2 والملاحظتين 5 و 6):

$$(3a) \quad \theta_3 = \frac{31\,000 \times 10^{-0,1G_0}}{\varphi_3}$$

حيث جميع المعلّمات محددة في الفقرة 1.3 من توصي؛

4.3 في الحالات التي تعمل فيها الهوائيات، المذكورة في الفقرتين 1.3 و 2.3 من توصي، بميل ميكانيكي نحو الأسفل، تصح جميع المعادلات فيهما مع تعاريف وإعادة تعاريف المتحوّلات التالية (انظر الفقرة 2 من الملحق 5):

$\theta$ : زاوية الارتفاع (بالدرجات) المقيسة من المستوي المحدّد بمحور الكسب الأقصى للهوائي والمحور الذي يميل حوله مخطط الإشعاع (وتقاس الزاوية  $\theta_3$  من هذا المستوي أيضاً)

$\varphi$ : زاوية السمّت (بالدرجات) المقيسة من سمّت الكسب الأقصى في المستوي المحدّد بمحور الكسب الأقصى للهوائي والمحور الذي يميل حوله مخطط الإشعاع

$\theta_h$ : زاوية الارتفاع (بالدرجات) المقيسة من المستوي الأفقي في موقع الهوائي ( $90^\circ \geq \theta_h \geq -90^\circ$ )

$\varphi_h$ : زاوية السمّت (بالدرجات) في المستوي الأفقي بموقع الهوائي المقيسة من سمّت الكسب الأقصى ( $180^\circ \geq \varphi_h \geq -180^\circ$ )

$\beta$ : زاوية الميل نحو الأسفل، وهي الزاوية الموجبة (بالدرجات) التي ينحدر بها محور الحزمة الرئيسية تحت المستوي الأفقي في موقع الهوائي.

وترتبط هذه المتحوّلات فيما بينها كما يلي:

$$(3b) \quad \theta = \arcsin(\sin \theta_h \cos \beta + \cos \theta_h \cos \varphi_h \sin \beta), \quad -90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

$$(3c) \quad 0^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ, \quad \varphi = \arccos\left(\frac{(-\sin \theta_h \sin \beta + \cos \theta_h \cos \varphi_h \cos \beta)}{\cos \theta}\right)$$

5.3 في الحالات التي تعمل فيها الهوائيات، المذكورة في الفقرتين 1.3 و 2.3 من توصي، بميل كهربائي نحو الأسفل، يُحسب كسب الإشعاع المائل كهربائياً عند الزاوية  $\theta_h$  أيضاً باستخدام الزاوية  $\theta_e$  الواردة ضمن المعادلة (1e) في الفقرة 5.2 من توصي بدلاً من  $\theta$  في الفقرتين 1.3 و 2.3 من توصي، على التوالي؛

4 بأن تستعمل في مدى التردد الممتد من 1 GHz إلى حوالي 3 GHz، مخططات الإشعاع المرجعية التالية في المحطات التي تستخدم هوائيات منخفضة الكسب بتناظر دائري نسبة إلى فتحة الحزمة 3 dB وكسب هوائي في الفص الرئيسي أقل من 20 dBi تقريباً؛ انظر التوصية ITU-R F.699 من أجل الحالات التي يكون فيها كسب الهوائي فوق 20 dBi.

1.4 ينبغي استعمال المعادلات التالية في مخططات الفصوص الجانبية بقيم الذروة الواردة في الفقرة ب) من إذ تضع في اعتبارها (انظر الملاحظة 7):

$$(4) \quad G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 \left( \frac{\theta}{\phi_3} \right)^2 & \text{for } 0 \leq \theta < 1,08 \phi_3 \\ G_0 - 14 & \text{for } 1,08 \phi_3 \leq \theta < \phi_1 \\ G_0 - 14 - 32 \log \left( \frac{\theta}{\phi_1} \right) & \text{for } \phi_1 \leq \theta < \phi_2 \\ -8 & \text{for } \phi_2 \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases}$$

حيث:

$G(\theta)$ : الكسب نسبة إلى هوائي متاح (dBi)

$G_0$ : كسب الهوائي في الفص الجانبي (dBi)

$\theta$ : زاوية خارج المحور (بالدرجات) ( $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ )

$\phi_3$ : فتحة الحزمة 3 dB في السميت وعند الارتفاع هوائي منخفض الكسب (بالدرجات):

$$= \sqrt{27000 \times 10^{-0,1 G_0}} \quad (\text{بالدرجات})$$

$\phi_1$ : 1,9  $\phi_3$  (بالدرجات)

$\phi_2$ :  $10 \times \phi_1^{32/(G_0-6)}$  (بالدرجات)؛

2.4 بأن تستعمل في حالة مخططات الفصوص الجانبية بالقيم المتوسطة المشار إليها في الفقرة ج) من إذ تضع في اعتبارها، المخطط الهوائي الوارد في التوصية ITU-R F.1245؛

5 بأن تعتبر الملاحظات التالية جزءاً أساسياً من هذه التوصية:

الملاحظة 1 - من الضروري بذل قصارى الجهد لاستعمال المخطط الهوائي الفعلي في دراسات التنسيق وتقدير التداخل.

الملاحظة 2 - استندت قيم المعلمات  $k_h$  و  $k_v$  و  $k_a$  و  $k_p$  في الفقرة 1.3 من توصي إلى بيانات إحصائية مشتقة من العديد من مخططات إشعاع الهوائي القطاعي المقيسة في مدى التردد بين 700 MHz و 6 GHz تقريباً.

الملاحظة 3 - لا يمكن تطبيق صيغة حساب عامل الانحدار C إلا فيما يخص فتحة حزمة تبلغ 3 dB في مستوى الارتفاع أقل من 20 درجة.

الملاحظة 4 - تبين نتائج قياس هوائي قطاعي مصمم خصيصاً للاستعمال في التردد 20 GHz تقريباً أنه من الممكن الامتثال لمخطط مرجعي أكثر صرامة لإشعاع الفصوص الجانبية أكثر. ويتطلب تطوير مخطط مستمثل من هذا القبيل مزيداً من الدراسة.

الملاحظة 5 - في الحالة التي تتضمن هوائي معروف سلفاً عرض حزمته عند 3 dB في مستوى الارتفاع أو مستوي السميت، يوصى باستعمال الزاوية  $\theta_3$  المعروفة أو  $\phi_3$ ، كمعلمة مدخلة.

الملاحظة 6 - تم استبدال عامل القوة بواحد، كما ورد في الملحق 2. ونتيجة لذلك يكون الخطأ النظري الذي تسببه العملية التقريبية أقل من 6% لفتحات الحزم 3 dB في المستوي الشاقولي التي تقل عن 45 درجة.

**الملاحظة 7** - ينطبق أساساً مخطط الإشعاع المرجعي الوارد في الفقرة 1.4 من "توصي" على الحالات التي لا يتجاوز فيها كسب الهوائي في الفص الرئيسي 20 dBi، وقد يعطي استعمال التوصية ITU-R F.699 في بعض الحالات نتائج غير وافية. أما تحديد المدى الكامل للترددات والكسب حيث تستخدم المعادلات، فيتطلب مزيداً من الدراسة.

## الملحق 1

### مخطط الإشعاع المرجعي للهوائيات شاملة الاتجاهات كما تستعمل في الأنظمة اللاسلكية الثابتة من نقطة إلى عدة نقاط

#### 1 مقدمة

يستعمل عادة الهوائي شامل الاتجاهات لإرسال الإشارات واستقبالها في المحطات المركزية للأنظمة اللاسلكية الثابتة من نقطة إلى عدة نقاط. واستعملت الدراسات التي تشتمل على التشارك بين هذه المخططات إشعاع للأنظمة اللاسلكية الثابتة وأنظمة الخدمة الفضائية في النطاق 2 GHz مخطط الإشعاع المرجعي الوارد هنا.

#### 2 التحليل

يعتمد مخطط الإشعاع المرجعي على الافتراضات التالية بشأن الهوائي شامل الاتجاهات:

- أن الهوائي صفيح خطي مؤلف من  $n$  عنصراً يشع بأسلوب إشعاع عرضي؛
- يفترض أن عناصر الصفيح ثنائية الأقطاب؛
- أن مباعدة عناصر الصفيح  $3\lambda/4$ .

ترتبط فتحة الحزمة 3 dB،  $\rho_3$  (بالدرجات)، للصفيح في مستوى الارتفاع بالاتجاهية  $D$ ، حيث تكون الاتجاهية هي نسبة كثافة إشعاع الهوائي في اتجاه معين إلى كثافة الإشعاع المتوسطة في جميع الاتجاهات، (انظر الملحق 2 لمزيد من المعلومات):

$$(5a) \quad D = 10 \log \left[ 191,0 \sqrt{0,818 + 1/\theta_3} - 172,4 \right] \quad \text{dBi}$$

يمكن حل المعادلة (5a) للقيمة  $\rho_3$  عند معرفة الاتجاهية:

$$(5b) \quad \theta_3 = \frac{1}{\alpha^2 - 0,818}$$

$$(5c) \quad \alpha = \frac{10^{0,1D} + 172,4}{191,0}$$

استنتجت العلاقة بين فتحة الحزمة 3 dB في المستوي الشاقولي والاتجاهية بافتراض التقريب المناسب لمخطط الإشعاع في المستوي الشاقولي بالمعادلة التالية:

$$f(\theta) = \cos^m(\theta)$$

حيث  $m$  معلمة اعتبارية، استعملت للربط بين فتحة الحزمة 3 dB ومخطط الإشعاع في مستوى الارتفاع. عند فتحة الحزمة 3 dB، يساوي الكسب الرقمي  $f(\theta)$  0,5، وبالتالي، يمكن حساب المعادلة والأس  $m$  أعلاه كالتالي:

$$f\left(\frac{1}{2}\theta_{3db}\right) = \cos^m\left(\frac{1}{2}\theta_{3db}\right) = 0,5$$

و

$$m = \frac{10 \log 0,5}{10 \log \left(\cos \frac{1}{2}\theta_{3db}\right)} = \frac{-3}{10 \log \left(\cos \frac{1}{2}\theta_{3db}\right)}$$

وباستعمال هذا التقريب تم الحصول على الاتجاهية بدمج المخطط في المستويين الشاقولي والسمت. توضح المعادلة التالية كثافة المجال البعيد لصفيف خطي من الهوائيات:

$$(6) \quad E_T(\theta) = E_e(\theta) \cdot AF(\theta)$$

حيث:

$E_T(\theta)$ : كامل المجال  $E$  لزاوية  $\theta$  في المستوى العادي لمحور الشبكة

$E_e(\theta)$ : المجال  $E$  لزاوية  $\theta$  في المستوى العادي لمحور الشبكة بسبب عنصر وحيد من الشبكة

$AF(\theta)$ : عامل الصفيف لزاوية  $\theta$  في المستوى العادي لمحور الشبكة.

يكون المجال  $E$  المقيس لعنصر ثنائي القطب:

$$(7) \quad E_e(\theta) = \cos(\theta)$$

يكون عامل الصفيف:

$$(8) \quad AF_N = \frac{1}{N} \left[ \frac{\sin\left(N \frac{\Psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)} \right]$$

حيث:

$N$ : عدد العناصر في الصفيف

$$\frac{\Psi}{2} = \frac{1}{2} \left[ 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta \right]$$

$d$ : المبعادة بين المشعاعات

$\lambda$ : طول الموجة.

وقد استعمل الإجراء التالي لتقدير عدد العناصر  $N$ ، في الصفيف. ويفترض أن أقصى كسب للصفيف يطابق اتجاهية الصفيف.

- يستعمل أقصى كسب للهوائي شامل الاتجاهات في مستوى الارتفاع لحساب عرض الحزمة 3 dB،  $\theta_3$ ، بالمعادلتين (5b) و(5c)؛

- يهمل الكسب الضئيل في الكسب خارج المحور الناتج عن العنصر ثنائي القطب، ويراعى أن قيمة عامل الصفيف  $AF_N$

$$\text{تكون } 0,707 \text{ (-3 dB) عندما تكون القيمة } N \frac{\Psi}{2} = 1,396$$

وتحدد قيمة  $N$  عندئذ بعدد صحيح، في المعادلة التالية:

$$(9) \quad N = \left\lceil \frac{2 \times 1,3916}{2\pi \frac{d}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta_3}{2}\right)} \right\rceil$$

حيث  $|x|$  أكبر قيمة صحيحة لا تتجاوز  $x$ .

التمييز خارج المحور المقيس  $\Delta D$  بالمعادلة التالية:

$$(10) \quad \Delta D = 20 \log \left[ |AF_N \times \cos(\theta)| \right] \quad \text{dB}$$

قيمت المعادلة (10) بدلالة الزاوية خارج المحور (أي زاوية الارتفاع) لعدة قيم لأقصى كسب. ونتج بالنسبة إلى القيم في المدى من 8 إلى 13 dBi أنه يمكن التقريب المناسب لغللاف مخطط الإشعاع في مستوى الارتفاع بالمعادلات التالية:

$$(11a) \quad G(\theta) = \max [G_1(\theta), G_2(\theta)]$$

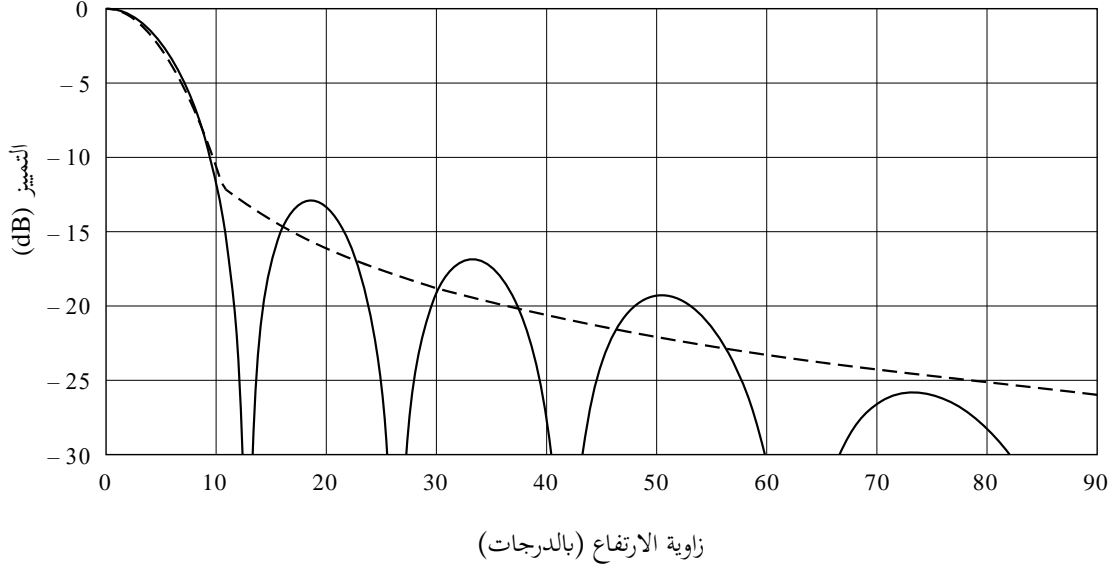
$$(11b) \quad G_1(\theta) = G_0 - 12 \left( \frac{\theta}{\theta_3} \right)^2 \quad \text{dBi}$$

$$(11c) \quad G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[ \left( \max \left\{ \frac{|\theta|}{\theta_3}, 1 \right\} \right)^{-1,5} + k \right] \quad \text{dBi}$$

حيث  $k$  هي المعلمة التي تعرف زيادة سويات الفص الجانبي عن المستوى المتوقع بالنسبة إلى هوائي ذي خصائص فصوص جانبية محسنة. تقارن الأشكال من 1 إلى 4 أغلفة الإشعاع المرجعي مع مخططات الهوائي النظرية المولدة من المعادلة (11) للكسب من 8 dBi إلى 13 dBi باستعمال العامل  $k = 0$ . وتقارن الأشكال من 5 إلى 8 أغلفة الإشعاع المرجعية مع مخططات الهوائي المقاسة باستعمال العامل  $k = 0$ . ويتضح من الشكلين 7 و 8 أن الفصوص الجانبية تكون أدنى بحوالي 15 dB أو أكثر من سوية الفص الرئيسي، مما يسمح بنسبة مئوية صغيرة من ذروات الفص الجانبي أن تتعدى هذه القيمة. إلا أن العوامل العملية مثل استعمال كهرباء الميل إلى الأسفل وتدهور المخطط وحواف النطاق وتنوع الإنتاج ستزيد الفصوص الجانبية إلى حوالي 10 dB تحت مستوى الفص الرئيسي في التركيبات الفعلية. ويهدف العامل  $k$  المذكور أعلاه في المعادلة (11) إلى تمييز التنوع في سويات الفص الجانبي. ويقدم الشكلان 9 و 10 مقارنة هوائي بكسب 10 و 13 dBi عند تردد 2,4 GHz مع غلاف مخطط الإشعاع المرجعي، بالقيمة  $k = 0,5$ . ويمثل العامل  $k = 0,5$  سويات الفص الجانبي الواقعة تحت ذروة الفص الرئيسي بحوالي 15 dB. ويجب استعمال العامل  $k = 0,7$  للهوائيات النمطية لمراعاة الزيادات الإضافية في سويات الفص الجانبي للتركيبات الخدمة، مما يمثل سويات للفص الجانبي تحت سوية الفص الرئيسي بحوالي 13,5 dB. وأخيراً يوضح الشكلان 11 و 12 أثر استعمال عدة قيم  $k$ ، على مخططات المستوي الشاقولي.

