التوصيـــة ITU-R S.672-4*

مخطط الإشعاع المطلوب استعماله كهدف تصميمي لهوائيات السواتل في الخدمة الثابتة الساتلية التي تستعمل السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض

(1997-1995-1993-1992-1990)

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن استعمال هوائيات في المحطات الفضائية تتميز بأفضل مخططات إشعاع متيسرة سيؤدي إلى استخدام طيف الترددات الراديوية ومدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض بفعالية قصوى؛

ب) أن المحطات الفضائية المشغلة حالياً تستخدم هوائيات حزمها إهليلجية (أو دائرية) بتغذية وحيدة وهوائيات حزمها مقولبة بتغذية متعددة على حدٍ سواء؛

ج) أن المزيد من المعلومات ما زال مطلوباً، على الرغم مما أدخل من تحسينات حالياً في تصميم هوائيات المحطات الفضائية، قبل التوصل إلى اعتماد مخطط إشعاع مرجعي لأغراض التنسيق؛

د) أن اعتماد مخطط إشعاع كهدف تصميمي لهوائيات المحطات الفضائية سيؤدي إلى تشجيع تصنيع واستعمال هوائيات تسمح باستعمال المدار استعمالاً أكثر فعالية؛

هـ) أن أغراض التنسيق يكفيها تحديد خصائص الإشعاع لهوائيات المحطات الفضائية في اتجاهات التداخل المحتمل فقط؛

و) أن التعبيرات الرياضية ينبغي أن تكون بسيطة قدر الإمكان، ومتوائمة مع توقعات واقعية، حتى يمكن التوسع في تطبيقها؛

ز) أن هذه التعبيرات ينبغي لها، مع ذلك، أن تراعي خصائص أنظمة الهوائيات العملية وأن تكون قابلة للتكيف مع التكنولوجيات الجديدة؛

ح) أن صعوبات القياس تؤدي إلى عدم الدقة في نمذجة هوائيات المركبات الفضائية عند الزوايا الكبيرة خارج المحور؛

ط) أن تقييدات القدّ في مركبات الإطلاق تؤدي إلى تقييدات في قيم النسبة D/λ المتعلقة بهوائيات المركبة الفضائية وعلى الأخص في الترددات المنخفضة كما في النطاق GHz 6/4؛

ي) أن المعلمات الخاصة بمخططات إشعاع هوائيات المحطات الفضائية، مثل النقطة المرجعية ومنطقة التغطية وكسب الذروة المكافئ، والتي يمكن استعمالها لتعريف مخطط الإشعاع المرجعي لهوائي المحطة الفضائية، واردة في الملحق 1؛

ك) أن برنامجين حاسوبيين قد تم إعدادهما لتحديد أكفة التغطية (انظر الملحق 2)،

* أدخلت لجنة الدراسات 4 للاتصالات الراديوية تعديلات صياغية على هذه التوصية عام 2001 طبقاً لأحكام القرار ITU-R 44 (RA-2000).

توصـــي

1 باستعمال مخطط الإشعاع التالي كهدف تصميمي خارج منطقة التغطية فيما يتعلق بهوائيات المركبات الفضائية ذات الحزم الدائرية أو الإهليلجية بتغذية وحيدة في الخدمة الثابتة الساتلية (FSS):

(1)	$G(\psi) = G_m - 3\,(\psi / \psi_b)^{\alpha}$	dBi	for $\psi_b \le \psi \le a\,\psi_b$
(2a)	$G(\psi) = G_m + L_N + 20 \log z$	dBi	for $a\,\psi_b < \psi \le 0{,}5\,b\,\psi_b$
(2b)	$G(\psi) = G_m + L_N$	dBi	for $0{,}5b\,\psi_b < \psi \le b\,\psi_b$
(3)	$G(\psi) = X - 25 \log \psi$	dBi	for $b\,\psi_b < \psi \le Y$
(4a)	$G(\psi) = L_F$	dBi	for $Y < \psi \le 90°$
(4b)	$G(\psi) = L_B$	dBi	for $90° < \psi \le 180°$

حيث:

$$X = G_m + L_N + 25 \log (b\,\psi_b) \qquad \text{و} \qquad Y = b\psi_b\, 10^{0{,}04\,(G_m + L_N - L_F)}$$

$G(\psi)$: الكسب عند الزاوية ψ مع اتجاه الحزمة الرئيسية (dBi)

G_m : الكسب الأقصى في الفص الرئيسي (dBi)

ψ_b : نصف فتحة الحزمة عند 3 dB في المستوي المعتبر (أقل من G_m بمقدار 3 dB) (بالدرجات)

L_N : سوية الفص الجانبي القريب (dB) بالنسبة إلى كسب الذروة الذي يتطلبه تصميم النظام.

L_F : سوية الفص الجانبي البعيد (dBi)

z : (نسبة المحور الكبير إلى المحور الصغير) للحزمة المشعة

L_B : (15 + L_N + 0.25 G_m + 5 log z dBi) أو 0 dBi أي القيمتين أعلى.

الملاحظة 1 – إن المخططات المنطبقة على الحزم الإهليلجية تتطلب تحققاً تجريبياً وتكون قيم a في الجدول 1 مؤقتة.

الجدول 1

L_N (dB)	a	b	α
20–	$2{,}58\ \sqrt{(1-\log z)}$	6,32	2
25–	$2{,}58\ \sqrt{(1-0{,}8\log z)}$	6,32	2
30–	–	6,32	–

يبين الجدول 1 القيم العددية للمقادير a وb وα من أجل سويتي الفص الجانبي القريب L_N: $L_N = -20$ dB و$L_N = -25$ dB. أما قيمتا a وα من أجل $L_N = -30$ dB فتتطلبان المزيد من الدراسة. والإدارات مدعوة إلى توفير المعطيات اللازمة لكي يتاح تحديد قيمتي a وα من أجل $L_N = -30$ dB.

2 بانتقاء مخطط الإشعاع المعتبر هدفاً تصميمياً وفق الصيغ التالية، تبعاً لصنف الهوائي ولمدى قيم نسبة المسح، وذلك فيما يتعلق بهوائيات المركبات الفضائية في الخدمة FSS ذات الحزم المقولبة بتغذية متعددة.

تعريف أصناف الهوائيات

- تعريف هوائيات الصنف A:

إن هوائيات الصنف A هي الهوائيات التي يقع محور تسديدها داخل منطقة التغطية.

- تعريف هوائيات الصنف B:

إن هوائيات الصنف B هي الهوائيات التي يقع محور تسديدها خارج منطقة التغطية، لحزمة واحدة أو لأكثر من حزمة.

تعريف نسبة المسح

يوجد تعريفان لنسبة المسح:

تعرّف نسبة المسح δ الواردة في الفقرة 1.2 على أنها حاصل قسمة المسافة الزاوية بين مركز التغطية (والمعرف على أنه مركز القطع الناقص ذي المساحة الصغرى) ونقطةٍ ما على حافة التغطية، المقسومة على الفتحة الزاوية للحزمة العنصرية المكونة.

وتعرّف نسبة المسح S الواردة في الفقرتين 2.2 و3.2 على أنها حاصل قسمة المسافة الزاوية بين محور تسديد الهوائي ونقطة ما على حافة التغطية، المقسومة على الفتحة الزاوية للحزمة العنصرية المكونة.

ويوصى في البدء باستعمال تعريف نسبة المسح δ لتحديد الجزء من جزءي الفقرة "توصي" الذي ينطبق على هوائي معين من هوائيات الصنف A؛

1.2 فيما يتعلق بهوائيات الصنف A مع قيم لنسبة المسح $\delta \leq 3{,}5$:

$$G_{\mathrm{dBi}}(\Delta\psi) = \begin{cases} G_{ep} \pm 0.256 - 13.065\left(\dfrac{\Delta\psi}{Q\psi_0} + 0.5\right)^2 & \text{for} \quad 0 \leq \dfrac{\Delta\psi}{\psi_0} \leq 0.8904Q \\ G_{ep} - 25 & \text{for} \quad 0.8904Q < \dfrac{\Delta\psi}{\psi_0} \leq 1.9244Q \\ G_{ep} - 25 + 20\log\left(\dfrac{1.9244Q\psi_0}{\Delta\psi}\right) & \text{for} \quad 1.9244Q < \dfrac{\Delta\psi}{\psi_0} \leq 18/\psi_0 \end{cases}$$

حيث:

$\Delta\psi$: الزاوية (بالدرجات) انطلاقاً من كفاف التغطية المحدب إلى نقطة تقع خارج منطقة التغطية في اتجاه عمودي على أضلاع الكفاف

G_{ep} : كسب الذروة المكافئ (dBi)

$$= 3{,}0 + G_e$$

ψ_0 : فتحة الحزمة العنصرية المكونة عند نصف القدرة (بالدرجات)

$$= 72\ (\lambda/D)$$

λ: طول الموجة (بالأمتار)

D: القطر المادي للعاكس (بالأمتار)

$$Q = 10^{\left(\frac{0.000075(\delta - 1/2)^2}{[(F/D_p)^2 + 0.02)]^2}\right)}$$

δ: نسبة المسح كما تم تعريفها في الفقرة 2

F/D_p: نسبة البعد البؤري للعاكس F إلى قطر الهوائي المكافئي الرئيسي D_p

$$D_p = 2\ (d + h)$$

d: قطر الفتحة المتوقع للمجسم المكافئي المتخالف،

h: الارتفاع المتخالف بالنسبة إلى حافة العاكس.

2.2 فيما يتعلق بهوائيات الصنف A مع قيم لنسبة المسح $S \geq 5$:

$$G_{\text{dBi}}(\Delta\psi) = \begin{cases} G_e - B\left[\left(1+\dfrac{\Delta\psi}{\psi_b}\right)^2 - 1\right] & \text{for} \quad 0^\circ \leq \Delta\psi \leq C\psi_b \\ G_e - 22 & \text{for} \quad C\psi_b < \Delta\psi \leq (C+4.5)\psi_b \\ G_e - 22 + 20\log_{10}\left[\dfrac{(C+4.5)\psi_b}{\Delta\psi}\right] & \text{for} \quad (C+4.5)\psi_b < \Delta\psi \leq 18^\circ \end{cases}$$

حيث:

$\Delta\psi$: الزاوية (بالدرجات) انطلاقاً من كفاف التغطية المحدب في اتجاه عمودي على أضلاع الكفاف

G_e : الكسب عند حافة التغطية (dBi)

$B = B_0 - (S - 1{,}25)\,\Delta B$ مع $S \geq 5$

$B_0 = 2{,}05 + 0{,}5\,(F/D - 1) + 0{,}0025\,D/\lambda$

$\Delta B = 1{,}65\,(D/\lambda)^{-0{,}55}$

ψ_b : نصف قطر الحزمة الصغيرة

$= 36\,\lambda/D$

λ : طول الموجة (بالأمتار)

D : القطر المادي للعاكس (بالأمتار)

$$C = \sqrt{1 + \frac{22}{B}} - 1$$

S : نسبة المسح كما تم تعريفها في الفقرة 2

F/D : نسبة البعد البؤري إلى القطر المادي للهوائي؛

3.2 فيما يتعلق بهوائيات الصنف B التي لا تستعمل إلا نسبة المسح S (من أجل $S \geq 0$):

$$G_{\text{dBi}}(\Delta\psi) = \begin{cases} G_e - B\left[\left(1+\dfrac{\Delta\psi}{\psi_b}\right)^2 - 1\right] & \text{for} \quad 0^\circ \leq \Delta\psi \leq C\psi_b \\ G_e - 17 + 18.7012\log_{10}\left(\cos\left[\dfrac{\Delta\psi - C\,\psi_b}{\psi_b}\right]\right) & \text{for} \quad C\psi_b < \Delta\psi \leq (C+1)\psi_b \\ G_e - 22 & \text{for} \quad (C+1)\psi_b < \Delta\psi \leq (C+4.5)\psi_b \\ G_e - 22 + 20\log_{10}\left[\dfrac{(C+4.5)\psi_b}{\Delta\psi}\right] & \text{for} \quad (C+4.5)\psi_b < \Delta\psi \leq 18^\circ \end{cases}$$

حيث:

$\Delta\psi$: الزاوية (بالدرجات) انطلاقاً من كفاف التغطية المحدب في اتجاه عمودي على أضلاع الكفاف

G_e : الكسب عند حافة التغطية (dBi)

$B = B_0 - (S - 1{,}25)\,\Delta B$ من أجل $S \geq 0$

$B_0 = 2{,}05 + 0{,}5\,(F/D - 1) + 0{,}0025\,D/\lambda$

$\Delta B = 1{,}65\,(D/\lambda)^{-0{,}55}$

ψ_b : نصف قطر الحزمة الصغيرة

$$36\,\lambda/D =$$

λ : طول الموجة (بالأمتار)

D : القطر المادي للعاكس (بالأمتار)

$$C = \sqrt{1 + \frac{17}{B}} - 1$$

S : نسبة المسح كما تم تعريفها في الفقرة 2

F/D :نسبة البعد البؤري إلى القطر المادي للهوائي؛

4.2 فيما يتعلق بهوائيات الصنف A حيث تكون قيم نسبة المسح $\delta > 3{,}5$ و$S < 5$، ما زال الهدف التصميمي قيد الدراسة. ويتطلب الأمر على وجه الخصوص إجراء دراسات بشأن التوسع في تطبيق المعادلات الواردة في الفقرتين 1.2 و2.2 ليشمل هذا المجال. ويرد في الملحق 1 طريقة يمكن استعمالها لمد الهدف التصميمي المعني إلى هذا المجال. أما فيما يتعلق بتعريف نسبة المسح δ ونسبة المسح S وتطبيقهما فيرجى الرجوع إلى الفقرة 2.

5.2 باعتبار الملاحظات التالية جزءاً من الفقرتين 1.2 و2.2:

الملاحظة 1 – تعرّف منطقة التغطية على أنها الكفاف المرسوم انطلاقاً من نقاط المضلع الذي يحيط بمنطقة الخدمة، باستعمال الطريقة الواردة في الملحق 2.

الملاحظة 2 – عندما يتعلق الأمر بالمقاطع، وحيث يقع كفاف الكسب –3 dB خارج كفاف التغطية المرسوم، فإن المخطط الذي يُستعمل كهدف تصميمي يجب أن ينطلق من الكفاف –3 dB.

الملاحظة 3 – يجب ألا تطبق هذه التوصية إلا في اتجاه نظام حساس بالتداخلات. أي لا يحتاج الأمر إلى تطبيقها في الاتجاهات التي لا يوجد فيها احتمال حدوث تداخل لشبكات أخرى (مثل خارج حافة الأرض ومناطق المحيطات غير المأهولة). وقد يحدث أن تتجاوز 10% من المقاطع المخطط الموصى به كهدف تصميمي.

الملاحظة 4 – لا تنطبق هذه التوصية على هوائيات النطاق مزدوج التردد. وتنتمي إلى هذه الفئة الهوائيات التي تستعمل تشوه الطور المحثوث من العاكس من أجل توسيع الحزمة وتتطلب هذه الهوائيات مزيداً من الدراسة.