## الشكل 1

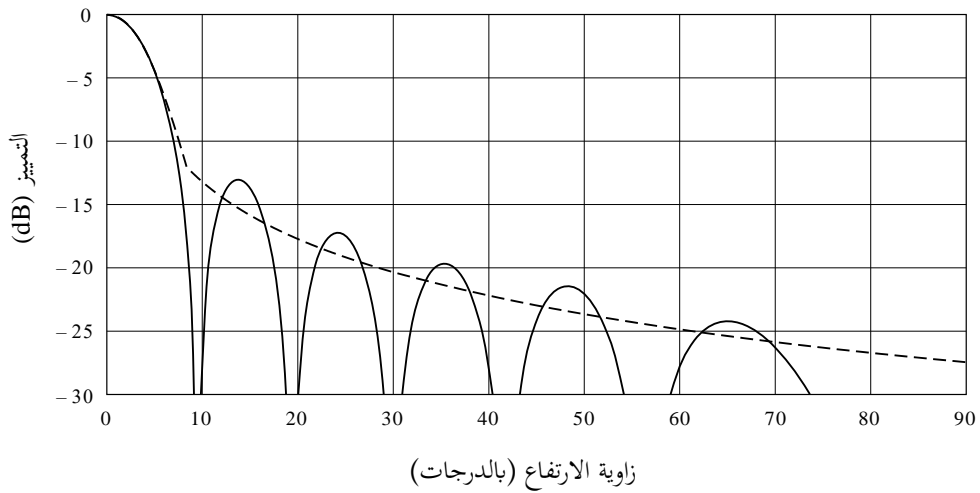
مخطط الإشعاع المقيس لصفيف خطي لعناصر ثنائية القطب  
بالمقارنة مع الغلاف التقريبي لمخطط الإشعاع  
 $0 = k, \text{dBi } 10 = G_0$



F1336-01

## الشكل 2

مخطط الإشعاع المقيس لصفيف خطي لعناصر ثنائية القطب  
بالمقارنة مع الغلاف التقريبي لمخطط الإشعاع  
 $0 = k, \text{dBi } 11 = G_0$



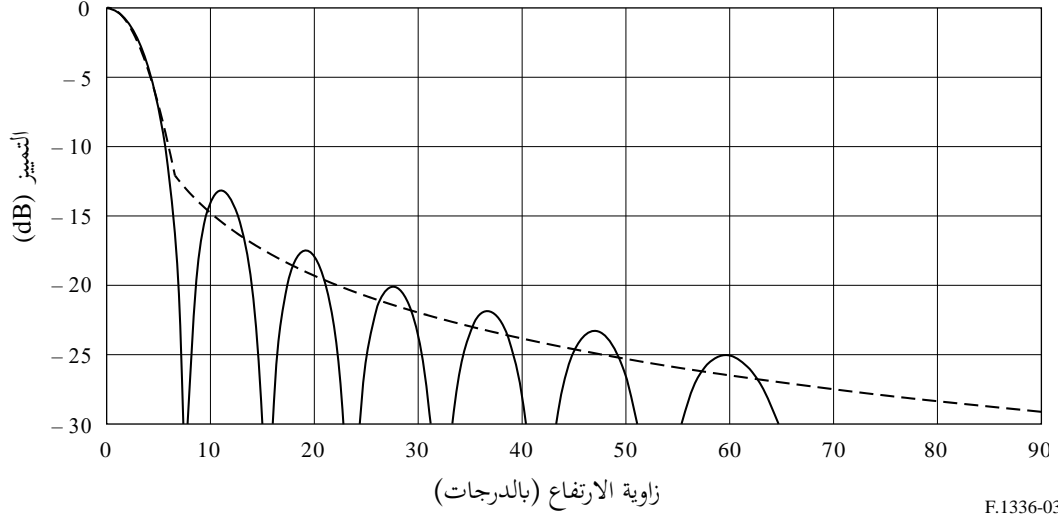
F1336-02



الشكل 3

مخطط الإشعاع المقيس لصفيف خطي لعناصر ثنائية القطب  
بالمقارنة مع الغلاف التقريبي لمخطط الإشعاع

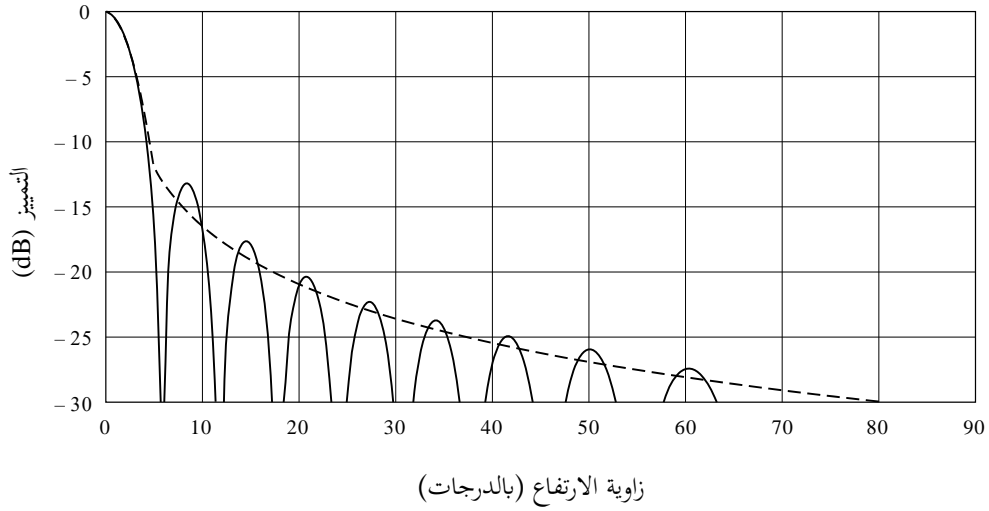
$$0 = k, \text{dBi } 12 = G_0$$



الشكل 4

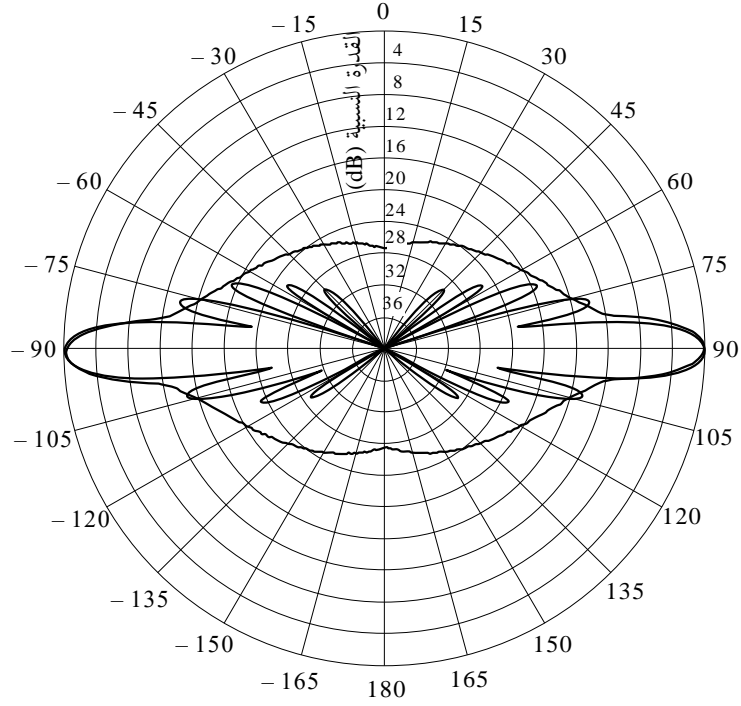
مخطط الإشعاع المقيس لصفيف خطي لعناصر ثنائية القطب  
بالمقارنة مع الغلاف التقريبي لمخطط الإشعاع

$$0 = k, \text{dBi } 13 = G_0$$



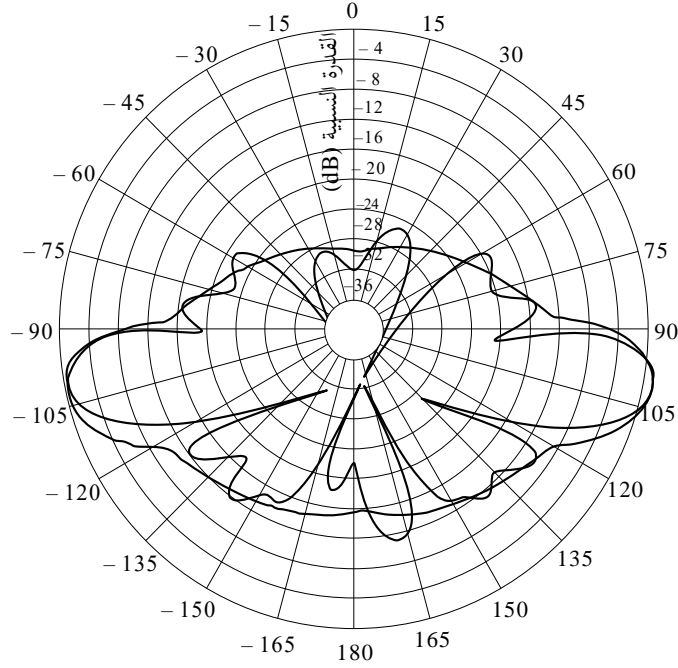
## الشكل 5

مقارنة مخطط الإشعاع المقاس وغللاف مخطط الإشعاع المرجعي لهوائي شامل الاتجاهات  
بكسب 11 dBi يعمل في النطاق 944-928 MHz،  $0 = k$



الشكل 6

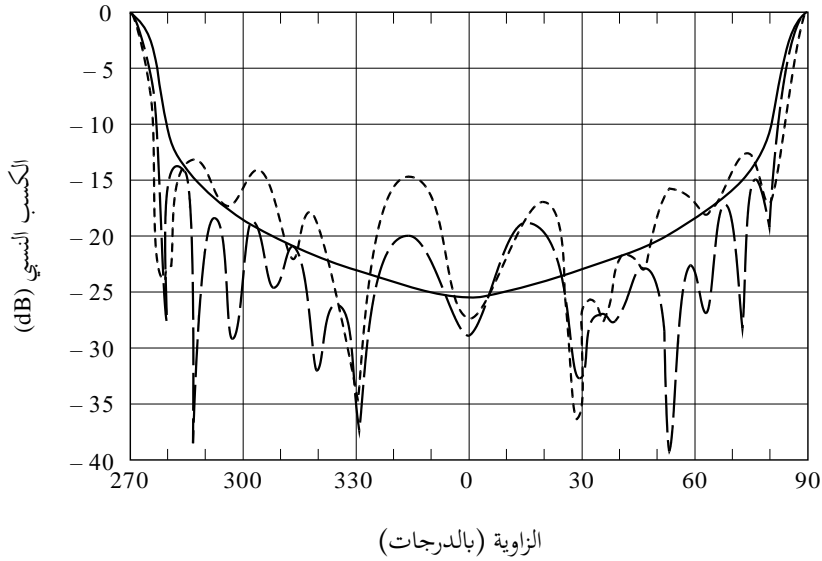
مقارنة مخطط الإشعاع المقاس وغللاف مخطط الإشعاع المرجعي هوائي شامل الاتجاهات بكسب 8 dBi يعمل في النطاق 1 990-1 850 MHz ،  $k = 0$



F.1336-06

الشكل 7

مقارنة المخطط المقاس وغللاف مخطط الإشعاع المرجعي بالقيمة  $k = 0$  هوائي شامل الاتجاهات بكسب 10 dBi يعمل في النطاق 1,4 GHz

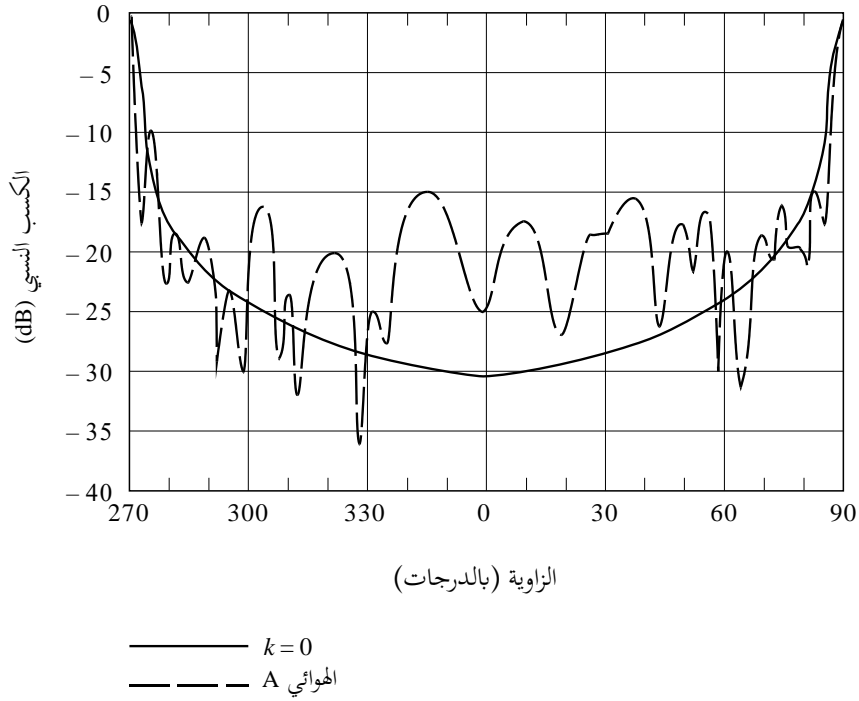


—————  $k = 0$   
 - - - - - الهوائي A  
 . . . . . الهوائي B

F.1336-07

الشكل 8

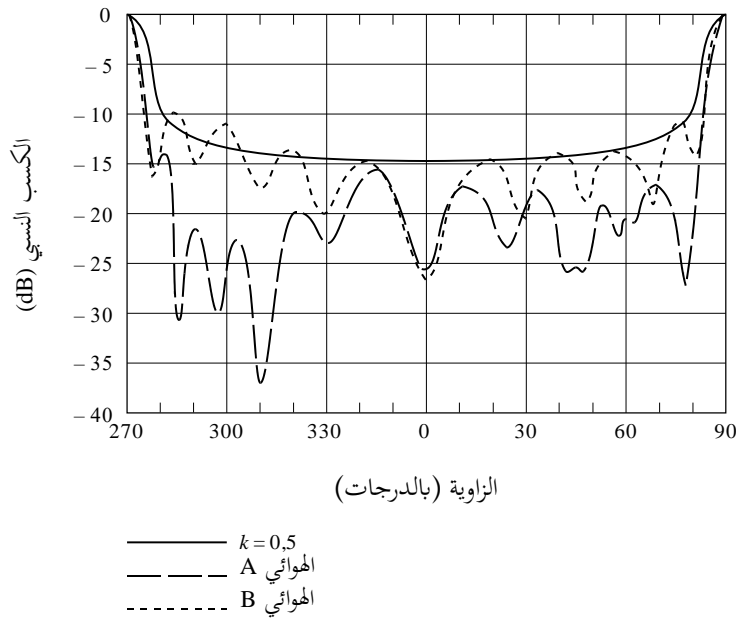
مقارنة المخطط المقاس وغلاف مخطط الإشعاع المرجعي بالقيمة  $k = 0$   
هوائي شامل الاتجاهات بكسب 13 dBi يعمل في النطاق 1,4 GHz



F.1336-08

الشكل 9

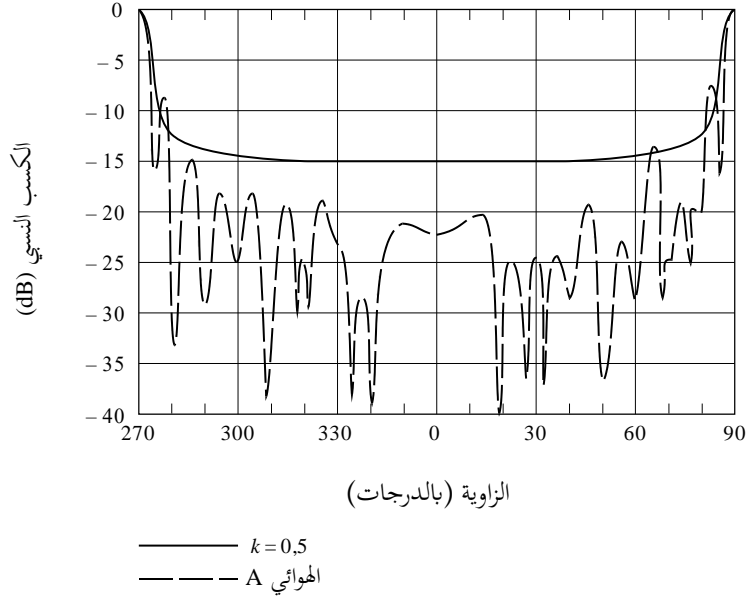
مقارنة المخطط المقاس وغلاف مخطط الإشعاع المرجعي بالقيمة  $k = 0,5$   
هوائي شامل الاتجاهات بكسب 10 dBi يعمل في النطاق 2,4 GHz