الملحـــق 1

مخططات الإشعاع لهوائيات السواتل في الخدمة الثابتة الساتلية

1 مخططات الإشعاع المرجعية لهوائيات السواتل

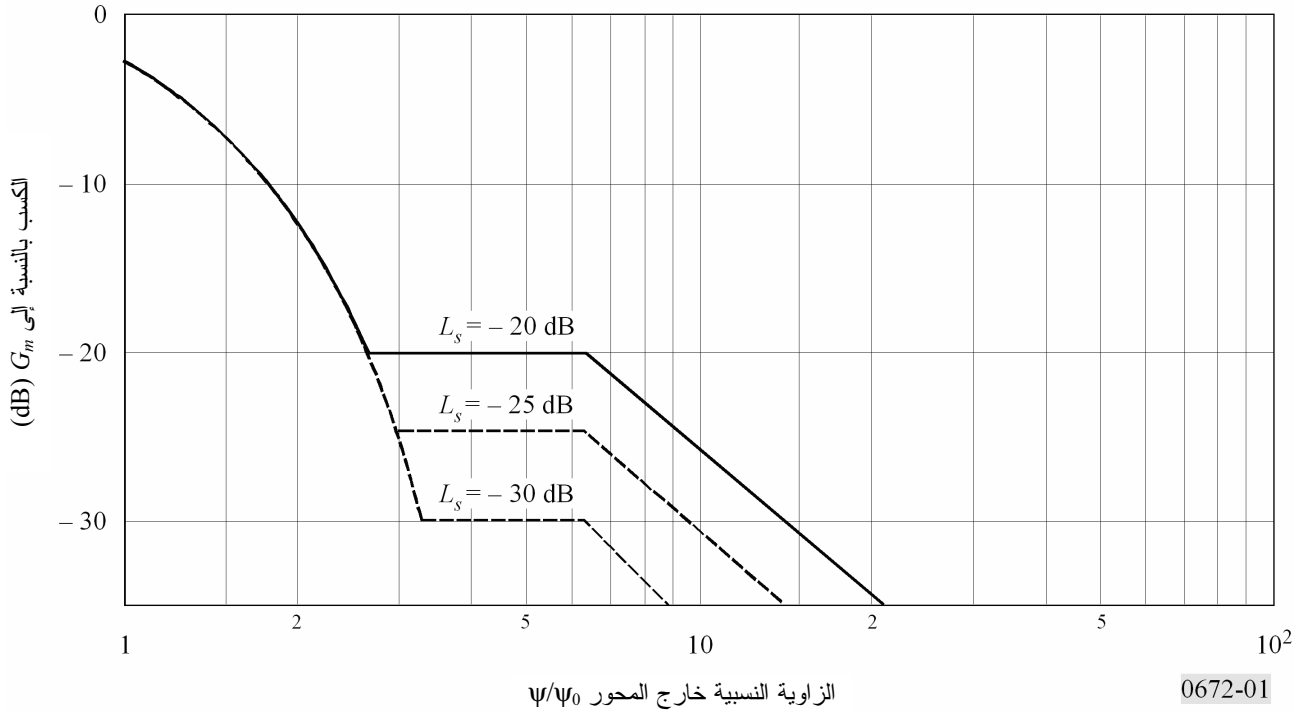
1.1 الحزم الدائرية ذات التغذية الوحيدة

يعد مخطط إشعاع هوائي الساتل هاماً في منطقة الفص الرئيسي كما هو هام أيضاً في منطقة الفصوص الجانبية الأكثر بعداً. وتبدأ المخططات المحتملة انطلاقاً من الكفاف –3 dB عن الفص الرئيسي، وتنقسم إلى أربع مناطق ممثلة في الشكل 1.

غير أن بعض الصعوبات تبرز عند محاولة تطبيق هذا المخطط على حزمة غير دائرية. ولهذا يرجى من الإدارات أن تقدم مخططات إشعاع مقيسة بواسطة حزم أكثر تعقيداً من الحزم الدائرية البسيطة.

الشكل 1

دوالّ غلاف مخطط الإشعاع



$$G(\psi) = G_m - 3\,(\psi/\psi_0)^2 \quad \text{dBi} \quad \text{for} \quad \psi_0 \le \psi \le a\,\psi_0 \qquad \text{(I)}$$

$$G(\psi) = G_m + L_s \quad \text{dBi} \quad \text{for} \quad a\,\psi_0 < \psi \le b\,\psi_0 \qquad \text{(II)}$$

$$G(\psi) = G_m + L_s + 20 - 25 \log (\psi/\psi_0) \quad \text{dBi} \quad \text{for} \quad b\,\psi_0 < \psi \le \psi_1 \qquad \text{(III)}$$

$$G(\psi) = 0 \quad \text{dBi} \quad \text{for} \quad \psi_1 < \psi \qquad \text{(IV)}$$

حيث:

$G(\psi)$: الكسب المقابل للزاوية (ψ) مع محور الحزمة (dBi)

G_m : الكسب الأقصى في النص الرئيسي (dBi)

ψ_0 : نصف فتحة الحزمة عند 3 dB في المستوي المعتبر (أقل من G_m بمقدار 3 dB) (بالدرجات)

ψ_1 : القيمة (ψ) عندما يكون $G(\psi)$ في المعادلة III مساوياً 0 dBi

L_s : سوية الفص الجانبي القريب (dB) المطلوب بالنسبة إلى الكسب الأقصى

a, b : تعطي قيمها العددية فيما يلي:

L_s	a	b
20–	2,58	6,32
25–	2,88	6,32
30–	3,16	6,32

2.1 الحزم الإهليلجية ذات التغذية الوحيدة

تعرف الدوّال السابقة الواردة في الشكل 1 غلافاً أقصى للفصوص الجانبية الأولى عند سوية تبلغ –20 dB بالنسبة إلى كسب الذروة وينطبق هذا المخطط على هوائيات تصميمها بسيط نسبياً. غير أنه من المستحسن، بغية استعمال سعة المدار استعمالاً أفضل، تخفيض هذه السوية إلى –30 dB واستعمال هوائيات ذات تصميم أكثر تطوراً. ويفي بهذا المطلب المخطط الخاص

بهوائيات الإذاعة الساتلية والذي اعتمده المؤتمر الإداري العالمي للراديو المعني بتخطيط الخدمة الإذاعية الساتلية الذي انعقد في جنيف عام 1977 (WARC BS-77)، وهذا المخطط يجري تحقيقه حالياً ولهذا يجب تطبيقه في هذه الحالة. وقد يتطلب الأمر دراسات أخرى لتقدير الإمكانية العملية لتحقيق مثل هذه التخفيضات في سويات الفصوص الجانبية خاصة ضمن النطاقين GHz 6/4.

3.1 الحزم المقولبة ذات التغذية المتعددة

يجب أن يستند مخطط مماثل، ينطبق على الحزم المقولبة، إلى تحليل عدة حزم مقولبة، وإلى اعتبارات نظرية كذلك. ويجب أن تحدد معلمات إضافية كقطر الحزمة الصغيرة العنصرية، وسوية الفص الجانبي الأول. وفوق ذلك، تعتبر المقاطع العرضية وطريقة قياس الزوايا، جزءاً من تعريف المخطط.

عندما يحقق هذا المخطط المرجعي، تبقى المسألة الأهم هي الحصول على التمييز ابتداء من حدود التغطية لكل أنماط الهوائيات بما فيها الهوائيات ذات الحزمة المقولبة الأكثر تعقيداً، وذلك بدلالة الفصل الزاوي لمناطق التغطية، كما تُرى من المدار. إن مخطط إشعاع الهوائي ذي الحزمة المقولبة هو مخطط وحيد ويتحدد تحديداً رئيسياً بالعوامل التشغيلية والتقنية التالية:

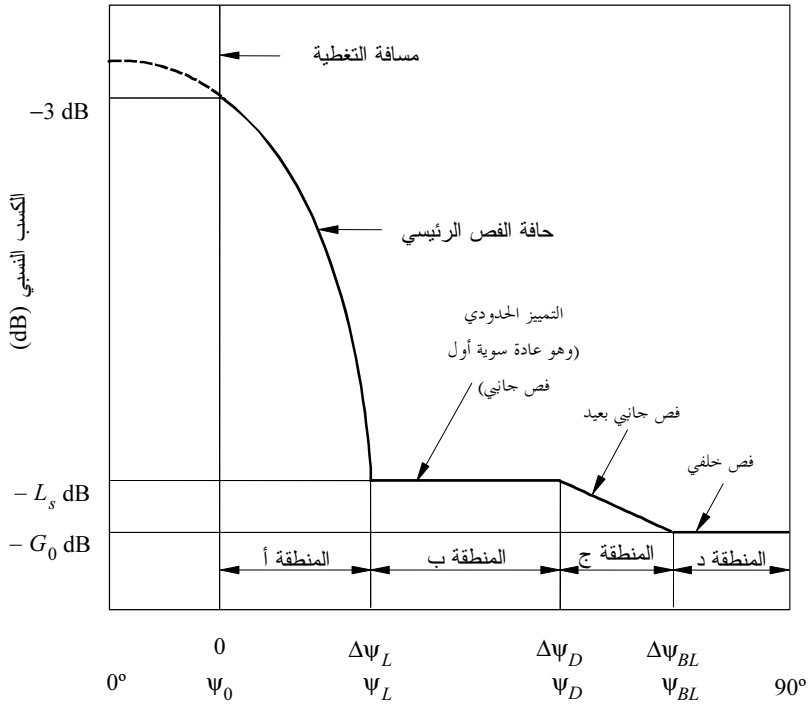
- شكل منطقة التغطية؛
- خط طول الساتل؛
- فتحة الهوائي القصوى؛
- تحقيق التغذية وتناقص الإضاءة التدريجي؛
- قطر فتحة العاكس المقيس (D/λ)؛
- نسبة البعد البؤري إلى قطر الفتحة (F/D)؛
- عدد مرات إعادة استعمال الترددات ومنافذ الحزم المستقلة؛
- عدد عناصر التغذية المستعملة؛
- عروض النطاق؛
- الحاجة إلى الاستقطاب المتعامد؛
- منطقة التغطية الزاوية الكاملة المؤمنة؛
- استقرار إثارات عنصر التغذية في الطور وفي الاتساع؛
- متطلبات إعادة التشكيل؛
- عدد المواقع المدارية التي ينبغي انطلاقاً منها تأمين كل تغطية للحزمة؛
- التفاوت المسموح به المحقق في مساحة سطح العاكس؛
- تسديد الحزمة (على سبيل المثال: تحديد موقع الحزمة المتوقف على الساتل، أو تحديد موقع الحزمة المستقل عنه بواسطة منارات التتبع المقامة على سطح الأرض)؛
- الانحطاط في عناصر الحزمة العائد إلى أنواع زيغ في المسح تتوقف على العاكس أو على شكل الهوائي حسب الحالة (مثل: العاكس الوحيد والعاكس المزدوج ونظام العاكس المقولب دون محور بؤري وصفيف هوائيات تشع مباشرة، إلخ.).

وقد تبرز بسبب كل العوامل المذكورة صعوبات في إحكام مخطط مرجعي وحيد للهوائيات ذات الحزم المقولبة.

لا يعتبر المخطط المرجعي الموجود في الشكل 1 لهوائيات بحزم مقولبة مرضياً، وذلك أن معلمة أساسية من المخطط المرجعي هي ψ_0، نصف فتحة الحزمة عند –3 dB، بينما مركز الحزمة المقولبة غير معرف تعريفاً جيداً، ولا يقابل أبداً الاستجابة خارج الحزمة. وقد يشكل مخطط مرجعي بسيط يحتوي على 4 قطع، كما يظهر في الشكل 2، نموذجاً للمخطط المرجعي أكثر إرضاء. وقد يصبح ميل حافة هذا المخطط دالة للمسافة الزاوية خارج كفاف التغطية.

الشكل 2

شكل محتمل لمخطط إشعاع مرجعي



يشكل الاتجاه الخاص الذي تقاس فيه هذه المسافة الزاوية معلمة لا بد من تعريفها كذلك. وتتمثل إحدى الطرائق إلى ذلك بقياس هذه الزاوية عمودياً على كفاف الكسب الثابت الأقرب من منطقة التغطية. وتنشأ بعض الصعوبات في هذه الطريقة حين تكون أجزاء من أكفة الكسب مقعرة كما هو الحال مع مخططات تأخذ شكل هلال. وقد يحدث للاتجاه العمودي على الكفاف، في هذا النمط من المخططات، أن يتقاطع مع منطقة التغطية مجدداً. أما من وجهة نظر تصميم الهوائي فتزداد الصعوبة في الحصول على تمييز مرضٍ في الجزء المقعر من المخطط كلما ازدادت درجة التقعر. وتوجد طريقة أخرى قد تسمح بالتغلب على هذه المشاكل، تتمثل بتحديد منطقة التغطية بواسطة كفاف لا يتضمن أي تقعر، ثم قياس الزوايا عمودياً انطلاقاً من هذا الكفاف باعتبار هذا الأخير وكأنه حدود التغطية. وثمة طرائق أخرى ممكنة تسمح بتعريف الاتجاه الذي تتم فيه القياسات، وذلك من خلال استعمال مركز إهليلج محدد على سبيل المثال كنقطة مرجعية (راجع الفقرتين 1.2 و2.2). ولكن الوصول إلى تعريف واضح لكل مخطط إشعاع يشكل مسألة ضرورية.

وعندما يتم تعريف الاتجاه، نستطيع تقسيم مخطط الإشعاع إلى أربع مناطق هامة:

المنطقة أ: حافة الفص الرئيسي (حافة التغطية بالنسبة إلى زاوية التمييز الحدودي)

يفترض أن هذه المنطقة تقابل ما نعتبره مناطق التغطية المتجاورة. وقد نستطيع الحصول على التمييز الضروري فيما بين الشبكات الساتلية، انطلاقاً من دمج تمييز هوائي الساتل والفصل المداري.

ثمة دالة بسيطة يمكن تطبيقها على هذه المنطقة قد تكون مشابهة للدالة المشار إليها في المعادلة (I) في الشكل 1.

المنطقة ب: منطقة تغطية غير مجاورة

تبدأ هذه المنطقة من النقطة التي يقدم مخطط الإشعاع فيها تمييزاً كافياً لكي يتيح للسواتل التي تشغل تقريباً الموقع نفسه أن تخدم مناطق غير متجاورة ($\Delta\psi_L$ في الشكل 2). وقد يتراوح التمييز الحدودي (L_s) بين –20 dB و–30 dB

المنطقة ج: منطقة الفصوص الجانبية البعيدة

المنطقة د: منطقة الفص الخلفي

تغطي كل واحدة من هذه المناطق الفصوص الجانبية ذات الرتبة الأعلى وتؤخذ بعين الاعتبار في الحالة التي تبتعد فيها مناطق الخدمة بعضها عن بعض ابتعاداً كبيراً، وفي حالة بعض أجزاء المدار في نطاقات الترددات المستعملة في الاتجاهين. ويجب في هذه الحالة الأخيرة، أن تؤخذ احتياطات عند تناول زوايا خارج المحور كبيرة جداً، لأن ثمة تأثيرات مهمة قد تنتجها انعكاسات غير متوقعة على منصة المركبة الفضائية، والفيض على العاكس الرئيسي. ويقترح إلى حين الحصول على معلومات أوفر أن يحضر لغلاف أدنى من الكسب بمقدار 0 dBi (المنطقة د في الشكل 2).

2 نماذج لمخطط إشعاع هوائي ذي حزمة مقولبة

يمكن استعمال مخطط مرجعي مبسط من أجل وضع نموذج يستعمل حزمة مقولبة، وذلك قبل التصميم الفعلي للهوائي ونجد أدناه نموذجين يمكنهما توليد مثل هذه المخططات والمعلمات المرتبطة بهما. ويناسب هذان النموذجان ما قدم حول التداخل من دراسات تستخدم الحاسوب، كما يناسب التطبيقات اليدوية التي تستخدم خرائط مركزة على الساتل. كما يشكل هذان النموذجان أساساً لأي مخطط يوصى به إلا أنه ينصح مع ذلك بعدم تطبيق "مقاطع" المخططات الناتجة إلا في اتجاه أنظمة تتميز بحساسيتها للتداخل. وهذا يعني عدم تطبيقها في اتجاهات تفتقر إلى احتمال حدوث تداخل للشبكات الأخرى (خارج حافة الأرض مثلاً أو في مناطق المحيطات غير المأهولة، الخ.).

1.2 تمثيل منطقة التغطية

تم اقتراح طرائق عديدة في الماضي بغية تمثيل منطقة الخدمة التابعة لهوائيات الخدمة الثابتة الساتلية (FSS). وتنص إحدى هذه الطرائق على أن المسافة الزاوية خارج منطقة التغطية يجب أن تقاس في اتجاه ناظمي على طوبولوجيا منطقة الخدمة (كفاف كسب ثابت) كما تُرى من الساتل. ويصمم كفاف الكسب في الواقع كي يلائم منطقة الخدمة أكثر ملاءمة ممكنة، وبالتالي من المتوقع للفرق بين استعمال منطقة الخدمة وكفاف الكسب الثابت أن يكون صغيراً جداً. إلا أنه ستبرز بعض الصعوبات عند استعمال هذه الطريقة في بعض الحالات التي تكون فيها أجزاء من أكفة الكسب مقعرة كما هو الحال بالنسبة إلى المخططات التي تأخذ شكل هلال. فقد يحدث للاتجاه العمودي على الكفاف، في هذا النمط من المخططات، أن يتقاطع مع منطقة الخدمة مجدداً مما يسبب شيئاً من الالتباس (انظر الشكل 3أ)). كما توجد صعوبة أخرى في هذا التمثيل هي أنه بالنسبة إلى موقع معين خارج منطقة التغطية يمكن أن توجد أكثر من نقطة واحدة من منطقة الخدمة يكون فيها الخط الذي يصل موقع الرصد بالنقطة المعينة على منطقة الخدمة عمودياً على كفاف منطقة الخدمة عند هذه النقطة (انظر الشكل 3أ)).

إلا أنه توجد طريقة للتغلب على المصاعب المذكورة أعلاه وهي ترتكز على القياسات الزاوية الناظمية على منطقة التغطية وعلى المخططات التي تتضمن أجزاء مقعرة. وتتضمن هذه الطريقة عدداً من الرسومات البيانية وهي توصف في الملحق 2 بواسطة مجموعة إجراءات تتضمن كل خطوة من خطوات هذه الطريقة.

فضلاً عن ذلك، يمكن تبسيط هذه الإجراءات باستعمال أكفة تغطية لا تكون إلا محدبة. وللتوصل إلى أكفة التغطية المحدبة المشار إليها يجري استعمال الإجراءات الموصوفة في الملحق 2، على ألا تؤخذ في الاعتبار إلا الزوايا المحدبة، أي الزوايا حيث تكون الدائرة داخل كفاف التغطية. ويظهر في الشكل 3ب) كفاف التغطية المترتب على ذلك.

وتوجد طريقة أخرى لعرض مخططات الحزم المقولبة تتمثل برسم إهليلج بأصغر مساحة تمكنه من أن يحيط بمنطقة التغطية الفعلية. وتقاس المسافة الزاوية من حافة الإهليلج في اتجاه ناظمي على محيط هذا الإهليلج. وميزة هذه الطريقة هي السهولة النسبية التي تتيحها لكتابة برمجيات عالية الكفاءة لتعريف الإجراء الذي يتبع في قياس الزوايا. ومع ذلك يميل هذا العرض إلى أن يغالي في تقدير المنطقة التي تُعرف بمنطقة الخدمة الفعلية.

كما توجد طريقة تعتبر طريقة هجينة تعطي تعريفاً لا لبس فيه لتمثيل منطقة التغطية التابعة لهوائي ذي حزمة مقولبة. ويستعمل في هذه الطريقة إهليلج ذو مساحة دنيا يحيط بالتغطية الجغرافية وبواسطة هذا الإهليلج يتم تعريف مركز منطقة التغطية. ولا يمثل مركز منطقة التغطية بالضرورة مركز الحزمة وهو يستعمل فقط لتعريف محور مقاطع المخطط. وبعد تحديد مركز منطقة التغطية، لا يكون لهذا الإهليلج أهمية أخرى.

ويستعمل بعد ذلك مضلع محدَّب لتعريف حدود منطقة التغطية. أما عدد أضلاع المضلع فيتم تحديده على أساس أن المضلع يجب أن يحيط منطقة التغطية على أن يكون ملاصقاً لها قدر الإمكان وأنه يجب أن يكون محدَّباً. ويظهر في الشكل 3ج) مثال نمطي لتمثيل منطقة الخدمة. وتبدو الاتجاهات الزاوية نصف قطرية تنطلق من مركز منطقة التغطية.

وعندما يتعلق الأمر بموقع للرصد يقع خارج منطقة التغطية، يتم بوضوح تعريف اتجاه تطبيق القناع والمسافات الزاوية بالنسبة إلى مركز منطقة التغطية. إلا أن هذه الطريقة تميل إلى بخس تقدير المباعدة الزاوية بين أكفة الكسب خارج منطقة التغطية عندما تكون الزاوية نصف القطرية بعيدة كثيراً عن أن تكون ناظمية على كفاف التغطية.

وإيجازاً، يبدو أن الطريقة الأكثر قبولاً من ناحيتي الدقة والسهولة في الرسم هي الطريقة التي تستعمل أكفة التغطية المحدبة فقط مع مسافات زاوية تقاس في الاتجاهات العمودية على أضلاع الكفاف، كما يظهر في الشكل 3ب).

2.2 كسب الذروة المكافئ

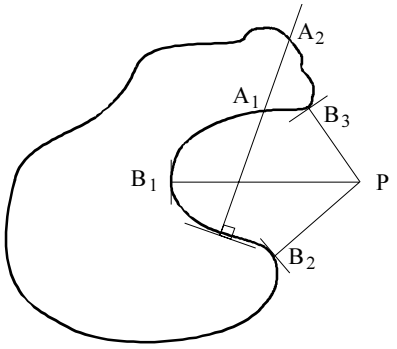
يعتبر الكسب الأدنى على منطقة التغطية المحقق على كفاف هذه المنطقة أقل من كسب الذروة المكافئ (G_{ep}) بمقدار 3 dB، وذلك في الحالات التي لا ضرورة فيها لتكييف الحزمة من أجل تعويض تغيرات شروط الانتشار على امتداد منطقة الخدمة. بيد أن كسب الذروة الفعال قد يكون في التطبيق العملي أعلى أو أدنى من كسب الذروة المكافئ، ولا يحدث بالضرورة على المحور.

قد تتغير شروط الانتشار تغيراً كبيراً على منطقة الخدمة في بعض الحالات، أو قد تسوغ متطلبات الخدمة ضبطاً خاصاً للحزمة في هذه المنطقة. ويحسب أدنى كسب نسبي ضروري في تلك الحالات (بالنسبة إلى الكسب المتوسط على كفاف منطقة التغطية) عند كل رأس من المضلع، ونستطيع أن نطبق فيما بعد استكمالاً داخلياً خطياً (بالسمت انطلاقاً من محور الحزمة) لتحديد الكسب النسبي في السموت الوسيطة . والكسب على كفاف منطقة التغطية هنا يتوقف على الاتجاه.

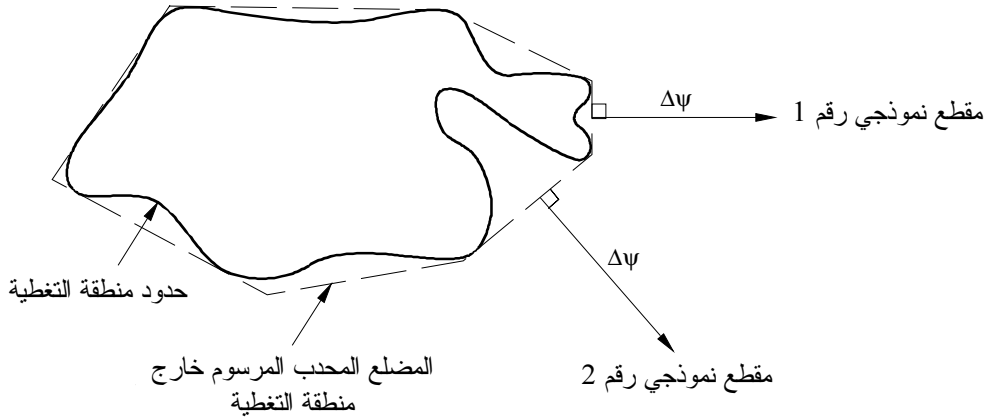
وتجدر الإشارة إلى أن تغير الكسب لحزمة مقولبة، في منطقة التغطية لا يرتبط بتناقصه التدريجي فيما وراء حدود التغطية. ولا يرتبط أداء الهوائي في منطقة التغطية، من ناحية الكسب أيضاً، بالتداخل المسبب للأنظمة المجاورة. ومن ثم ينبغي لتغير الكسب في منطقة التغطية ألا يحدد في المخططات المرجعية للحزمة المقولبة.