F.1336-09

الشكل 10

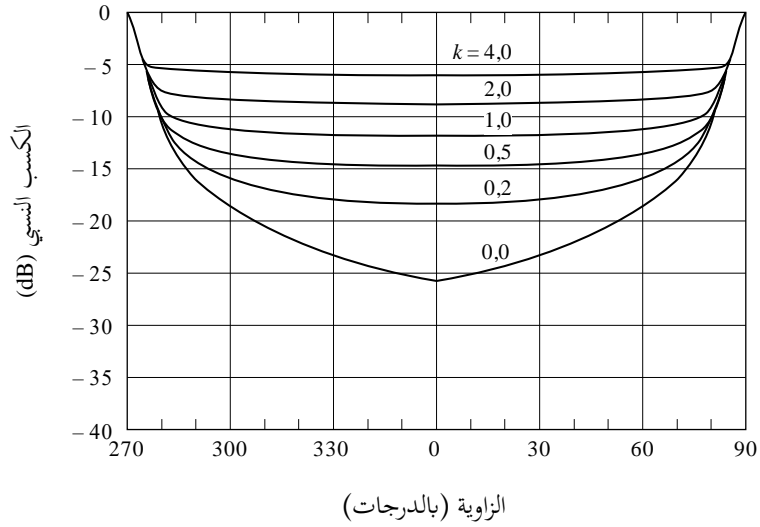
مقارنة المخطط المقاس وغلاف مخطط الإشعاع المرجعي بالقيمة  $k = 0,5$   
هوائي شامل الاتجاهات بكسب 13 dBi يعمل في النطاق 2,4 GHz



F.1336-10

الشكل 11

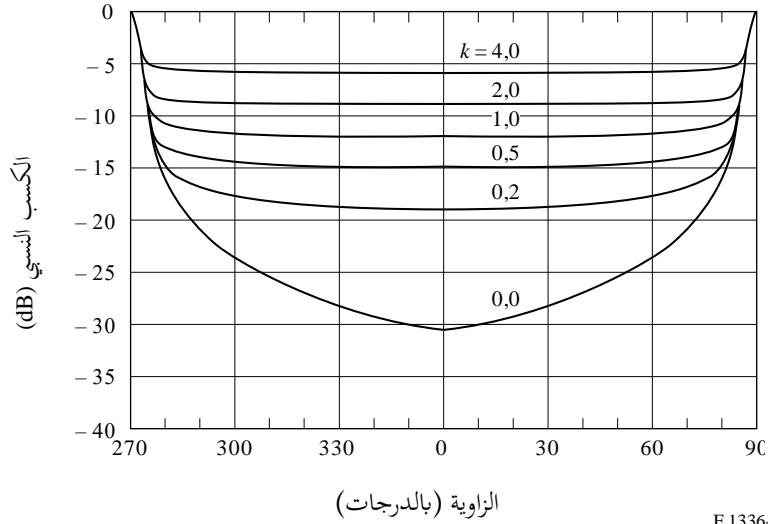
أغلفة مخطط الإشعاع المرجعي لمختلف قيم  $k$   
هوائي شامل الاتجاهات بكسب 10 dBi



F.1336-11

## الشكل 12

أغلفة مخطط الإشعاع المرجعي لمختلف قيم  $k$   
هوائي شامل الاتجاهات بكسب 13 dBi



F.1336-12

بالنسبة لهوائي بأداء فصوص جانبية محسّن،  $k=0$ ، يقارن الشكل 13 مخطط الارتفاع المقيس للهوائي شامل الاتجاهات  
MT-482016 عند 5,8 GHz بكسب قدره 9,4 dBi (=8,7) والمعادلة الواردة في الفقرة 1.2 من "توصي" (المعادلة 1a):

$$\cdot \frac{107,6}{8,7} = 12,4^0 = \theta_3 = 107,6 \times 10^{-0,1 G_0}$$

الشكل 13

مخطط الارتفاع المقيس مقابل غلاف مخطط الإشعاع المرجعي  
فيما يتعلق بهوائي شامل الاتجاهات (في السمات)، بكسب قدره 9,4 dBi



### 3 الملخص والخلاصة وتحليل إضافي

تم تقديم مخطط إشعاع مرجعي يتعلق بالهوائيات شاملة الاتجاهات ذات الكسب من 8 إلى 13 dBi. واستنتج مخطط الإشعاع المرجعي على أساس اعتبارات نظرية لمخطط إشعاع صفيح خطي مشترك ثنائي القطب. وأثبت أن المخطط المقترح يمثل المخططات النظرية والمخططات المقاسة على مدى يمتد من 8 إلى 13 dBi. ويلزم المزيد من الجهد لتحديد مدى الكسب الذي يتناسب عليه مخطط الإشعاع المرجعي خاصة بالنسبة إلى الهوائيات التي تعمل في نطاقات تردد فوق 3 GHz.



## الملحق 2

## العلاقة بين الكسب وفتحة الحزمة في الهوائيات شاملة الاتجاهات والهوائيات القطاعية

## 1 مقدمة

يهدف هذا الملحق إلى استنتاج العلاقة بين كسب الهوائيات شاملة الاتجاهات والقطاعية وبين فتحة حزمها في مستوى السمات والمستوي الشاقولي. ويضم القسم 2 تحليلاً لاتجاهية الهوائيات شاملة الاتجاهات والقطاعية بافتراض دالتين مختلفتين لكثافة الإشعاع في مستوى السمات. وفي كلتا الحالتين تم افتراض أن كثافة الإشعاع في المستوى الشاقولي هي دالة أسية. ويعقد القسم 3 مقارنة بين نتائج فتحة الحزمة ونتائج الكسب التي نتجت عن استعمال الطرائق الواردة في الفقرة 2 والنتائج التي تضمنها النسخة السابقة من هذه التوصية بشأن الهوائيات شاملة الاتجاهات. ويلخص القسم 4 النتائج ويقترح معادلة مؤقتة للعلاقة بين الكسب وفتحة الحزمة في الهوائيات شاملة الاتجاهات والقطاعية. كما يقترح مواضيع أخرى للدراسة.

## 2 التحليل

يفترض أن مخطط المجال البعيد للهوائي القطاعي في المستوى الشاقولي مطابق للدالة الأسية وأن مخطط المجال البعيد في مستوى السمات مطابق إما لدالة التعامد أو للدالة الأسية. وبهذه الفرضيات يمكن استنتاج اتجاهية الهوائي القطاعي  $D$  استناداً إلى الصيغة التالية (في الإحداثيات الكروية):

$$(12) \quad D = \frac{U_M}{U_0}$$

$$(13) \quad U_0 = \frac{1}{4\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} F(\varphi) F(\theta) \cos(\theta) d\theta d\varphi$$

حيث:

- $U_M$ : أقصى كثافة للإشعاع
- $U_0$ : كثافة إشعاع بالنسبة إلى مصدر متناح
- $\varphi$ : زاوية في مستوى السمات
- $\theta$ : زاوية في المستوى الشاقولي
- $F(\varphi)$ : كثافة الإشعاع في مستوى السمات
- $F(\theta)$ : كثافة الإشعاع في المستوى الشاقولي.

وتقييم اتجاهية الهوائي شامل الاتجاه والهوائي القطاعي في القطع الفرعية التالية على افتراض أن كثافة الإشعاع في مستوى السمات هي إما دالة تعامد أو دالة أسية.

## 1.2 كثافة إشعاع هوائي قطاعي بدالة تعامد

يفترض أن تكون دالة الكثافة  $F(\varphi)$ ، للإشعاع الهوائي القطاعي ذي الدالة المتعامدة كالتالي:

$$(14) \quad F(\varphi) = U \left( \frac{\varphi_s}{2} - |\varphi| \right)$$

حيث:

$\varphi_s$ : فتحة حزمة القطاع

$$(15) \quad U(x) = 1 \quad \text{من أجل } x \geq 0$$

$$U(x) = 0 \quad \text{من أجل } x < 0$$

وفيما يخص الدالة المتعامدة أو الأسية لكثافة الإشعاع في هوائي قطاعي، يفترض أن تعطي كثافة الإشعاع في المستوي الشاقولي في المعادلة:

$$(16) \quad F(\theta) = e^{-a^2\theta^2}$$

حيث:

$$(17) \quad a^2 = -\ln(0,5) \times \left( \frac{2}{\theta_3} \right)^2 = \frac{2,773}{\theta_3^2}$$

$\theta_3$ : فتحة حزمة قدرها 3 dB لهوائي في المستوي الشاقولي (بالدرجات).

وينتج عن استبدال المعادلتين (14) و(16) بالمعادلة (13) ما يلي:

$$(18) \quad U_0 = \frac{1}{4\pi} \int_{-\pi}^{\pi} U \left( \frac{\varphi_s}{2} - |\varphi| \right) d\varphi \int_{-\pi/2}^{\pi/2} e^{-a^2\theta^2} \cos(\theta) d\theta$$

ويمكن حل هذا التكامل المضاعف لحساب ناتج تكاملين منفصلين. ويتم حساب التكامل في الزاوية  $\varphi$  بطريقة مباشرة. لكن حساب التكامل في الزاوية  $\theta$  أكثر صعوبة. ويمكن حساب تكامل الزاوية  $\theta$  رقمياً وتقديم النتائج في جدول أو معادلات متعددة الحدود تناسب والمعطيات. غير أنه يلاحظ أنه إذا تغيرت حدود التكاملية لتصبح  $\pm \infty$  فإن التكامل في الزاوية  $\theta$  ينتج من المعادلة المغلقة التالية:

$$(19) \quad \int_{-\pi/2}^{\pi/2} e^{-a^2\theta^2} \cos(\theta) d\theta \approx \int_{-\infty}^{\infty} e^{-a^2\theta^2} \cos(\theta) d\theta = \frac{1}{a} \sqrt{\pi} e^{-1/4a^2}$$

وهذه صيغة بسيطة ومرنة نوعاً ما قد تكون إذا حافظت على دقتها ذات فائدة كبيرة في حساب اتجاهية الهوائيات القطاعية والهوائيات شاملة الاتجاهات على حدٍ سواء.

وحسبت الدقة التي يقترب فيها التكامل اللامتناهي من التكامل المنتهائي. وحسب التكامل المنتهائي أي تكامل الجهة اليسرى من المعادلة (19) بالنسبة إلى عدة قيم لفتحة الحزمة البالغة 3 dB باستعمال طريقة التربيع الغوسي في 24 نقطة وبمقارنتها مع القيمة التي تستخدم الصيغة المناظرة للتكامل اللامتناهي في الجهة اليمنى من المعادلة (19). (حسب التكامل المنتهائي بالحقيقة بسبب تناظرته وبطريقة رقمية في المدى  $0 - \pi/2$  وتمت مضاعفة النتيجة). ويبين الجدول 1 نتائج الأمثلة لعدد من قيم فتحة الحزمة 3 dB في المستوي الشاقولي. ويبين الجدول أنه فيما يخص فتحة حزمة 3 dB زاويتها 45° يقل الفرق بين القيم الناتجة عن التكامل المنتهائي والتكامل اللامتناهي عن 0,03%. أما بالنسبة إلى الفتحات بزوايا 25° أو أقل فإن الخطأ أساساً معدوم. وتحسب المعادلة (18) الآن بسهولة على النحو التالي:

$$(20) \quad U_0 = \frac{\varphi_s \theta_3}{4\pi} \sqrt{\frac{\pi}{2,773}} \times e^{\frac{\theta_3^2}{11,09}}$$

الجدول 1

الدقة النسبية للتكامل اللامتناهي في المعادلة (19)  
في حساب متوسط كثافة الإشعاع

الخطأ النسبي (%)	تكامل لا متناه	تكامل متناه	فتحة حزمة قدرها 3 dB في المستوي الشاقولي (درجة)
0,0298	1,116116449	1,116449558	45
0,0000	0,67747088	0,67747088	25
0,0000	0,549744213	0,549744213	20
0,0000	0,416896869	0,416896869	15
0,0000	0,280137168	0,280137168	10
0,0000	0,140734558	0,140734555	5

وينتج عن المعادلتين (14) و(16) أن  $U_M = 1$ . وباستبدال هذه القيم والمعادلة (20) في المعادلة (12) تنتج اتجاهية الهوائي القطاعي ذي فتحة الحزمة المعطاة في المستوي الشاقولي ومستوي السميت في العلاقة التالية:

$$(21) \quad D = \frac{11,805}{\varphi_s \theta_3} e^{\frac{\theta_3^2}{11,09}}$$

حيث يعبر عن الزوايا بالراديان. أما عندما يعبر عنها بالدرجات فإن المعادلة (21) تصبح كالتالي:

$$(22) \quad D = \frac{38\,750}{\varphi_s \theta_3} e^{\frac{\theta_3^2}{36\,400}}$$

يلاحظ أنه فيما يتعلق بهوائي شامل الاتجاه تُختزل المعادلة (22) لتصبح:

$$(23a) \quad D = \frac{107,64}{\theta_3} e^{\frac{\theta_3^2}{36\,400}}$$

وبافتراض أن كفاءة إشعاع الهوائي 100 % وأن خسارته لا تذكر، يكون كسب الهوائي شامل الاتجاه،  $10^{0,1G_0}$ ، واتجاهيته،  $D$ ، متساويين. وعلاوة على ذلك وفيما يخص هوائيات شاملة الاتجاهات ذات فتحة حزمة 3 dB في اتجاه الارتفاع تبلغ 45° ويمكن تبسيط العلاقة بين الكسب وفتحة الحزمة هذه في المستوي الشاقولي من خلال وضع عامل أسّي قدره واحد. وتكون نسبة الخطأ الناتج عندئذ أقل من 6 %.

$$(23b) \quad 10^{0,1G_0} \approx \frac{107,64}{\theta_3}$$

## 2.2 كثافة إشعاع هوائي قطاعي بدالة أسية

الحالة الثانية في دراسة كثافة الإشعاع لهوائي قطاعي هي حالة الدالة الأسية. وخاصة ما يلي:

$$(24) \quad F(\varphi) = e^{-b^2\varphi^2}$$

حيث:

$$(25) \quad b^2 = -\ln(0,5) \times \left( \frac{2}{\varphi_s} \right)^2$$

والزاوية  $\varphi_s$  هي فتحة حزمة 3 dB للقطاع.

وباستبدال المعادلتين (16) و(24) بالمعادلة (13) وتغيير حدود التكامل بحيث يُصبح التكامل المتناهي تكاملاً لا متناهياً، وبإدراج هذه النتيجة في المعادلة (12) واستبدالها، تنتج الصيغة التقريبية التالية:

$$(26) \quad D = \frac{11,09}{\varphi_s \theta_3} e^{\frac{\theta_3^2}{11,09}}$$

حيث الزوايا لها قيم مسبقة التحديد يعبر عنها بالراديان. وتحويل الزوايا إلى درجات تصبح المعادلة (26) كالتالي:

$$(27) \quad D = \frac{36\,400}{\varphi_s \theta_3} e^{\frac{\theta_3^2}{36\,400}}$$

ولدى مقارنة المعادلتين (22) و(27)، يظهر أن الفارق بالاتجاهية عند حسابها في هذه الطريقة أو تلك أقل من 0,3 dB.

وينبغي مقارنة نتائج المعادلة (27) مع عدد من المخططات المقاسة من أجل تحديد التأثير الملازم لكفاءة إشعاع الهوائي والخسارات الأخرى في العامل. ولا توجد حالياً إلا مجموعتان من القياسات الخاصة بالهوائيات القطاعية المصممة للعمل في النطاق 25,25 GHz و29,5 GHz. ويعرض الشكلان 14 و15 مخططات مقيسة لإحدى المجموعتين في مستوي السمات والمستوي الشاقولي على التوالي، والشكلان 16 و17 مخططات المجموعة الثانية. وفي الشكلين 14 و15 تبلغ زاوية فتحة الحزمة 3 dB في مستوي السمات 90° وفي المستوي الشاقولي 2,5°، وتبلغ الاتجاهية الناتجة عن المعادلة (27) 22,1 dBi. وينبغي مقارنة هذه القيمة مع كسب مقاس يتراوح بين 20,5 و21,4 dBi فيما يتعلق بالهوائي العامل في النطاق 25,5-29,5 GHz. وبافتراض أن الكسب  $G_0$  في الهوائي العامل في النطاق حوالي 28 GHz أقل بمقدار 0,7 dB من الاتجاهية، وأنه استعيب عن العامل الأساسي بواحد؛ مما ينجم عنه تزايد في الأخطاء يتناسب طردياً مع تزايد فتحة الحزمة. ويبلغ الخطأ نسبة 6% عند الفتحة 45°. وتؤدي فتحة حزمة أكبر إلى خطأ أكبر. واستناداً إلى ذلك فإن العلاقة شبه التجريبية بين الكسب وفتحة الحزمة في هوائي قطاعي هي التالية:

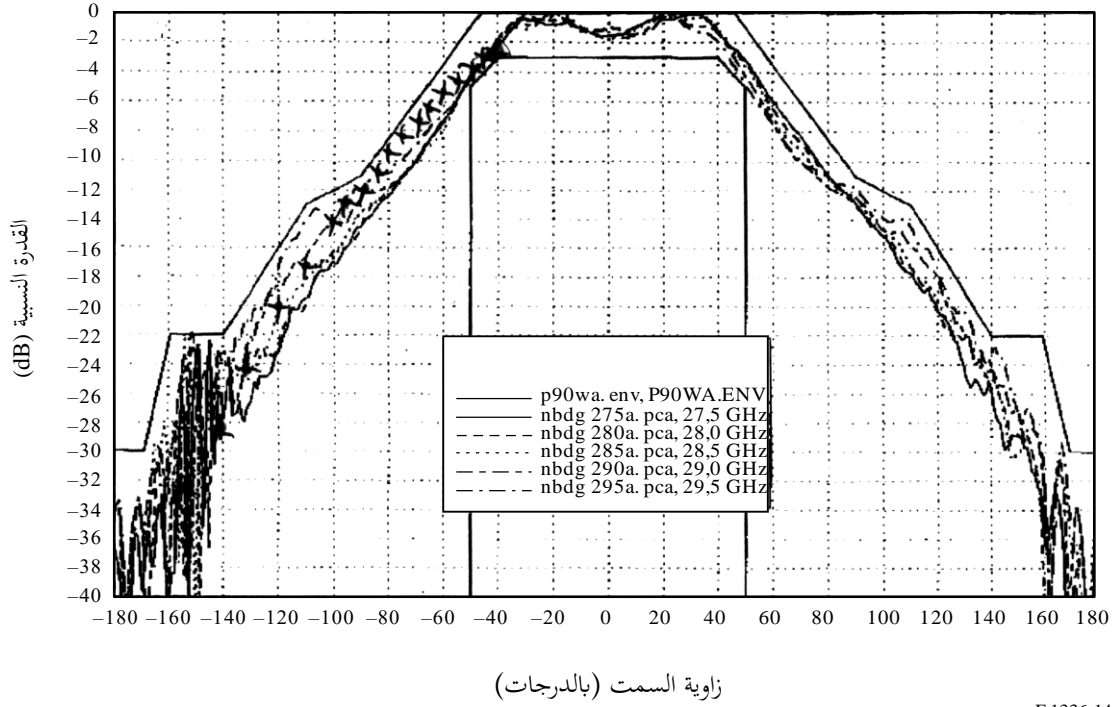
$$(28a) \quad 10^{0,1G_0} \approx \frac{31\,000}{\varphi_s \theta_3}$$

وبنفس الطريقة، واستناداً إلى الشكلين 16 و17، تكون العلاقة شبه التجريبية بين الكسب وفتحة الحزمة في هوائي قطاعي كالتالي:

$$(28b) \quad 10^{0,1G_0} \approx \frac{34\,000}{\varphi_s \theta_3}$$

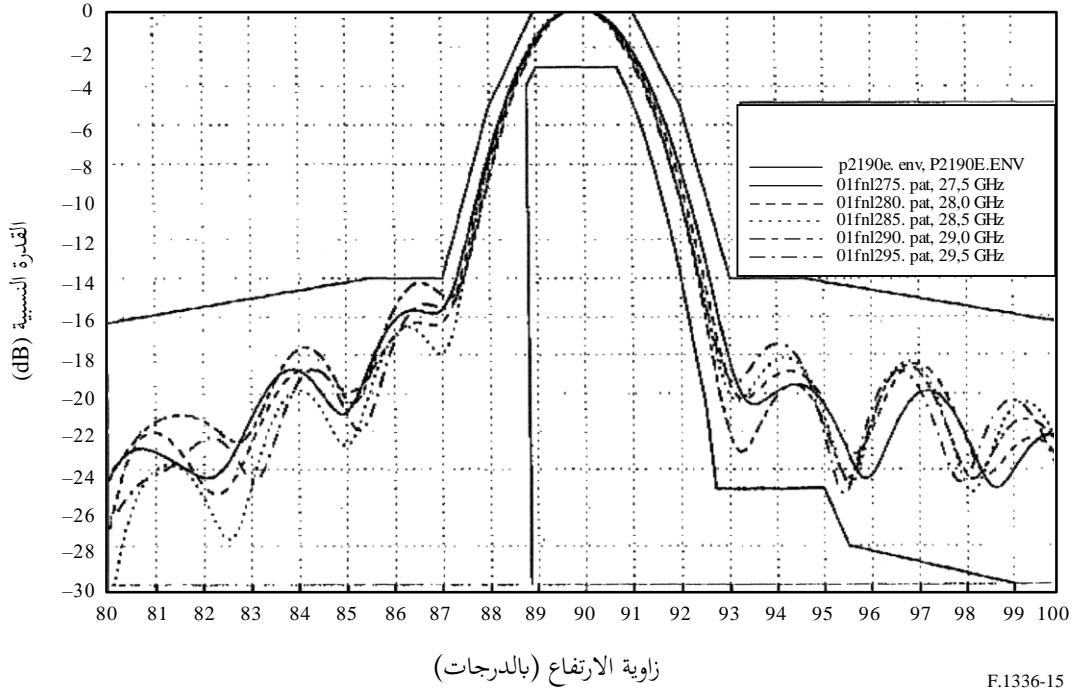
## الشكل 14

مخطط مقيس هوائي قطاعي بزاوية 90° في مستوى السمات. وهو مقيس في النطاق 27,5-29,5 GHz وتقابل إشارات الصليب المرسومة باليد في الجهة اليسرى من الشكل القيم الناتجة عن المعادلة (24) عند التعبير عنها بالديسيبل، لفتحة الحزمة 3 dB المفترضة ومقدارها 90° في مستوى السمات



الشكل 15

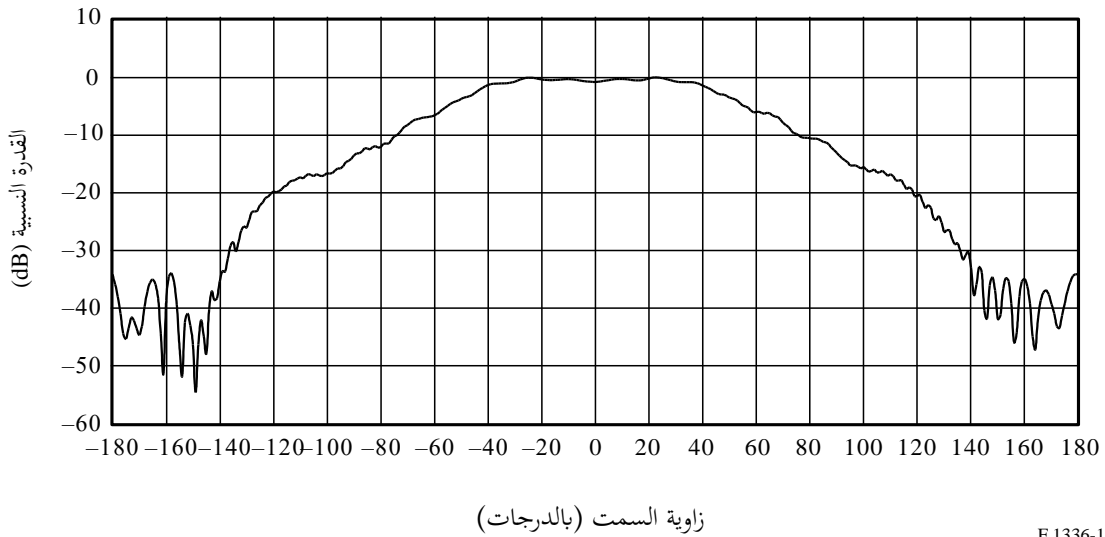
مخطط مقيس هوائي قطاعي بزواوية 90° في مستوى الارتفاع  
في النطاق GHz 29,5-27,5



F.1336-15

الشكل 16

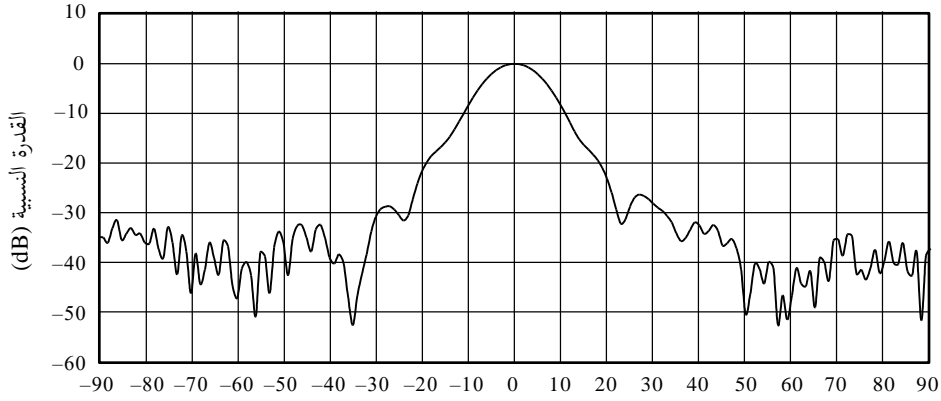
مخطط هوائي قطاعي نمطي بزواوية 90° في مستوى السميت (استقطاب v)  
وزاوية نصف القيمة 15 dBi: 90° (هوائي بوقي يعمل في التردد GHz 26)



F.1336-16

الشكل 17

مخطط هوائي قطاعي نمطي بزاوية 90° في المستوى الشاقولي (استقطاب V)  
زاوية نصف القيمة 15 dBi: 12° (هوائي بوقي يعمل في التردد 26 GHz)



زاوية الارتفاع (بالدرجات)

F.1336-17

### 3 مقارنة مع النتائج السابقة للهوائيات شاملة الاتجاه

الغرض من هذا القسم هو مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من المعادلة (23) والمتعلقة بالهوائي شامل الاتجاه مع النتائج السابقة الواردة والملخصة في الملحق 1 بهذه التوصية.

ويعبر عن كثافة الإشعاع لهوائي شامل الاتجاه في المستوى الشاقولي بالعلاقة التالية:

$$(29) \quad F(\theta) = \cos^{2N} \theta$$

وباستبدال المعادلة (29) بالمعادلة (13) وبافتراض  $F(\varphi) = 1$ ، ينتج:

$$(30) \quad U_0 = \frac{1}{4\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos^{2N}(\theta) \cos(\theta) d\theta d\varphi$$

وهذا التكامل المضاعف يساوي:

$$(31) \quad U_0 = \frac{(2N)!!}{(2N+1)!!}$$

حيث  $(2N)!!$  هو ضعف حاصل ضرب الأعداد محددة بـ  $(2N) \dots 6.4.2$  و  $(2N+1)!!$  وهو أيضاً ضعف حاصل ضرب أعداد محددة بـ  $(2N+1) \dots 5.3.1$ .

وهكذا تصبح الاتجاهية كالتالي:

$$(32) \quad D = \frac{(2N+1)!!}{(2N)!!}$$

ويعبر عن فتحة حزمة 3 dB في المستوى الشاقولي بالعلاقة التالية:

$$(33) \quad \theta_3 = 2 \cos^{-1} \left( 0,5^{1/2N} \right)$$



ويقدم الجدول 2 مقارنة بين قيم الاتجاهية المحسوبة استناداً إلى الافتراضات والطرائق المدرجة في المعادلة (23) وبين تلك المستخدمة في استنتاج المعادلتين (32) و(33). ويلاحظ أن النتائج المستندة إلى المعادلة (23a) أفضل من النتائج المستندة إلى المعادلتين (32) و(33). وفي جميع الحالات فإن المعادلة (23a) تعطي قيمة اتجاهية أقل بقليل من القيم الناتجة عن استعمال المعادلتين (32) و(33). والخطأ النسبي (%) للتقديرات، عندما يعبر عنه بالديسيبل بالنسبة لفتحة حزمة 3 dB في المستوي الشاقولي بزاوية قدرها 65°، يصل إلى أعلى قيمة وهي -2,27% والخطأ (dB) في هذه الحالة يعبر عنه بالديسيبل ويبلغ -0,062 dB. ويتناقص الخطأ النسبي (%) والخطأ (dB) لزوايا فتحة الحزمة 3 dB التي تقل عن 65° تدريجياً مع تناقص فتحة الحزمة 3 dB. وفيما يتعلق بفتحة حزمة 3 dB بزاوية 16°، فإن الخطأ النسبي (%) يقارب -0,01% ويقل الخطأ (dB) عن 0,0085 dB. ويؤكد تقييم مشابه لذلك المبين في الجدول 2 فيما يتعلق بالقيم التي تتراوح بين 2N و10 000 (تعادل فتحة حزمة 3 dB بزاوية 1,35° واتجاهية قدرها 19,02 dB) تقارب نتائج الطريقتين.

الجدول 2

مقارنة اتجاهية الهوائيات شاملة الاتجاهات المحسوبة باستعمال المعادلة (23a) والاتجاهية المحسوبة باستعمال المعادلتين (32) و(33)

الخطأ (dB)	الخطأ النسبي (%)	الاتجاهية (dBi) (المعادلة (23a))	الاتجاهية (dBi) (المعادلة (32))	$\theta_3$ (بالدرجات) (المعادلة (33))	2N
0,0172-	0,98-	1,7437	1,7609	90,0000	2
0,0623-	2,28-	2,6677	2,7300	65,5302	4
0,0576-	1,69-	3,3419	3,3995	54,0272	6
0,0500-	1,28-	3,8610	3,9110	47,0161	8
0,0435-	1,01-	4,2814	4,3249	42,1747	10
0,0383-	0,82-	4,6343	4,6726	38,5746	12
0,0341-	0,69-	4,9381	4,9722	35,7624	14
0,0307-	0,59-	5,2047	5,2355	33,4873	16
0,0280-	0,51-	5,4423	5,4703	31,5975	18
0,0256-	0,45-	5,6565	5,6822	29,9953	20
0,0237-	0,40-	5,8516	5,8752	28,6145	22
0,0220-	0,36-	6,0305	6,0525	27,4083	24
0,0205-	0,33-	6,1959	6,2164	26,3428	26
0,0192-	0,30-	6,3496	6,3688	25,3927	28
0,0181-	0,28-	6,4931	6,5112	24,5384	30
0,0171-	0,26-	6,6278	6,6449	23,7649	32
0,0162-	0,24-	6,7545	6,7708	23,0603	34
0,0154-	0,22-	6,8743	6,8897	22,4148	36
0,0147-	0,21-	6,9879	7,0026	21,8206	38
0,0140-	0,20-	7,0958	7,1098	21,2714	40
0,013-4	0,19-	7,1986	7,2120	20,7616	42
0,0129-	0,18-	7,2967	7,3096	20,2868	44
0,0124-	0,17-	7,3906	7,4030	19,8431	46
0,0119-	0,16-	7,4806	7,4925	19,4274	48
0,0115-	0,15-	7,5671	7,5785	19,0367	50
0,0111-	0,14-	7,6502	7,6613	18,6687	52
0,0107-	0,14-	7,7302	7,7410	18,3212	54
0,0104-	0,13-	7,8075	7,8178	17,9924	56
0,0100-	0,13-	7,8820	7,8921	17,6808	58
0,0097-	0,12-	7,9541	7,9638	17,3847	60

الجدول 2 (تتمة)

الخطأ (dB)	الخطأ النسبي (%)	الاتجاهية (dBi) (المعادلة (23a))	الاتجاهية (dBi) (المعادلة (32))	$\theta_3$ (بالدرجات) (المعادلة (33))	2N
0,0094-	0,12-	8,0239	8,0333	17,1031	62
0,0092-	0,11-	8,0915	8,1007	16,8347	64
0,0089-	0,11-	8,1571	8,1660	16,5786	66
0,0087-	0,11-	8,2207	8,2294	16,3338	68
0,0085-	0,10-	8,2825	8,2910	16,0996	70
0,0083-	0,10-	8,3426	8,3509	15,8751	72
0,0081-	0,10-	8,4011	8,4092	15,6598	74

#### 4 الملخص والاستنتاجات

وضعت المعادلات التي تتيح سهولة حساب الاتجاهية والعلاقة بين فتحة الحزمة والكسب في الهوائيات شاملة الاتجاهات والهوائيات القطاعية والمستخدم في أنظمة المرحلات الراديوية P-MP ويقترح استعمال المعادلات التالية من أجل تحديد اتجاهية الهوائيات القطاعية:

$$(34) \quad D = \frac{k}{\varphi_s \theta_3} e^{\frac{\theta_3^2}{36400}}$$

حيث:

$$(35) \quad \begin{aligned} k &= 38750 & \text{for } \varphi_s > 120^\circ \\ k &= 36400 & \text{for } \varphi_s \leq 120^\circ \end{aligned}$$

$\varphi_s$  هي فتحة حزمة 3 dB لهوائي قطاعي يعمل في مستوي السمات (بالدرجات) بكثافة إشعاع أسية مفترضة في السمات، و  $\theta_3$  هي فتحة الحزمة 3 dB لهوائي قطاعي يعمل في المستوي الشاقولي (بالدرجات).

وفيما يتعلق بالهوائيات شاملة الاتجاهات يقترح استخدام المعادلة المبسطة التالية في تحديد الحزمة 3 dB في المستوي الشاقولي علماً بأن الكسب مقدر بالوحدات dBi (انظر المعادلة (23b)):

$$\theta_3 \approx 107,6 \times 10^{-0,1 G_0}$$

ويقترح مؤقتاً استخدام المعادلة شبة التجريبية التالية التي تبين العلاقة بين كسب الهوائي القطاعي (dBi) وفتحات الحزمة 3 dB في المستوي الشاقولي ومستوي السمات حيث يبلغ القطاع  $120^\circ$  أو أقل، وتقل فتحة الحزمة 3 dB في المستوي الشاقولي عن  $45^\circ$  (انظر المعادلة (28a)):

$$\theta_3 \approx \frac{31000 \times 10^{-0,1 G_0}}{\varphi_s}$$

يتطلب تحديد كيفية تناول المنطقة الانتقالية المتضمنة في المعادلة (35) وتحديد دقة الحسابات التقريبية عند تطبيقها على النماذج المقيسة للهوائيات القطاعية وشاملة الاتجاهات المصممة للعمل في أنظمة المرحلات الراديوية P-MP في نطاقات المدى من 1 GHz إلى حوالي 70 GHz مزيداً من الدراسة.