الشكل 3

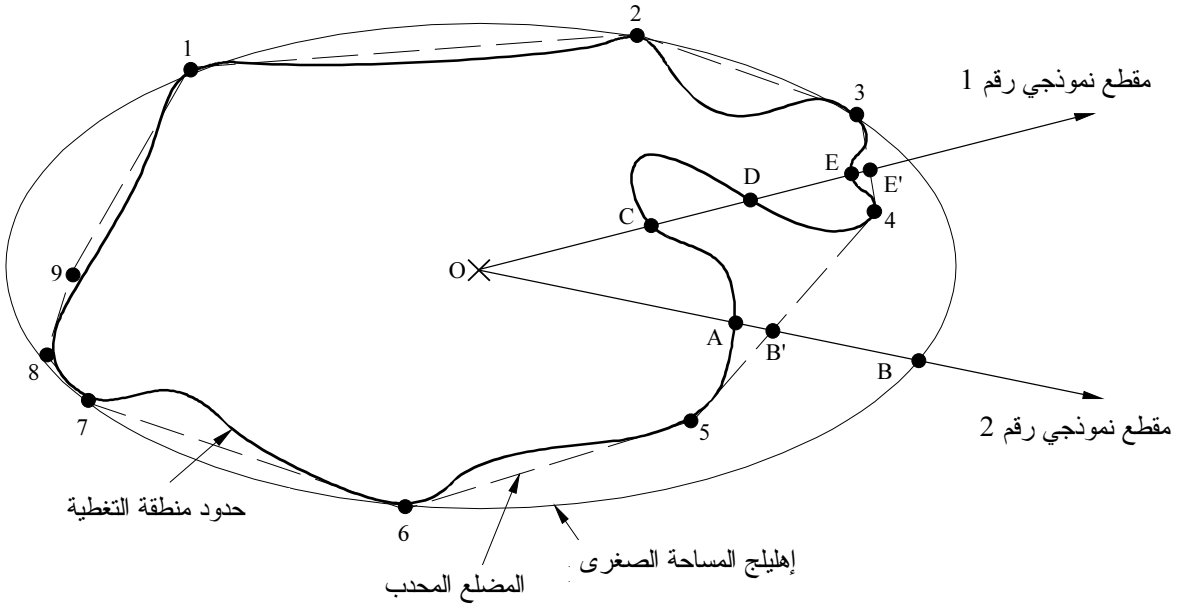
تمثيلات مختلفة لمنطقة التغطية



أ)



ب) قياس الزاوية Δψ، انطلاقاً من كفاف التغطية (المحدب)



ج)

0672-03

3.2 قدود الحزم الصغيرة العنصرية

تتحدد السويات في الفصوص الجانبية من خلال دالة إضاءة الفتحة. فلنأخذ قانوناً للإضاءة على الشكل التالي:

$$f(x) = \cos^N\left(\frac{\pi}{2} \cdot x\right) \qquad |x| \le 1 \tag{5}$$

تساوي هذه الدالة صفراً على حافة الفتحة من أجل $N > 0$. يعطى نصف قطر الحزمة الصغيرة العنصرية، بدلالة السوية في الفصوص الجانبية (dB) والنسبة D/λ في المجال المعتبر، بتقريب أولي، بالتعبير التالي:

$$\psi_b = (16{,}56 - 0{,}775\, L_s)\, \lambda/D \quad \text{(درجات)} \tag{6}$$

حيث L_s يشير إلى السوية النسبية في الفص الجانبي الأول .(dB)

ويمثل هذا التعبير التوفيق بين قطر الهوائي والسوية في الفصوص الجانبية وميل غلاف الفص الرئيسي. وتم تحقيقه انطلاقاً من نتائج القياسات بالنسبة إلى سويات مختلفة للفصوص الجانبية. وقد استعملت هذه العلاقة كنقطة بداية في النماذج الموصوفة فيما يلي.

4.2 إعداد نماذج لمخطط مرجعي متحد الاستقطاب

وتتضمن هذه الفقرة وصفاً لمخططات معممة متحدة الاستقطاب للهوائيات المستقبلية ذات الحزمة المقولبة. وقد وضع استناداً إلى قياسات أجريت على عدة هوائيات من هذا النمط (Brazilsat وAnik-C وAnik-E وTDRSS وIntelsat-V وG-Star وIntelsat-VI وIntelsat-VII وCobra) ووفقاً لاعتبارات نظرية.

ويبدو أن النماذج السابقة لم تحدد مدى التأثيرات المترتبة على توسيع الحزمة. أما النموذجان التاليان فيتضمنان طريقتين متمايزتين تتناولان هذه التأثيرات، مما يشكل أمراً أساسياً لتوقع أداء الهوائي ذي الحزمة المقبولة توقعاً دقيقاً.

1.4.2 النموذج الأول

إن مخطط الهوائي ذي الحزم المقولبة والوارد في هذه الفقرة يتم تحديده بواسطة المعلمات الأولية والمعلمات الثانوية كذلك. وتتمثل المعلمات الأولية في قدّ الحزمة الصغيرة وعرض منطقة التغطية في الاتجاه المعني وسوية الذروة في الفصوص الجانبية. أما المعلمات الثانوية فتتمثل في معلمة الحجب والانحراف عند السطح وعدد الحزم التي شملها المسح. ولهذه المعلمات الثانوية تأثير على إشعاع الهوائي يتمثل في توسيع الحزمة الرئيسية وزيادة سوية الفصوص الجانبية. وعلى الرغم من أن المعلمة المهيمنة في توسيع الحزمة هي عدد الحزم التي يشملها المسح، تعطى هنا المعلمتان الأخريان لاستكمال المعلومات. وينبغي مع ذلك عدم إغفال تأثير الحجب على سوية الفصوص الجانبية. وإنما بسبب تقييدات عملية نجد في الواقع أن هناك عادةً قدراً ضئيلاً من الحجب عند الحافة، وذلك يحدث حتى فيما يتعلق بتصميم لهوائي الساتل يطالب بتطبيق معايير لا تشمل أي حجب. ومن المرجح أن يحدث حجب عند الحافة في حالة الهوائيات ذات الاستقطاب الخطي المزدوج التي تستعمل فتحة مشتركة كما هو الحال بالنسبة إلى العاكسات الشبكية المزدوجة المستعملة في Anik-E وG.Star وAnik-C وBrazilsat، إلخ. وهذا يحدث بسبب الفصل المطلوب بين مركزي العاكسين اللذين يحدث بينهما تراكب، بغية الإيفاء بمتطلبات العزل والحجم اللازم لمراعاة مجموعتين من الأبواق.

ولا يتوفر في مناطق الفصوص الجانبية البعيدة إلا القليل من المعلومات المقيسة اللازمة لإعداد أي نموذج. وتؤدي الانعكاسات على بنية المركبة الفضائية والفيض على صفيف التغذية والإشعاع المباشر لزمر التغذية، إلى شكوك بالنسبة إلى الزوايا الكبيرة خارج المحور، وقد تؤدي إلى إثبات عدم صحة التقديرات النظرية. ويصعب جداً إجراء قياسات في هذه المنطقة. ولذلك يتطلب الأمر إجراء مزيد من الدراسة بغية اكتساب الثقة اللازمة بشأن تطبيق درجة من الكسب الأدنى قدرها 0 dBi.

وتجدر الإشارة إلى أن المخطط المقترح لا ينطبق إلا على الاتجاهات التي يجب فيها الاهتمام بسوية الفصوص الجانبية. أما في الاتجاهات غير الحرجة، مثل الاتجاهات نحو مناطق المحيطات أو إلى ما وراء حافة الأرض أو أي اتجاه لا يحتوي على مشاكل في التداخل، لا يشكل هذا المخطط بالضرورة نموذجاً تمثيلياً.