### الملحق 3

## إجراء تحديد كسب الهوائي القطاعي عند زاوية اعتبارية خارج المحور تحدها زاويتا السمات والارتفاع نسبةً إلى خط تسديد الهوائي

### 1 التحليل

يبين الشكل 18 المخطط الهندسي الأساسي الذي يتيح تحديد كسب هوائي قطاعي في زاوية اعتبارية خارج المحور. ويفترض أن الهوائي موضوع في مركز نظام الإحداثيات الكروية؛ ويقع اتجاه الإشعاع الأقصى على طول محور السينات: والمستوي x-y هو المستوي الأفقي المحلي؛ ويضم مستوى الارتفاع محور العينات، و  $u_0$  هو متجه وحيد يستعمل اتجاهه في تحديد كسب الهوائي القطاعي. وفي تحليل الهوائيات القطاعية بوجه خاص، تقتضي الضرورة الالتزام بالمدى الصالح لزاويتي السمات والارتفاع:

$$-180^\circ \leq \varphi \leq +180^\circ$$

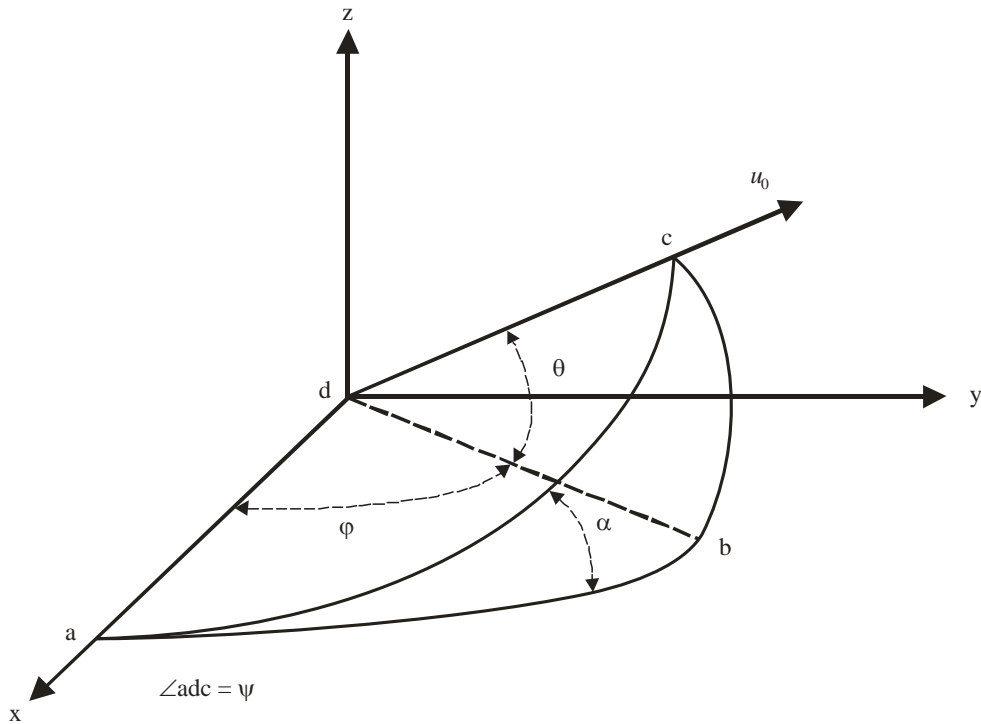
$$-90^\circ \leq \theta \leq +90^\circ$$

علماً بأن المدى الصالح للزاوية  $\alpha$  هو

$$-90^\circ \leq \alpha \leq +90^\circ$$

الشكل 18

تحديد زاوية الانحراف عن خط التسديد لزاويتي سمات وارتفاع معينتين



يقوم هذا الإجراء على فرضيتين أساسيتين هما:

- يكون كفاف الكسب -3 dB لمخطط المجال البعيد عند رسمه ببعدين بدلالة زاويتي السمات والارتفاع إهليلجياً كما يبين الشكل 19؛
  - يخضع كسب الهوائي القطاعي عند زاوية اعتباطية خارج المحور لفتحة الحزمة 3 dB وفتحة حزمة الهوائي عند قياسه في المستوي الذي يضم محور السينات ومنتجه الوحدة  $u_0$  (الشكل 18).
- وتعطى القيمة الرقمية لكسب خط التسديد على أساس مؤقت (الفقرة 3.3 من توصي وفي المعادلة (28a))، مع مراعاة فتحة الحزمة 3 dB (بالدرجات) للهوائي القطاعي في مستوي السمات والمستوي الشاقولي  $\theta_3$  و  $\varphi_3$ .

$$(36) \quad 10^{0,1G_0} \approx \frac{31000}{\phi_s \theta_3}$$

والمرحلة الأولى في تقييم كسب الهوائي القطاعي في زاوية اعتباطية خارج المحور  $\varphi$  و  $\theta$  هي تحديد القيمة  $\alpha$ . وبالإحالة إلى الشكل 18 ونظراً لأن النقاط abc تشكل مثلثاً كروياً قائم الزاوية، تعطي قيمة  $\alpha$  في المعادلة:

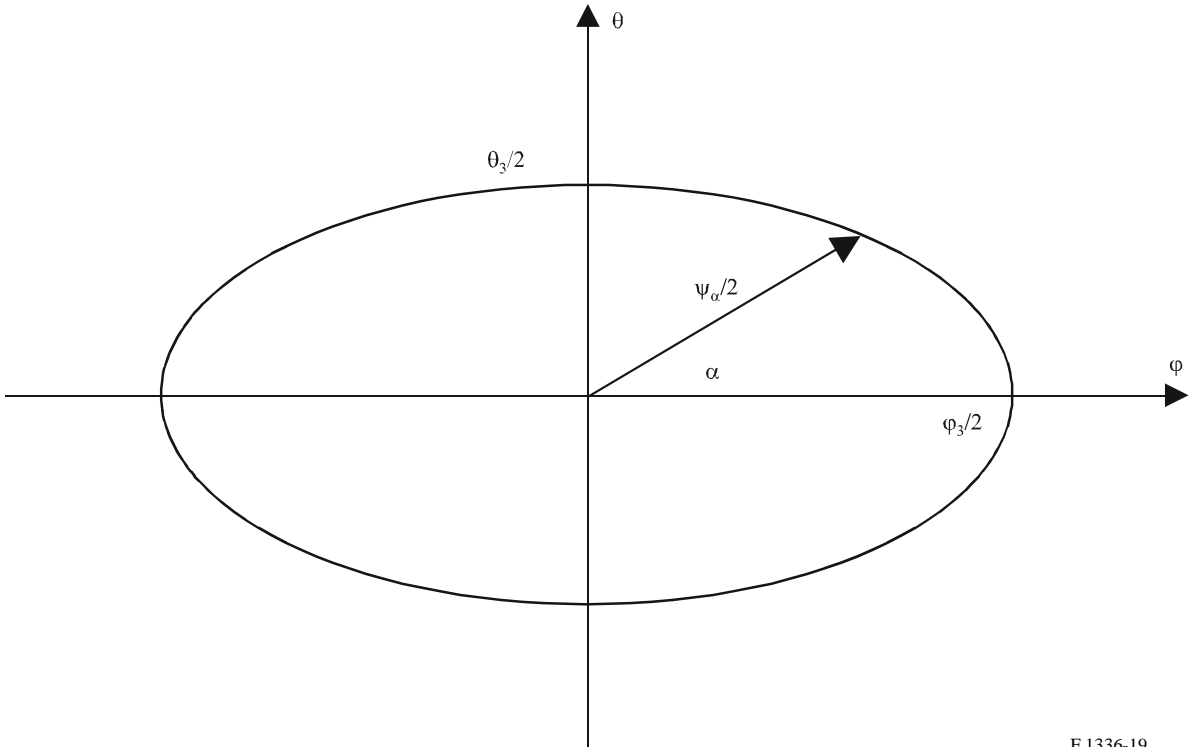
$$(37a) \quad \alpha = \arctan\left(\frac{\tan \theta}{\sin \varphi}\right), \quad -90^\circ \leq \alpha \leq +90^\circ$$

وتعطي الزاوية خارج المحور في المستوى adc في المعادلة:

$$(37b) \quad \psi = \arccos(\cos \varphi \cos \theta), \quad 0^\circ \leq \psi \leq 180^\circ$$

الشكل 19

تحديد فتحة الحزمة 3 dB لحزمة إهليلجية عند زاوية الميل الاعتبائية  $\alpha$



وبما أن الحزمة إهليلجية الشكل، فإن فتحة الحزمة 3 dB للهوائي القطاعي في المستوى adc في الشكل 18 تتحدد من العلاقة:

$$(38) \quad \Psi_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\cos \alpha}{\phi_3}\right)^2 + \left(\frac{\sin \alpha}{\theta_3}\right)^2}}$$

واستناداً إلى أسلوب الحساب هذا، يوفر النهج البديل (انظر الملحق 6) مخطط الإشعاع المرجعي في مدى التردد من 6 GHz إلى حوالي 70 GHz (انظر الفقرة 2.3 من توصي).

## 2 خاتمة

أعطي هذا الإجراء من أجل تقييم كسب هوائي قطاعي عند زاوية اعتبارية خارج المحور، على النحو الذي يحال فيه مرجعياً إلى اتجاه الكسب الأقصى للهوائي. وجرى التشديد على أهمية الالتزام بالمدى الصالح لزوايقي السمات والارتفاع في نمذجة مخطط الإشعاع للهوائي قطاعي. ومن الضروري إجراء مزيد من الدراسات من أجل بيان المدى الذي يصلح فيه الكسب وعروض الحزم في مستويي السمات والارتفاع المستخدمين لتمثيل الكسب المرجعي هنا؛ المعادلات في الجزء الرئيسي (2d1)-(2f) و(3a) و(36) فيما يتعلق بالهوائيات القطاعية.

## الملحق 4

### النموذج الرياضي لمتوسط مخططات الإشعاع النوعية للهوائيات شاملة الاتجاهات في الأنظمة اللاسلكية الثابتة (FWS) من النمط P-MP للاستخدام في التقديرات الإحصائية للتداخل

#### 1 مقدمة

يحيل متن هذه التوصية (الفقرة 2.2 من توصي) إلى مخططات إشعاع مرجعية تمثل القيم المتوسطة لسويات الفصوص الجانبية في الهوائيات شاملة الاتجاهات (في السمات)، التي يمكن استخدامها في حالة مصادر التداخل المتعددة أو مصادر التداخل المتغيرة بتغير الوقت.

ومن ناحية أخرى ومن أجل الاستعمال في تحليل إحصائي لأمكنة التداخل، مثل التداخل الناجم عن بعض الأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض في عدد كبير من محطات الأنظمة اللاسلكية الثابتة، من الضروري وضع نموذج رياضي لمخططات الإشعاع النوعية على النحو المبين في الأقسام الأخيرة من هذا الملحق.

وينبغي ملاحظة أن هذه النماذج الرياضية القائمة على دالات جيبية عند تطبيقها في حسابات التداخل الناجم عن مصادر متعددة قد يؤدي إلى نتائج خاطئة إلا إذا كانت مصادر التداخل موزعة على مدى كبير من زوايا السمات/الارتفاع. ولذلك لا يوصى باستعمال هذه المخططات إلا في الحالات المذكورة أعلاه.

## 2 نموذج رياضي للهوائيات شاملة الاتجاهات

عند إجراء التحليل المكاني للتداخل الناجم عن نظام ساتلي مستقر بالنسبة إلى الأرض أو عن عدد قليل من هذه الأنظمة في عدد كبير من محطات الخدمة الثابتة ينبغي استعمال مخططات الفصوص الجانبية المعبر عنها بالقيم المتوسطة التالية وذلك فيما يتعلق بزوايا الارتفاع الواقعة في المدى من  $-90^\circ$  إلى  $90^\circ$  (انظر الملحق 1):

$$(39a) \quad G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 \left( \frac{\theta}{\theta_3} \right)^2 & \text{for } 0 \leq |\theta| < \theta_4 \\ G_0 - 12 + 10 \log(k+1) + F(\theta) & \text{for } \theta_4 \leq |\theta| < \theta_3 \\ G_0 - 12 + 10 \log \left[ \left( \frac{|\theta|}{\theta_3} \right)^{-1,5} + k \right] + F(\theta) & \text{for } \theta_3 \leq |\theta| \leq 90^\circ \end{cases}$$

مع:

$$(39b) \quad F(\theta) = 10 \log \left( 0,9 \sin^2 \left( \frac{3\pi\theta}{4\theta_3} \right) + 0,1 \right)$$

حيث تتحدد القيم  $\theta$  و  $\theta_3$  و  $\theta_4$  و  $G_0$  و  $k$  ويعبر عنها في الفقرة 1.2 من توصي الواردة في متن هذه التوصية.

أدخلت المعلمة 0,1 في المعادلة (39b) لتفادي حالة وقوع  $F(\theta)$  تحت  $-10$  dB.

**الملاحظة 1** - في الحالات التي تنطوي على هوائيات نمطية عاملة في المدى 3-1 GHz، ينبغي أن تساوي المعلمة  $k$  0,7.

**الملاحظة 2** - في الحالات التي تنطوي على هوائيات مع أداء محسّن في الفصوص الجانبية في المدى 3-1 GHz وفيما يتعلق بجميع الهوائيات العاملة في المدى 3-70 GHz ينبغي للمعلمة  $k$  أن تساوي 0.

## الملحق 5

### إجراء لتحديد مخطط إشعاع هوائي في زاوية اعتبارية خارج المحور عند إمالة محور تسديد الهوائي نحو الأسفل ميكانيكياً أو كهربائياً

#### 1 مقدمة

يعرض هذا الملحق أساليب لاحتساب مخطط إشعاع هوائي قطاعي عند إمالته نحو الأسفل بوسائل ميكانيكية أو كهربائية. ويرد تحليل الوسائل الميكانيكية في الفقرة 2 والوسائل الكهربائية في الفقرة 3.

#### 2 تحليل الميل الميكانيكي

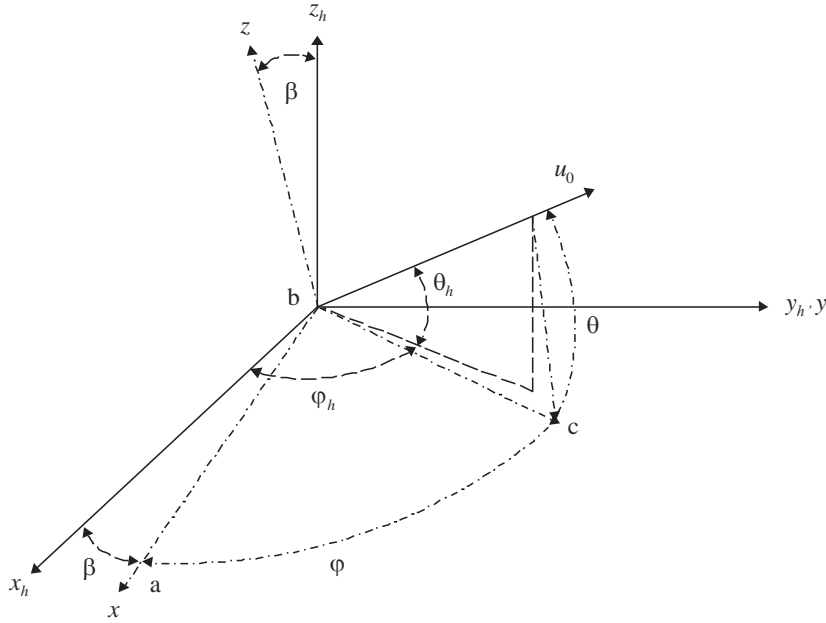
تظهر في الشكل 20 الهندسة الأساسية لتحديد كسب هوائي قطاعي في زاوية اعتبارية خارج المحور. ويُفترض أن الهوائي يقع في مركز نظام إحداثيات كروي؛ وأن اتجاه الإشعاع الأقصى يقع على طول المحور  $x$ . فإذا جرت إمالة الهوائي نحو الأسفل، تقتضي

الضرورة التمييز بين الإحداثيات القائمة على الهوائي  $(\theta, \varphi)$  والإحداثيات التي تتخذ من المستوى الأفقي مرجعية لها  $(\theta_h, \varphi_h)$ . وتحدد العلاقة بين نظامي الإحداثيات هذين على أفضل وجه بالنظر في نظامي الإحداثيات المستطيلين المرفقين بهما.

وإذا جرت إمالة الهوائي نحو الأسفل بزاوية ميل معينة بتدوير نظام الإحداثيات حول المحور  $y$ ، فإن المستوى  $x$ - $y$  يحتوي محور الحزمة الرئيسية للهوائي القطاعي، ويتقاطع هذا المستوى مع المستوى الأفقي المحلي على طول المحور  $y$ . وتعرّف زاوية الميل  $\beta$  كالزاوية الموجبة (بالدرجات) التي ينحدر بها محور الحزمة الرئيسية تحت المستوى الأفقي في موقع الهوائي.

الشكل 20

نظاما الإحداثيات اليمينيان المستخدمان لاحتساب مخطط إشعاع هوائي قطاعي مائل



F.1336-20

في نظام إحداثيات مستطيل يقع عند الهوائي، ويقع محوره  $x$  في المستوي العمودي الحواوي الكسب الأقصى للهوائي، تعطى إحداثيات متجه الوحدة على النحو التالي:

$$(40) \quad \begin{aligned} z_h &= \sin \theta_h \\ x_h &= \cos \theta_h \cos \varphi_h \\ y_h &= \cos \theta_h \sin \varphi_h \end{aligned}$$

علماً بأن هذا ليس نظام إحداثيات كروي معياري لأن الارتفاع يقاس في مدى يتراوح بين  $-90^\circ$  و  $+90^\circ$  درجة. وهذا الاصطلاح نفسه الذي استُخدم في فقرات توصي في متن التوصية وفي الملاحق السابقة.

وباعتبار نظام الإحداثيات المستطيل في الشكل 20، الذي يحتوي محور الحزمة الرئيسية للهوائي والمدور نحو الأسفل حول المحور  $y$  بزاوية ميل  $\beta$ ، تعطى إحداثيات متجه الوحدة  $x$  و  $y$  و  $z$  في هذا النظام كما يلي:

$$(41) \quad \begin{aligned} z &= z_h \cos \beta + x_h \sin \beta \\ x &= -z_h \sin \beta + x_h \cos \beta \\ y &= y_h \end{aligned}$$



وفي نظام الإحداثيات الكروي المقابل الذي يتخذ من المستوي المحدد بمحور الحزمة الرئيسية والمحور  $y$  مرجعية له، ترتبط الزوايا الكروية بالإحداثيات  $x$  و  $y$  و  $z$  بالعلاقتين  $\sin\theta = z$  و  $\tan\varphi = y/x$ . وتتحدد قيمة  $\varphi$ ، التي تقع بين  $-180^\circ$  و  $+180^\circ$  درجة بواسطة  $\arctan(y/x)$  مع تصحيحات ممكنة حسب الشارة الجبرية لإحداثيتي  $x$  و  $y$ .

وبدلاً من ذلك، وبلاستفادة من أن مجموع مربعات  $x$  و  $y$  و  $z$  يساوي واحداً، يمكن بيان صحة  $\cos\varphi = x/\cos\theta$  عبر مجموعة مقيّدة من قيم  $\varphi$ . وبتبديل المعادلات (40) في المعادلات (41) ثم تبديل القيم الناتجة لإحداثيتي  $x$  و  $z$  في العلاقتين  $z = \sin\theta$  و  $x = \cos\theta\cos\varphi$ ، نحصل على الصيغتين التاليتين لقيم الإحداثيات الكروية (انظر الملاحظة 1):

$$(42) \quad \begin{aligned} \theta &= \arcsin(z) = \arcsin(\sin\theta_h \cos\beta + \cos\theta_h \cos\varphi_h \sin\beta), & -90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \\ \varphi &= \arccos\left(\frac{x}{\cos\theta}\right) = \arccos\left(\frac{-\sin\theta_h \sin\beta + \cos\theta_h \cos\varphi_h \cos\beta}{\cos\theta}\right), & 0^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{aligned}$$

**الملاحظة 1** – يتراوح مدى الدالة "arccos" بين  $0^\circ$  و  $180^\circ$ . ولكن ذلك لا يحد من قابلية تطبيق هذه المنهجية لأن مخططات إشعاع الهوائي المستخدمة تبدي تناظراً مرآتياً فيما يتعلق بالمستوي  $x-z$  والمستوي  $x-y$ . وتُستخرج المعادلات في فقرة 4.3 توصي من المعادلة (42).

### 3 تطبيق معادلات مخطط الإشعاع في فقرتي 5.2 و 5.3 توصي على الهوائيات ذات الإمالة الكهربائية

في حالة الإمالة الكهربائية، ينبغي أن تكون معادلات مخطط الإشعاع نظرياً دالة لزاوية الميل  $\beta$  التي تعتمد على كمية إزاحة الطور للتدفق المشع من عناصر الهوائي المتموضعة عمودياً. ولكن إذ يؤخذ بعين الاعتبار أن قيمة  $\beta$  في الواقع صغيرة عموماً (بحدود  $15^\circ$  مثلاً)، يمكن تطبيق الافتراض التالي من أجل التبسيط.

وبما أن قيم كسب الإشعاع المائل في السمات ونظير السمات يجب أن تبقى نفس القيم على التوالي بغض النظر عن زاوية الميل  $\beta$  (انظر الشكل 21)، فإن مخطط الإشعاع الفعلي، مقارنة مع مخطط الإشعاع قبل الإمالة، يتمدد قليلاً أو يتقلص قليلاً فوق محور الكسب الأقصى أو تحت محور الكسب الأقصى، على التوالي، على النحو المبين في مخطط إشعاع الخط المتواصل في الشكل 21. ويمكن تقريب قيم كسب مخطط الإشعاع هذا (المبين بخط متواصل) بقيم مخطط إشعاع آخر (المبين بالخط المتقطع في الشكل 21) باستخدام تحويل معلمات. ويُستخرج مخطط إشعاع الخط المتقطع هذا من إزاحة مثالية منتظمة لزاوية الارتفاع  $\beta$  في مخطط الإشعاع الأصلي المحسوب من المعادلات الواردة في الفقرات 1.2 و 2.2 و 1.3 و 2.3 من توصي في الحالات على التوالي.

وهكذا، تُستخرج مخططات الإشعاع المائل كهربائياً باستخدام تحويل المعلمات في المعادلات الواردة في فقرات توصي (1.2 و 2.2 و 1.3 و 2.3) على النحو التالي:

يمكن وصف زاوية الارتفاع  $\theta$  من محور الكسب الأقصى على النحو التالي:

$$(43) \quad \theta = \theta_h + \beta$$

حيث:

$\theta_h$ : زاوية الارتفاع (بالدرجات) المقيسة من المستوي الأفقي في موقع الهوائي لمخطط إشعاع مائل ( $-90^\circ \leq \theta_h \leq 90^\circ$ )

$\beta$ : زاوية الميل الإمالة الكهربائية كما جاء تعريفها في الفقرة 2 من هذا الملحق أو في فقرتي 5.2 و 4.3 من توصي.

ومن أجل تطبيق معادلات مخطط الإشعاع المرجعي الواردة في الفقرات 1.2 و 2.2 و 1.3 و 2.3 من توصي على الهوائيات ذات الإمالة الكهربائية، تُدخّل نسبة التقلص/التمدد  $R_{CE}$  استناداً إلى الافتراض المذكور أعلاه. ويمكن تعريف نسبة التقلص/التمدد  $R_{CE}$  كما يلي:

$$(44) \quad R_{CE} = \frac{90}{90 \pm \beta}$$

ويمكن التعبير عن زاوية الارتفاع  $\theta_e$  التي يُحسب من خلالها كسب الإشعاع المائل بالزاوية  $\theta_h$  باستخدام المعادلات الواردة في الفقرات 1.2 و 2.2 و 1.3 و 2.3 من توصي، على النحو التالي:

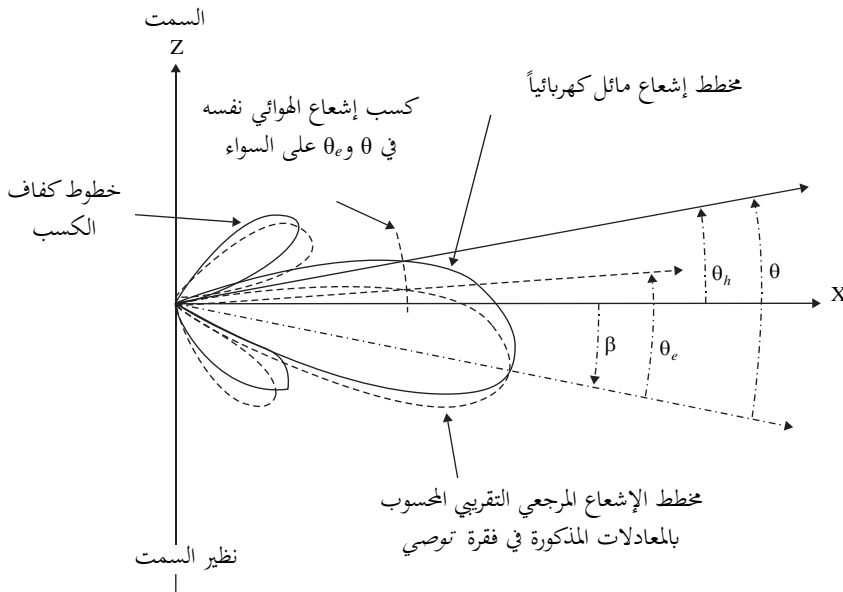
$$\theta_e = \theta \cdot R_{CE} = \frac{90 \cdot \theta}{90 + \beta} = \frac{90 \cdot (\theta_h + \beta)}{90 + \beta} \quad \text{for } \theta_h + \beta \geq 0$$

$$(45) \quad \theta_e = \theta \cdot R_{CE} = \frac{90 \cdot \theta}{90 - \beta} = \frac{90 \cdot (\theta_h + \beta)}{90 - \beta} \quad \text{for } \theta_h + \beta < 0$$

وتحسب مخططات الإشعاع المائلة كهربائياً باستخدام  $\theta_e$  في المعادلات (45) بدلاً من  $\theta$  في المعادلات الواردة في الفقرتين 1.3 و 2.3 من توصي للهوائيات القطاعية، وكذلك في الفقرتين 1.2 و 2.2 من توصي للهوائيات شاملة الاتجاهات.

الشكل 21

تقريب مخطط الإشعاع المرجعي لهوائي مائل كهربائياً



## الملحق 6

## نهج لحساب مخططات الإشعاع المرجعية لهوائي قطاعي في مدى التردد من 6 GHz إلى حوالي 70 GHz المعرف في الفقرة 2.3 من توصي في متن التوصية

### 1 مقدمة

يقدم هذا الملحق تعريفاً وشرحاً تكملياً للمعلومات المستخدمة في معادلات مخططات الإشعاع المرجعية لهوائي قطاعي في مدى التردد من 6 GHz إلى حوالي 70 GHz الموصّف في الفقرة 2.3 من توصي في متن هذه التوصية. وقد اشتُقت المعادلات المقدمة في هذا الملحق من التحليل العملي استناداً إلى البيانات المقيسة للهوائيات القطاعية.

### 2 اعتبارات خاصة

إن مخططات الإشعاع المرجعية لهوائي قطاعي الموصّفة في الإصدارات السابقة من هذه التوصية لا تنطبق بنحو جيد على مخططات الإشعاع المقيسة خارج الفص الرئيسي في مستوي السمّت على وجه الخصوص، في حين أن مخططات الإشعاع الموصّفة في مستوي الارتفاع تمثل تقريباً لا بأس به للبيانات المقيسة.

ونظراً للاختلاف بين قيم عرض حزمة 3 dB، أي  $\phi_3$  و  $\theta_3$ ، في مستوي السمّت والارتفاع، تؤدي مخططات الإشعاع المحسوبة على أساس هذه القيم إلى قيم كسب مختلفة في نقطة التقاطع  $(\phi, \theta) = (\pm 180, 0)$ ، على الرغم من أن قيم الكسب في كلا المستويين ينبغي أن تكون متساوية من الناحية النظرية في نقطة التقاطع هذه.

ولذا يلاحظ، كسبب لهذا التناقض، أن ما اعتمد في خوارزمية استخلاص مخططات إشعاع الهوائي القطاعي من النموذج الرياضي الأساسي والافتراضات المرتبطة به (على النحو الموضح في الشكلين 18 و 19 في الملحق 3)، قد لا ينطبق على كامل الزوايا ثلاثية الأبعاد.

وبأخذ النقاط المذكورة أعلاه بعين الاعتبار، اعتمدت الخوارزميات الحالية، على النحو الموضح أدناه، لتجاوز التناقض بين مخططات الإشعاع المحسوبة والمقيسة.

وفي المدى الزاويّ حيث  $\psi$  أكبر من حوالي  $90^\circ$ ، يُقترح تعديل قيم عرض حزمة 3 dB،  $\phi_3$  و  $\theta_3$ ، إلى المعلمتين المتغيرتين  $\phi_{3m}$  و  $\theta_{3m}$ ، على التوالي، للحصول تدريجياً على قيمة واحدة  $\phi_{3(180)}$  في نقطة التقاطع  $(0, 180)$ ، لأن سبب التناقض في هذه النقطة يعود إلى الفرق بين  $\phi_3$  و  $\theta_3$ .

وكقيمة ممكنة للزاوية  $\phi_{3(180)}$ ، يمكن اعتماد الزاوية الثابتة  $\theta_3$  الموجودة على افتراض انقطاع التمييز في نقطة التقاطع بين مستويي الارتفاع والسمّت، وهذا أبسط اختيار طالما اعتُبرت نقطة التقاطع مُدرجة في مستوي الارتفاع.

لذا،

$$(46) \quad \phi_{3(180)} = \theta_3 \quad (\text{انظر الملاحظة 1})$$

**الملاحظة 1** - عندما تكون نسبة الأمام إلى الخلف (FBR) للهوائي المرجعي متاحة، قد يكون من الممكن أيضاً أن تُعتمد الزاوية  $\phi_{3(180)}$  على النحو التالي:

$$(47) \quad \phi_{3(180)} = \frac{180}{10} \frac{(FBR - \lambda k)}{15}$$

وفيما يتعلق بمستوي السمّت، بما أن الاختلاف في مخططات الإشعاع يبدأ من الزاوية المقابلة إلى  $x = 1$  لمخططات إشعاع الفص الجانبي الذروي و  $x = 1,152$  متوسط الفص الجانبي، يُعبر عن زاوية السمّت في هذه النقطة  $\phi_{th}$  على النحو التالي:

(48a) (لمخططات إشعاع الفص الجانبي الذروي)  $\varphi_{th} = \varphi_3$

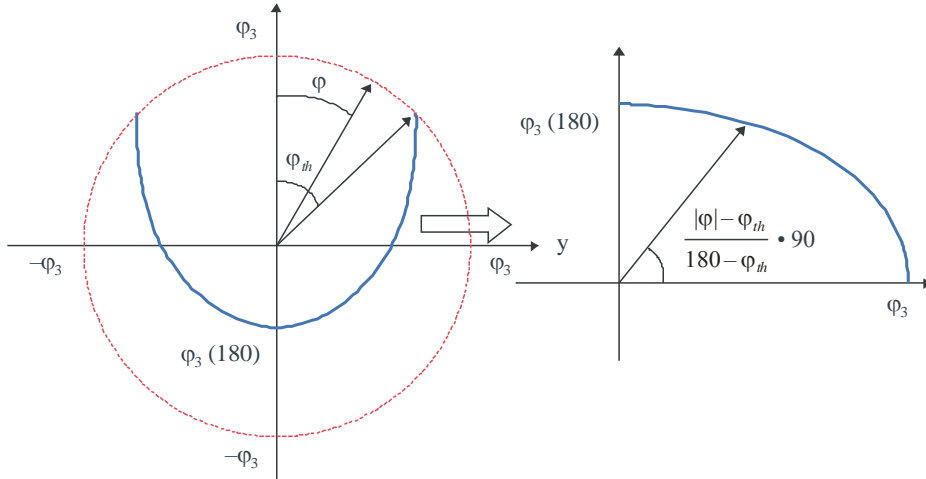
(48b) (لمخططات إشعاع متوسط الفص الجانبي)  $\varphi_{th} = 1,152\varphi_3$

ويتغير متحول عرض حزمة 3 dB المعرّف حديثاً،  $\varphi_{3m}$ ، تدريجياً من  $\varphi_3$  في  $\varphi_{th} \pm \varphi_{3(180)}$  إلى زاوية سمت  $\pm 180^\circ$ . وبالنظر إلى أن المحل الهندسي المتغير يشكل جزءاً من القطع الناقص، يُضغَط الفرق بين زاويتي سمت  $|\varphi|$  و  $\varphi_{th}$  بعامل  $90/(180 - \varphi_{th})$  على النحو المبين في الشكل 22. عندئذ، يُعبّر عموماً عن  $\varphi_{3m}$  بالمعادلة التالية، أي بالمعادلة (2d7) في الجزء الرئيسي:

(49) 
$$\varphi_{3m} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\cos\left(\frac{|\varphi| - \varphi_{th}}{180 - \varphi_{th}} \cdot 90\right)}{\varphi_3}\right)^2 + \left(\frac{\sin\left(\frac{|\varphi| - \varphi_{th}}{180 - \varphi_{th}} \cdot 90\right)}{\varphi_{3(180)}}\right)^2}} \quad \text{for } \varphi_{th} < |\varphi| \leq 180^\circ$$

الشكل 22

تحديد عامل الضغَط لمعادلة القطع الناقص



F.1336-22

وبما أن قيمة  $\varphi_{3m}$  في المدى  $90^\circ \leq \varphi < \varphi_{th}$  توصّف بالمعادلة (49)، يترتب على ذلك تعديل المعادلة (2a3) في فقرة 1.3 من توصي في الإصدارات السابقة من هذه التوصية على النحو التالي:

(50) 
$$\psi_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\cos \alpha}{\varphi_{3m}}\right)^2 + \left(\frac{\sin \alpha}{\theta_3}\right)^2}} \quad \text{for } 0^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$$

حيث:

$$\varphi_{3m} = \varphi_3 \quad \text{for } 0^\circ \leq \psi \leq \varphi_{th}$$

وعلاوة على ذلك، ضمن الزاوية  $\psi$  بين  $90^\circ$  و  $180^\circ$  في مستوي الارتفاع (في هذه الحالة  $\psi = 180 - \theta$ )، يعرّف المتحول الجديد التالي  $\theta_{3m}$  الذي يتغير تدريجياً من  $\theta_3$  في  $90^\circ$  إلى  $\varphi_{3(180)}$  في  $180^\circ$ . وبالنظر إلى أن المحل الهندسي المتغير يشكل جزءاً من القطع الناقص، يُعبّر عموماً عن  $\varphi_{3m}$  بالمعادلة التالية (ويلاحظ أنه في حالة  $\varphi_{3(180)} = \theta_3$ ، تكون قيمة  $\theta_{3m}$  ثابتة وتساوي  $\theta_3$ ):

$$(51) \quad \theta_{3m} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\cos \theta}{\Phi_{3(180)}}\right)^2 + \left(\frac{\sin \theta}{\theta_3}\right)^2}} \quad \text{for } 90^\circ < \psi \leq 180^\circ$$

وبنفس الطريقة، بأخذ المعادلة (51) بعين الاعتبار، في نطاق  $\psi$  الأكبر من  $90^\circ$ ، لا تعتمد قيمة  $\psi_\alpha$  على  $\alpha$  بل على  $\theta$  وتمثل بالمعادلة التالية:

$$(52) \quad \psi_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\cos \theta}{\Phi_{3m}}\right)^2 + \left(\frac{\sin \theta}{\theta_3}\right)^2}} \quad \text{for } 90^\circ < \psi \leq 180^\circ$$

ويحال إلى المعادلتين (50) و(52) أعلاه بالمعادلة (2d3) في متن التوصية.