النموذج العام متحد الاستقطاب رقم 1

يقترح استعمال النموذج التالي المكون من ثلاثة أقسام والذي يمثل غلاف مخطط الإشعاع لهوائي ساتل ذي حزمة مقولبة خارج منطقة التغطية:

منطقة حافة الفص الرئيسي:

$$G_{\mathrm{dBi}}(\Delta\psi)=G_{ep}+U-4V\left(\frac{\Delta\psi}{Q\psi_0}+0{,}5\right)^2 \qquad \text{for} \qquad 0 \le \Delta\psi \le W \cdot Q \cdot \psi_0$$

منطقة الفصوص الجانبية الأولى:

$$G_{\mathrm{dBi}}(\Delta\psi) = G_{ep} + \mathrm{SL} \qquad \text{for} \qquad W \cdot Q \cdot \psi_0 \le \Delta\psi \le Z \cdot Q \cdot \psi_0$$

منطقة الفصوص الجانبية البعيدة:

$$G_{\mathrm{dBi}}(\Delta\psi) = G_{ep} + SL + 20 \log (Z \cdot Q \cdot \psi_0 / \Delta\psi) \quad \text{for} \qquad Z \le \Delta\psi \le 18$$

حيث:

$\Delta\psi$: الزاوية بالنسبة إلى حافة منطقة التغطية (بالدرجات)

$G_{\mathrm{dBi}}(\Delta\psi)$: الكسب عند $\Delta\psi$ (dBi)

G_{ep} : كسب الذروة المكافئ

$G_{ep} = G_e + 3{,}0$ (dBi)

ψ_0 : قطر فتحة نصف القدرة للحزمة العنصرية (بالدرجات)

$\psi_0 \approx (33{,}12 - 1{,}55\ SL)\ \lambda/D$

λ : طول الموجة (بالأمتار)

D : قطر العاكس (بالأمتار)

SL : سوية الفصوص الجانبية بالنسبة إلى سوية الذروة (dB)

$U = \log 10\, A$, $V = 4{,}3429\, B$ وهي تمثل المعلمات الرئيسية للحزمة

$$B = \left|\ln\left(0{,}5/10^{0{,}1\mathrm{SL}}\right)\right| / \left|\left[(16{,}30-3{,}345\mathrm{SL})/(16{,}56-0{,}775\mathrm{SL})\right]^2 - 1\right|$$

$$A = 0{,}5 \exp(B)$$

$$W = (-0{,}26 - 2{,}57\ SL) \ / \ (33{,}12 - 1{,}55\ SL)$$

$$Z = (77{,}18 - 2{,}445\ SL) \ / \ (33{,}12 - 1{,}55\ SL)$$

Q: عامل توسيع الحزمة الناجم عن التأثيرات الثانوية:

$$Q = \exp\left[(8\pi^2 (\varepsilon/\lambda)^2\right] \cdot \left[\eta_i(\Delta)\right]^{-0.5} \cdot 10^{\left(\frac{0.000075(\delta - 1/2)^2}{[(F/D_p)^2 + 0.02\ ]^2}\right)} \qquad (7)$$

ويتم تعريف المتغيرات في المعادلة (7) كما يلي:

ε : جذر متوسط التربيع لخطأ المساحة

Δ : معلمة الحجب (الجذر التربيعي لنسبة المساحة التي تخضع للحجب إلى مساحة الفتحة)

δ : عدد الحزم التي يشملها المسح، خارج اتجاه المحور

$= \theta_0/\psi_0$

θ_0 : الفصل الزاوي بين مركز منطقة التغطية (مركز الإهليلج ذي المساحة الصغرى) وحافة منطقة التغطية هذه

من أجل الحجب المركزي $\eta_i(\Delta) = 1 - \Delta^2$

من أجل الحجب عند الحافة $= \left[1-[1-A(1-\Delta)^2]\Delta^2\right]^2$ (8)

تمثل المعلمة A في المعادلة (8) ارتفاع الركيزة (سوية السواد) في دالة الإضاءة الأولية ($1 - Ar^2$) على العاكس وr هي المسافة المقيّسة انطلاقاً من المركز في مستوي فتحة العاكس ($r = 1$ عند الحافة). أما F/D_p في المعادلة (7) فهي نسبة البعد البؤري إلى قطر القطع المكافئ الرئيسي. وتستعمل نسبة F/D_p تتراوح قيمتها بين 0,35 و0,45 في التصميم العملي لهوائي ساتل.

ويتوقف كسب الفصوص الجانبية البعيدة على تأثير فيض صفيف التغذية وتأثير كل من الانعكاس والانعراج على بنية المركبة الفضائية. كما تتوقف هذه التأثيرات على التصميمات المختلفة ولذلك يصعب استخلاص استنتاجات معممة بشأنها.

وكما يتضح من المعادلة (7) يعتمد عامل توسيع الحزمة Q على جذر متوسط التربيع لخطأ المساحة ε، وعلى معلمة الحجب Δ وعدد الحزم التي يشملها المسح δ، وكذلك على النسبة F/D_p. ومع ذلك نجد أن تأثير ε وΔ على توسيع الحزمة يكون صغيراً في التطبيق العملي في العادة ويمكن إهماله. وبالتالي يمكن تبسيط المعادلة (7) لتصبح كما يلي:

$$Q = 10^{\left(\frac{0.000075(\delta - 1/2)^2}{[(F/D_p)^2 + 0.02]^2}\right)} \quad (9)$$

حيث:

$D_p = 2(d + h)$

d : القطر المتوقع لفتحة المجسم المكافئي المتخالف

h : الارتفاع المتخالف بالنسبة إلى حافة العاكس

ويظهر بوضوح من المعادلة (9) أن توسيع الحزمة يتوقف على عدد الحزم التي يشملها المسح وعلى النسبة F/D_p لهوائي الساتل. وتصح هذه العبارة لعدد δ من الحزم قد يصل إلى تسع حزم أي لعدد يكفي ويزيد فيما يتعلق بمتطلبات تأمين تغطية عالمية في النطاق GHz 14/11؛ فنجد في مناطق الخدمة الكبيرة مثل كندا أو الولايات المتحدة الأمريكية أو الصين أن القيمة δ يقابلها بصورة عامة حزمة أو حزمتان في النطاق GHz 6/4 وحوالي أربع حزم في النطاق GHz 14/11 وذلك لدى تطبيق هذا النموذج. ومن ثم تكون قيمة Q عادة في معظم الأنظمة أقل من 1,1، وهذا يعني أن تأثير توسيع الحزمة يمثل بصورة عامة حوالي 10% من عرض الحزمة الصغيرة العنصرية للهوائي ذي الحزمة المقولبة.

يمكن تبسيط العامل Q ليصبح كما يلي، وذلك بإهمال توسيع الحزمة الرئيسية الناجم عن الحجب وعن أخطاء مساحة العاكس وبافتراض أن قيمة النسبة F/D_p للعاكس هي 0,35 وهي قيمة الحالة الأسوأ:

$$Q = 10^{0,0037(\delta - 1/2)^2}$$

ويمكن الحصول في الفصوص الجانبية على سوية في تساوي –25 dB في النطاق GHz 6/4، وذلك دون صعوبة كبيرة، باستعمال هوائي متعدد الأبواق بعاكس مصمت يبلغ قطره حوالي مترين وملائم لمطلق من النمط PAM-D. ولتحقيق تمييز يبلغ 30 dB، قد يستدعي الأمر توفير هوائي بقطر أكبر إذا أردنا تأمين الحماية أو الانضباط في مدى زاوي كبير. ويمكن عموماً في

النطاقات الموزعة للخدمة الثابتة الساتلية في إطار GHz 14/11 أن نحقق تمييزاً يبلغ dB 30 باستعمال هوائي قطره مترين واستعمال تصميم تغذية أكثر تطوراً.

وتعتمد المعادلات الواردة أعلاه والتي تعرف المخطط المرجعي على زاوية المسح للحزمة العنصرية على حافة التغطية في اتجاه المقطع الذي يطبق عليه المخطط. وإذا أردنا أن يستخدم مخطط مرجعي كهدف تصميمي، يستحسن أن يتميز هذا المخطط بالبساطة وأن يحتوي على أقل قدر ممكن من العناصر المعلمية التي يعتمد عليها. ومن ثم ينبغي اختيار قيمة أو قيم للعامل Q لتقابل كل تغطية نمطية للسواتل، وإدخال هذه القيم في المعادلات المذكورة أعلاه.

ويمكن الحصول على معدل تناقص للحزمة الرئيسية يكون أكثر انحداراً في مناطق الخدمة الوطنية النمطية عما يكون في مناطق التغطية الإقليمية الشاسعة جداً. وعلى العكس من ذلك، فإن المخطط المرجعي المناسب للتغطية الإقليمية سيكون أقل تقييداً مما يجب في مناطق التغطية الوطنية.