## الملحق 7

### نهج لحساب مخططات الإشعاع المرجعية لهوائي قطاعي في مدى التردد من 400 MHz إلى حوالي 6 GHz المعرف في الفقرة 1.3 من متن التوصية

#### 1 مقدمة

يقدم هذا الملحق تعريفاً وشرحاً تكميلياً للمعادلات والمعلومات في مخططات الإشعاع المرجعية لهوائي قطاعي في مدى التردد من 400 MHz إلى حوالي 6 GHz الموصف في الفقرة 1.3 من توصي.

اعتمدت الإصدارات السابقة من هذه التوصية الخوارزمية التي تحسب مخططات الإشعاع المرجعي باستخدام نفس المعادلات ونفس معلمة  $k$  في كل من مستويي السمات والارتفاع. ونتيجة لذلك، كان يصعب على مخططات الإشعاع المرجعي أن تنطبق بنحو جيد على مخططات الإشعاع للبيانات المقيسة في كل من مستويي السمات والارتفاع.

ومن أجل التغلب على هذه المشكلة، اعتمد الإصدار الحالي نهجاً جديداً، حيث يستخدم حساب كل مخطط إشعاع مرجعي في مستوي السمات أو الارتفاع معادلات منفصلة لا تستند إلى افتراض عرض حزمة 3 dB لحزمة إهليلجية المعرف في الملحق 3 بهذه التوصية.

#### 2 اعتبارات خاصة

من أجل إدخال معادلات أساسية جديدة لمخططات الإشعاع المرجعي، تُفترض النقاط التالية لهيكل الهوائي القطاعي:

- توضع عناصر الهوائي في صفيح في الاتجاه الرأسي مثل الهوائيات المتعددة الاتجاهات؛
- عناصر الهوائي هي عناصر قطاعية اتجاهية في الاتجاه الأفقي.

وعلى أساس هيكل هوائي متعدد الاتجاهات، يكون مخطط الإشعاع الرأسي الكلي للعناصر المشعة في صفيح دالة لزاوية الارتفاع حصراً لأن توجُّه الصفيح رأسي تماماً. ووفقاً لذلك، لا تتأثر مخططات الإشعاع الرأسية بتغير زاوية السمات. وبالنسبة لهوائيات شاملة الاتجاهات تستخدم عناصر ثنائية القطب مشعة، تكون مخططات إشعاع الهوائي الرأسية متطابقة بغض النظر عن زوايا

السمت. ومن ناحية أخرى، يتقلص نسبياً، في الهوائيات القطاعية ذات العناصر المشعة الاتجاهية، مخطط الإشعاع في زاوية السمت الاعتبائية،  $\varphi$ ، عن مخطط الإشعاع عند الزاوية  $\varphi = 0^\circ$  بنسبة ضغط،  $R$ ، مما يعني تناسب مدى ضغط الكسب الأفقي مع انزياح زاوية السمت من  $0^\circ$  إلى  $\varphi$ .

وفي الوقت نفسه، لا تتأثر مخططات الإشعاع الأفقي بتغير زاوية الارتفاع. إذن، تبقى قيمة كسب الهوائي الأفقي النسبي dB (كسب سلمي) نفس القيمة في زاوية سمت اعتبائية أيًا كانت زوايا الارتفاع. ووفقاً لذلك، يعبر عن الكسب الأفقي النسبي في زاوية اعتبائية،  $G_{ar}(\varphi, \theta)$ ، على النحو التالي:

$$(53) \quad G_{ar}(\varphi, \theta) = G_{ar}(\varphi, 0^\circ) \quad (\text{dB})$$

حيث:

$\varphi$ : زاوية السمت نسبة إلى زاوية الكسب الأقصى في المستوي الأفقي (بالدرجات) ( $-180^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$ )

$\theta$ : زاوية الارتفاع بالنسبة إلى المستوى الأفقي المحلي عندما يكون الكسب الأقصى في ذلك المستوي (بالدرجات) ( $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ).

ولذلك، يمكن وصف نسبة الضغط،  $R$ ، المذكورة أعلاه على النحو التالي:

$$R = \frac{G_{ar}(\varphi, 0^\circ) - G_{ar}(180^\circ, 0^\circ)}{G_{ar}(0^\circ, 0^\circ) - G_{ar}(180^\circ, 0^\circ)}$$

$R$ : نسبة ضغط الكسب الأفقي مع انزياح زاوية السمت من  $0^\circ$  إلى  $\varphi$ ،

ويعبر عن الكسب الرأسي النسبي في زاوية اعتبائية،  $G_{er}(\varphi, \theta)$ ، على النحو التالي:

$$(54) \quad G_{er}(\varphi, \theta) = R \cdot G_{er}(0^\circ, \theta) \quad (\text{dB})$$

وفي المحصلة، يُوصف الكسب النسبي للهوائي القطاعي في نقطة اعتبائية كمجموع dB للمعادلتين (53) و(54)، والكسب نسبة إلى هوائي متناح،  $G(\varphi, \theta)$ ، كدالة لاتجاه مقيس بعروض حزم 3 dB، أي المعادلة (2a1) في متن التوصية، وعلى النحو الموضح في المعادلة التالية:

$$(55) \quad G(\varphi, \theta) = G_0 + G_{hr}(x_h) + R \cdot G_{vr}(x_v) \quad (\text{dBi})$$

حيث:

$G_0$ : أقصى كسب في المستوي الأفقي (dBi)

$G_{hr}(x_h)$ : الكسب النسبي للهوائي في مستوي السمت باتجاه  $(x_h, 0)$  المقيس (dB)

$x_h$ :  $|\varphi|/\varphi_3$

$\varphi_3$ : عرض حزمة 3 dB في مستوي السمت (بالدرجات) (يُقَدَّر عموماً بعرض حزمة الهوائي القطاعي)

$G_{vr}(x_v)$ : الكسب النسبي للهوائي في مستوي الارتفاع باتجاه  $(0, x_v)$  المقيس (dB)

$x_v$ :  $|\theta|/\theta_3$

$\theta_3$ : عرض حزمة 3 dB في مستوي الارتفاع (بالدرجات)؛

وفي هذه الحالة، يمكن التعبير عن  $R$ ، أي المعادلة (2a2) في متن التوصية، على النحو الموضح أدناه:

$$(56) \quad R = \frac{G_{hr}(x_h) - G_{hr}\left(\frac{180^\circ}{\varphi_3}\right)}{G_{hr}(0) - G_{hr}\left(\frac{180^\circ}{\varphi_3}\right)}$$

وعلاوة على ذلك، باستخدام عناصر الهوائي ذات الاتجاه القطاعي، يمكن التعبير بنحو خاص عن مخططات إشعاع الفص الرئيسي في مستوى السميت بالمعادلة  $-12x_h^2$  بوحدة dB لأن هذه المعادلة أظهرت في الدراسة الماضية تقريباً جيداً ضمن عرض حزمة 3 dB لبيانات إشعاع الهوائي المقيسة في مستوى السميت.

وعلاوة على ذلك، يُفترض أن لقيمتي كسب الإشعاع المرجعي النسبيتين،  $G_{hr}(x_h)$  و  $G_{vr}(x_v)$ ، القيمة النسبية الدنيا. ويتجلى الحد الأدنى قرابة  $\pm 180^\circ$  في مستوى السميت وعند  $\pm 90^\circ$  في مستوى الارتفاع على أساس هياكل الهوائي القطاعي، وتتساوى قيمتا الحد الأدنى للكسب من الناحية النظرية. أما بالنسبة إلى الحد الأدنى للكسب النسبي،  $G_{180}$ ، فينبغي أن يكون مناسباً لاختيار القيمة المحسوبة عند النقطة  $(\phi, \theta) = (0^\circ, \pm 180^\circ)$  في مستوى الارتفاع باستخدام المعادلتين التاليتين، لأن القيمة المحسوبة انطبقت على مخططات إشعاع الارتفاع بنحو جيد جداً في العديد من مجموعات من البيانات المقيسة في الدراسة السابقة:

$$(57) \quad G_{180} = -\lambda_k - 15 \log(180^\circ/\theta_3) \quad (\text{dB})$$

حيث:

$$12 - 10 \log(1 + 8k_p) = \lambda_k$$

$k_p$ : المعلمة التي تحقق الكسب الأدنى النسبي لمخططات إشعاع الفص الجانبي الذروي

$$(58) \quad G_{180} = -\lambda_k - 3 - 15 \log(180^\circ/\theta_3) \quad (\text{dB})$$

حيث:

$$12 - 10 \log(1 + 8k_a) = \lambda_k$$

$k_a$ : المعلمة التي تحقق الكسب الأدنى النسبي لمخططات إشعاع الفص الجانبي بالقيم المتوسطة.

### 3 اشتقاق معادلات مخطط الإشعاع المرجعي

يعرض هذا القسم لقيمتي كسب الإشعاع المرجعي النسبيتين،  $G_{vr}(x_v)$  و  $G_{hr}(x_h)$ ، وخاصة في حالة مخططات إشعاع الفص الجانبي الذروية في مدى التردد من 400 MHz إلى حوالي 6 GHz. ومن ناحية أخرى، يسهل اشتقاق المعادلات ذات الصلة بمتوسط مخططات إشعاع الفص الجانبي، من الأسلوب المبين أدناه:

– يستعاض عن المعادلة (59) بالمعادلة (58) المخفّضة بنسبة 3 dB عن المعادلة (57)؛

– المعادلة (60) هي نفسها فيما تُستخدم المعادلة (61) كما هي تقريباً باستثناء فرق -3 dB خارج جزء الفص الرئيسي.

ولقيم الكسب المرجعية هذه القيمة الدنيا النسبية،  $G_{180}$ ، واستناداً إلى المعادلة (57)، يعبر عن القيمة، أي المعادلة (2b1) في متن التوصية، بالمعادلة التالية:

$$(59) \quad G_{180} = -12 + 10 \log(1 + 8k_p) - 15 \log\left(\frac{180^\circ}{\theta_3}\right)$$

حيث:

$k_p$ : المعلمة التي تحقق الكسب الأدنى النسبي لمخططات إشعاع الفص الجانبي الذروي.

### 1.3 معادلات الهوائي المرجعي النسبية في مستوى السميت

يعبر عن الكسب النسبي للهوائي المرجعي،  $G_{hr}(x_h)$ ، أي المعادلة (2b2) في متن التوصية، على النحو التالي:

$$G_{hr}(x_h) = -12x_h^2 \quad \text{for } x_h \leq 0,5$$

$$(60) \quad G_{hr}(x_h) = -12x_h^{(2-k_h)} - \lambda_{kh} \quad \text{for } 0,5 < x_h$$

$$G_{hr}(x_h) \geq G_{180}$$

حيث:

$$|\varphi|/\varphi_3 = x_h$$

$$k_h: \text{ عامل تعديل مخطط الإشعاع في السمات على أساس القدرة المتسربة } (0 \leq k_h \leq 1)$$

$$\lambda_{kh} = 3(1 - 0,5^{-k_h})$$

### 2.3 معادلات الهوائي المرجعي النسبية في مستوى الارتفاع

تتبع معادلات كسب الهوائي المرجعي النسبي في معظمها المعادلات المحددة في الإصدار السابق لهذه التوصية لأن مخططات الإشعاع المرجعي المحسوبة أظهرت في الدراسة الماضية تقريباً جيداً في الغالب لبيانات إشعاع الهوائي المقيسة حول أول فص جانبي في مستوى الارتفاع. غير أن كسب الهوائي المرجعي النسبي ليس أصغر من  $G_{180}$  أيضاً، وكذلك  $G_{hr}(x_h)$ ، وتقع القيمة الدنيا عند نقطة  $\theta = 90^\circ$ . وبالتالي يغيّر، فيما يتعلق بمعادلة احتساب جوار نقطة الحد الأدنى، عامل انحدار التوهين من 15 إلى  $C$  للوصول إلى نقطة الحد الأدنى هذه.

ويعبّر عن الكسب النسبي للهوائي المرجعي،  $G_{vr}(x_v)$ ، أي المعادلة (2b3) في متن التوصية، على النحو التالي:

$$(61) \quad \begin{aligned} G_{vr}(x_v) &= -12x_v^2 && \text{for } x_v < x_k \\ G_{vr}(x_v) &= -12 + 10\log(x_v^{-1,5} + k_v) && \text{for } x_k \leq x_v < 4 \\ G_{vr}(x_v) &= -\lambda_{kv} - C\log(x_v) && \text{for } 4 \leq x_v < 90^\circ/\theta_3 \\ G_{vr}(x_v) &= G_{180} && \text{for } x_v \geq 90^\circ/\theta_3 \end{aligned}$$

حيث:

$$|\theta|/\theta_3 = x_v$$

$$k_v: \text{ عامل تعديل مخطط الإشعاع في الارتفاع على أساس القدرة المتسربة } (0 \leq k_v \leq 1)$$

$$\sqrt{1 - 0,36 k_v} = x_k$$

$$\lambda_{kv} = 12 - C\log(4) - 10\log(4^{-1,5} + k_v)$$

ويُعرض عامل انحدار التوهين  $C$  كما يلي (انظر الملاحظة 3):

$$C = \frac{10 \log \left( \frac{\left( \frac{180^\circ}{\theta_3} \right)^{1,5} \cdot (4^{-1,5} + k_v)}{1 + 8k_p} \right)}{\log \left( \frac{22,5^\circ}{\theta_3} \right)}$$

### 4 مقارنة بين البيانات المقيسة ومخططات الإشعاع المرجعية المحسوبة

من أجل اختيار القيم المناسبة للمعاملات  $k_a$  و  $k_p$  و  $k_v$  و  $k_h$  المذكورة أعلاه للهوائيات النمطية، أجريت مقارنات لمخططات الإشعاع الذروية والمتوسطة بين مخططات الإشعاع المرجعية المحسوبة باستخدام المعادلات المذكورة أعلاه في الفقرة 3 وبين مخططات إشعاع الفص الجانبي المقيسة. وقيست مخططات إشعاع الفص الجانبي للهوائي بإعدادات مختلفة عن طريق تغيير الميل وتردد الإرسال.



وخللت هذه القياسات إحصائياً وعُرضت قياسات مقياس النسبة المئوية الخامس والتسعين كاليانات الذروية المقيسة للفص الجانبي، فيما يُعرض متوسط أداء القياسات كمتوسط البيانات المقيسة للفص الجانبي. وعندما استُخدم الميل خلال القياسات، جرى تعويض هذه البيانات في الأرقام بتحويل بيانات القياس في البعد الزاوي لوضع الكسب الأقصى في زاوية الارتفاع صفر.

وخلال وضع أحدث مراجعة لهذه التوصية، أُبلغ قطاع الاتصالات الراديوية بعدد من البيانات المقيسة للهوائيات القطاعية في مدى التردد المنحدر إلى 698 MHz. ومن خلال فحص البيانات المحسوبة التي بينت إمكانية تطبيق مخططات الإشعاع المرجعي هذه نزولاً إلى 400 MHz، لوحظ أيضاً عدم وجود أي سبب مادي يدعو لتغيير خصائص الهوائي جذرياً في النطاق السفلي.

وتظهر المقارنات لمخططات إشعاع الهوائي النمطي في الأشكال 23 إلى 26.

وتتمثل خصائص مخطط الإشعاع المقيس في الجدول 3.

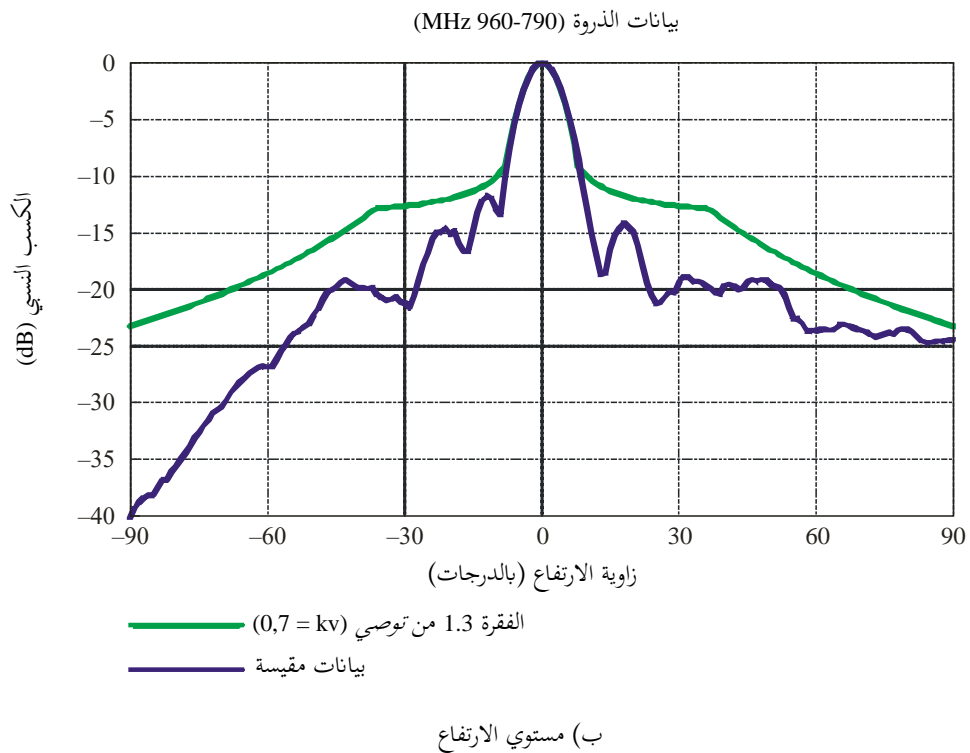
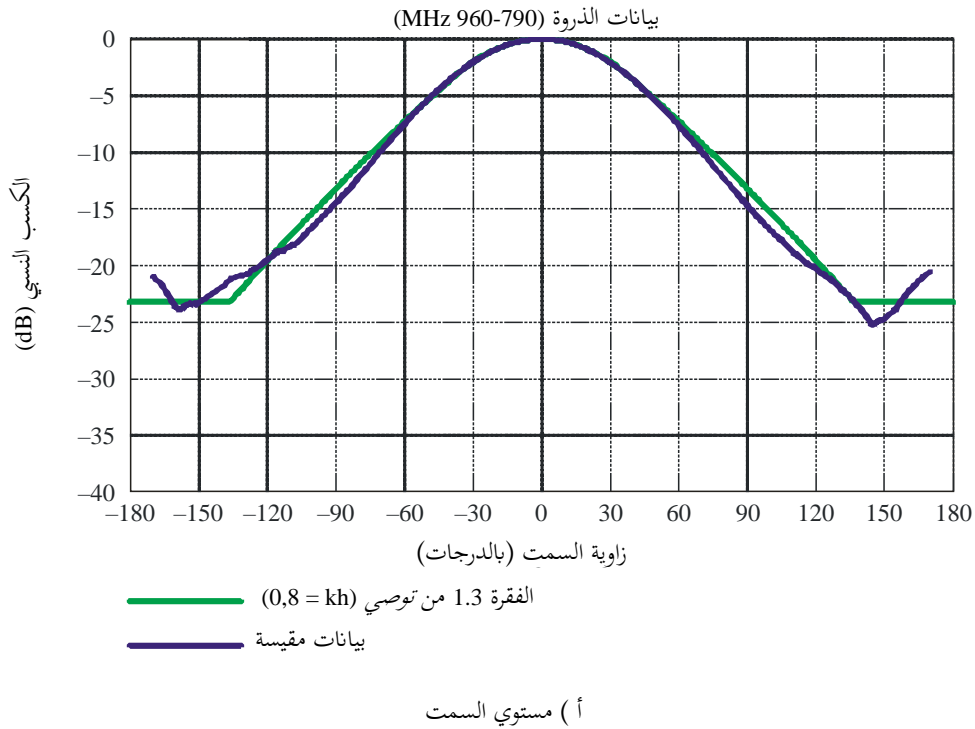
### الجدول 3

#### خصائص مخطط الإشعاع المقيس

التردد المقيس $f$ (GHz)	نمط مخطط الإشعاع	رقم الشكل
0,96-0,79	ذروي	22
2,7-1,71		23
0,96-0,79	متوسط	24
2,7-1,71		25

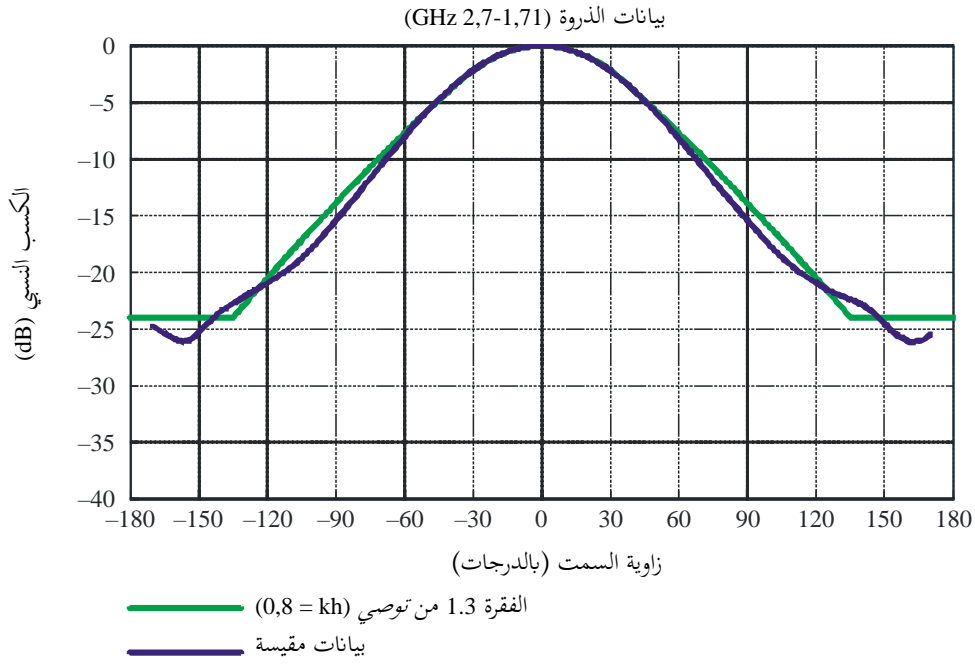
الشكل 23

مقارنة بين مخططات الإشعاع المقيسة الذروية الإحصائية  
وبين مخططات إشعاع الفص الجانبي الذروي المحسوبة ( $f$ : 960-790 MHz)

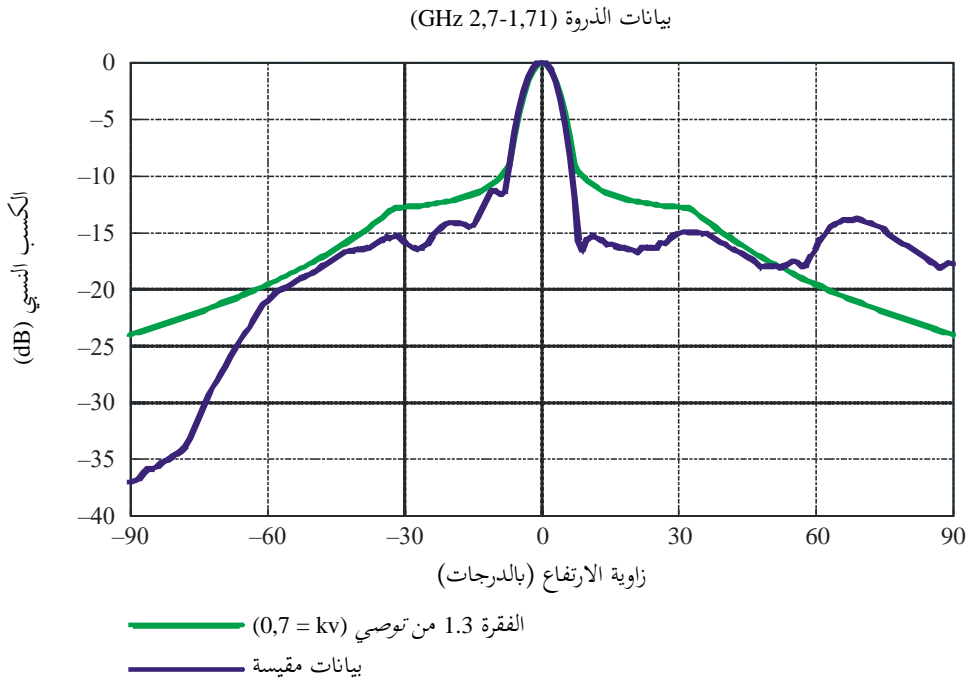


الشكل 24

مقارنة بين مخططات الإشعاع المقيسة الذروية الإحصائية  
وبين مخططات إشعاع الفص الجانبي الذروي المحسوبة ( $f: 2,7-1,71$  GHz)



أ) مستوى السم

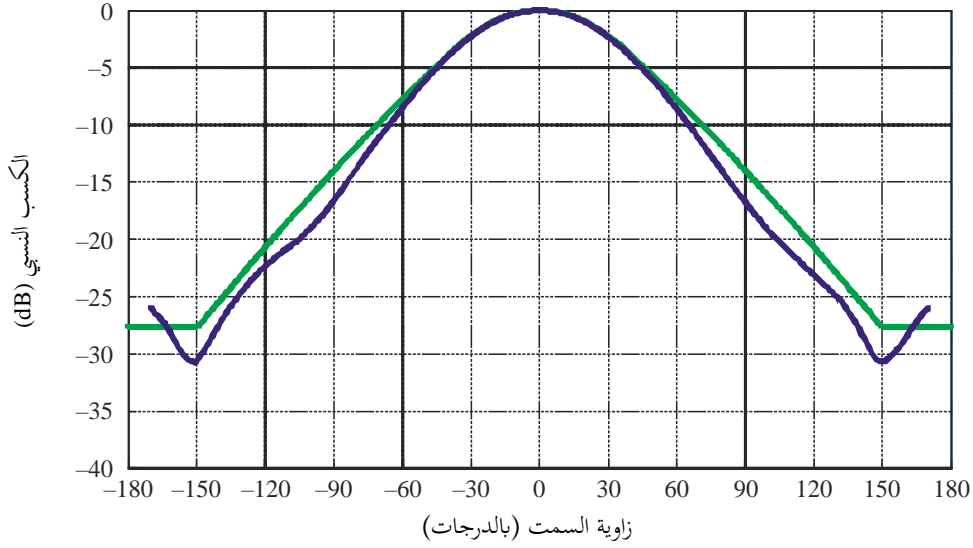


ب) مستوى الارتفاع

الشكل 25

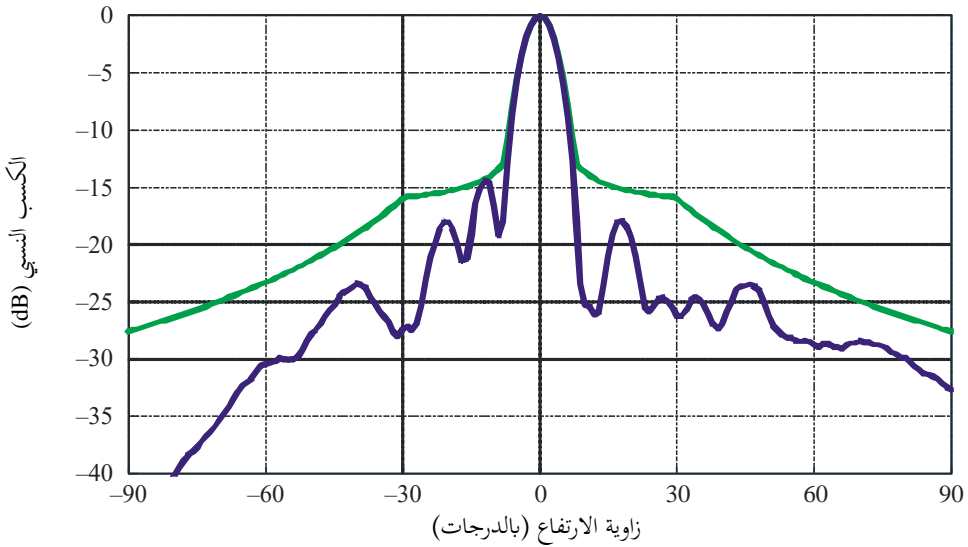
مقارنة بين المتوسط الإحصائي لمخططات الإشعاع المقيسة  
وبين متوسط الفص الجانبي المحسوب ( $f$ : 960-790 MHz)

متوسط البيانات (960-790 MHz)



(أ) مستوي السم

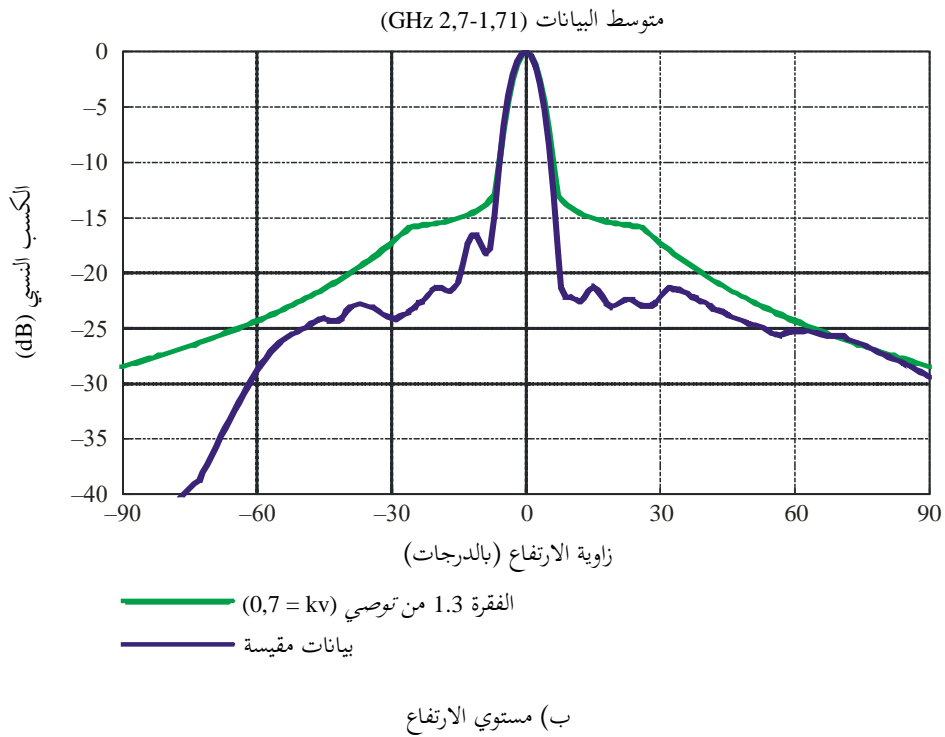
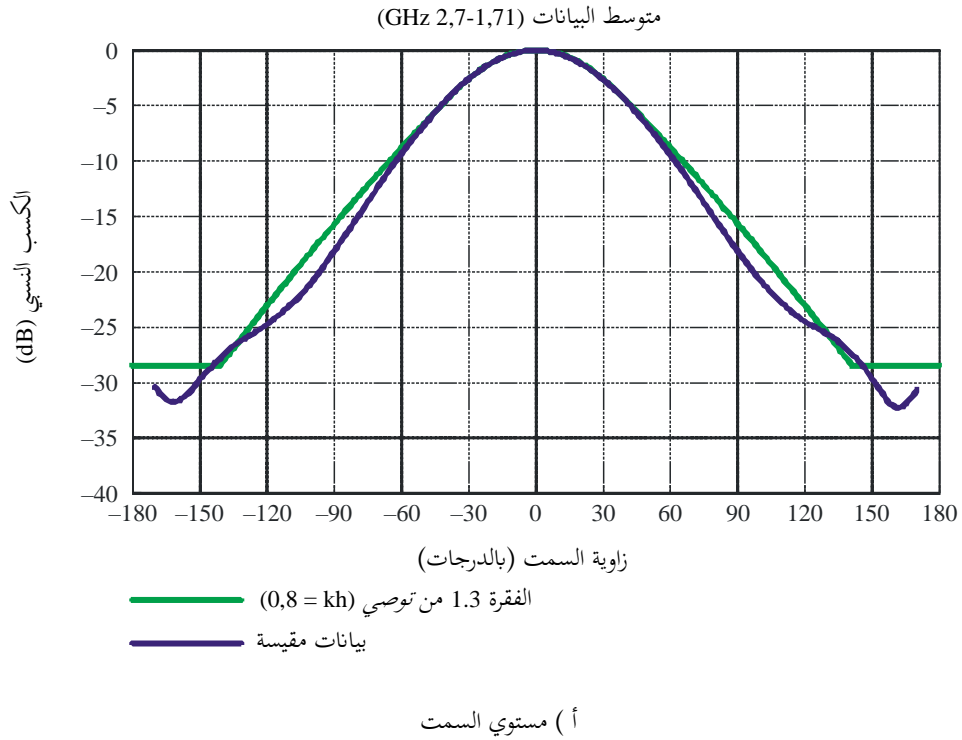
متوسط البيانات (960-790 MHz)



(ب) مستوي الارتفاع

الشكل 26

مقارنة بين المتوسط الإحصائي لمخططات الإشعاع المقيسة  
وبين متوسط الفص الجانبي المحسوب (GHz 2,7-1,71:f)



### 5 ملخص لمختلف قيم معاملات $k$

تُعرض القيم المناسبة المختارة للمعاملات  $k_h$  و  $k_v$  و  $k_p$  و  $k_a$  في الجدول 4 التالي (انظر الأجزاء ذات الصلة في فقرتي 1.1.3 و 2.1.3 من توصي. في متن التوصية).

الجدول 4

قيم المعاملات  $k_h$  و  $k_v$  و  $k_p$  و  $k_a$  لمخططات إشعاع الفص الجانبي الذروي/المتوسط المرجعية

مدى التردد من 400 MHz إلى حوالي 6 GHz				
نمط محسن يسري أيضاً على هوائيات محطة قاعدة IMT		النمط النموذجي		
متوسط الفص الجانبي	الفص الجانبي الذروي	متوسط الفص الجانبي	الفص الجانبي الذروي	
0,7	0,7	0,8	0,8	$k_h$
0,3	0,3	0,7	0,7	$k_v$
0,7	0,7	0,7	0,7	$k_p/k_a$