ونظراً إلى ما تقدم، يُقترح تبسيط النموذج 1 للتوصل إلى الحالتين التاليتين فيما يتعلق بهوائيات الخدمة FSS. ويُفترض في هاتين الحالتين استواء في سوية الفصوص الجانبية قدره –25 dB.

أ) مناطق التغطية المخفضة ($\delta < 3,5$)

يقع ضمن هذه الفئة معظم مناطق التغطية الساتلية الوطنية. وتؤخذ قيمة لعامل توسيع الحزمة Q تعادل 1,10 لمراعاة الانحطاط البسيط العائد إلى المسح في مناطق التغطية المخفضة. ويمكن تعريف المخططات المرجعية لهذه المناطق كما يلي:

$$G_{\mathrm{dBi}}(\Delta\psi) = \begin{cases} G_{ep} + 0.256 - \dfrac{10.797}{\psi_0^2}(\Delta\psi + 0.55\psi_0)^2 & \text{for} \quad 0 \le \Delta\psi \le 0.9794\Delta\psi_0 \\ G_{ep} - 25 & \text{for} \quad 0.9794\Delta\psi < \Delta\psi \le 2.1168\Delta\psi_0 \\ G_{ep} - 25 + 20\log(2.1168\psi_0 / \Delta\psi) & \text{for} \quad 2.1168\Delta\psi < \Delta\psi \le 18 \end{cases}$$

ب) مناطق التغطية الواسعة ($\delta > 3,5$)

يقع ضمن هذه الفئة التغطية نصف الكروية والتغطية العالمية لسواتل إنتلسات وإنمارسات. وتؤخذ قيمة للعامل Q تعادل 1,3 لمراعاة الانحطاط العائد إلى المسح الواسع. ويمكن تعريف المخططات المرجعية المطبقة على هذا النمط من التغطية ($\delta > 3,5$) كما يلي:

$$G_{\mathrm{dBi}}(\Delta\psi) = \begin{cases} G_{ep} + 0.256 - \dfrac{7.73}{\psi_0^2}(\Delta\psi + 0.65\psi_0)^2 & \text{for} \quad 0 \le \Delta\psi \le 1.1575\Delta\psi_0 \\ G_{ep} - 25 & \text{for} \quad 1.1575\Delta\psi < \Delta\psi \le 2.5017\Delta\psi_0 \\ G_{ep} - 25 + 20\log(2.5017\psi_0 / \Delta\psi) & \text{for} \quad 2.5017\Delta\psi < \Delta\psi \le 18 \end{cases}$$

2.4.2 النموذج الثاني

ستبرز صعوبات كثيرة إذا أردنا إحكام مخطط بسيط نسبياً يمكن تطبيقه على هوائيات ساتلية مختلفة دون الإضرار بتصميم أو بنظام معين. وبناءً على ذلك، فإن المخطط الذي يقدمه هنا النموذج 2 ليس الغرض منه وصف غلاف واحد، بل وصف تشكيلة عامة. ويمكن اعتبار أن هذا المخطط صالح ليس فقط في تطبيق خاص بهوائي واحد، بل يعتبر صالحاً كتمثيل إجمالي يتضمن عائلة من المخططات التي تصف هوائيات تصلح في تطبيقات كثيرة مختلفة.

وكانت هناك محاولة عند إعداد النموذج لأن يؤخذ في الاعتبارالواجب، توسيع الحزمة الناجمة عن الحزم المكونة التي يشملها المسح خارج محور التسديد للهوائيات ذات الحزم المقولبة. كما كانت هناك محاولة تحرص على مراعاة تأثيرات التداخل

والاقتران المتبادل بين الحزم الصغيرة العنصرية المجاورة التي تحيط بالحزمة العنصرية المعتبرة. كما أخذت في الاعتبار حزمتان عنصريتان مجاورتان إضافيتان في اتجاه مسح الحزم الصغيرة العنصرية، وذلك لتجنب التعقيد في الإعداد. كما دخل في الاعتبار التغير في توسيع الحزمة مع النسبة F/D، وتم اختبار النتائج في المدى $0{,}70 \le F/D \le 1{,}3$ ووضع نموذج لمستوي مسح متوسط بين مستوي زاوية الارتفاع ومستوي السمت. وكان من الممكن الحصول على خصائص أكثر حدة من الخصائص المتوقعة لو كان أُعِد النموذج لمستوي السمت فقط. وتوجد افتراضات أخرى شملها النموذج هي التالية:

- يُفترض لحدود الحزم المكونة والمقابلة لعناصر الصفيف الفردية أن تقابل الكفاف المثالي –3 dB لحزمة التغطية المقولبة؛
- يُعطى نصف قطر الحزمة المكونة الصغيرة ψ_b في المعادلة (6) وهو يقابل تناقصاً تدريجياً على حافة الفتحة قدره –4 dB؛
- إن القيمة B المتحكمة في منطقة الحزمة الرئيسية تمت نمذجتها مباشرةً كدالة لزاوية المسح للحزمة العنصرية المكونة ولقطر الهوائي D وللنسبة F/D لعاكس الهوائي.

قيمة النسبة F/D المستعملة في هذا النموذج هي نسبة البعد البؤري إلى القطر المادي للعاكس. ويعد النموذج صالحاً للعواكس التي قد يصل قطر الواحد منها إلى λ 120، مع مسح لعروض حزم يصل عددها إلى 13 حزمة، كما أن هذا النموذج قد ثبت ارتباطه الجيد بحوالي 34 مقطعاً من مقاطع المخططات المأخوذة من أربعة هوائيات مختلفة.

ونظراً إلى أنه قد يستحسن في المستقبل فرض قيود أشد على التحكم في أداء الهوائي، فقد تضمن هذا النموذج عاملي تحسين بسيطين هما K_1 وK_2 يسمحان بتعديل المخطط الحاصل حتى الآن.

النموذج العام متحد الاستقطاب رقم 2

يأتي فيما يلي شرح المعادلات الخاصة بالمناطق المختلفة والقيم المقابلة لكسب الهوائي خارج المحور الرئيسي. وتقاس قيم الكسب المشار إليها عمودياً على منطقة التغطية عند كل نقطة وترتبط هذه التقنية بتعريف منطقة التغطية الوارد في الملحق 2.

تعطى الآن لكل من K_1 وK_2 قيمة تساوي 1، أي $K_1 = K_2 = 1$.

وتستعمل في هذا النموذج معادلات مقيسة على أساس سوية تعادل –20 dB للفص الجانبي الأول (L_s). ثم يستعاض عن هذه القيمة فيما بعد بقيمة أخرى يتم اختيارها لسوية الفص الجانبي الأول تتعلق بالتطبيق المعتبر.

أ) **منطقة حافة الفص الرئيسي:** $(0° \le \Delta\psi < C\psi_b)$

يعبر عن دالة الكسب في هذه المنطقة بما يلي:

$$G(\Delta\psi) = G_e - K_1 B \left[\left(1 + \frac{\Delta\psi}{\psi_b} \right)^2 - 1 \right] \text{ dBi} \qquad (10)$$

حيث:

$G(\Delta\psi)$: الكسب في المخطط المرجعي (dBi)

G_e : الكسب عند حافة التغطية (dBi)

$\Delta\psi$: الزاوية (بالدرجات) من كفاف التغطية (المحدَّب) في اتجاه عمودي على أضلاع الكفاف

ψ_b = نصف قطر الحزمة العنصرية (بالدرجات) ويساوي $32\ \lambda/D$ (يقابل $L_s = -20$ dB في المعادلة (6))

$$B = B_0 - (S - 1.25)\,\Delta B \qquad \text{for} \qquad S \ge 1{,}25$$

$$B_0 = B \qquad \text{for} \qquad S < 1{,}25$$
$$B_0 = 2{,}05 + 0{,}5\,(F/D - 1) + 0{,}0025\,D/\lambda$$
$$\Delta B = 1{,}65\,(D/\lambda)^{-0{,}55}$$

وترد هنا المعادلات الخاصة بمستوي زاوية الارتفاع ومستوي السمت، تلبية للحالة العامة.

مستوي السمت: $B_0 = 2{,}15 + \mathrm{T}$

مستوي زاوية الارتفاع: $B_0 = 1{,}95 + \mathrm{T}$

حيث: $T = 0{,}5\,(F/D - 1) + 0{,}0025\,D/\lambda$

مستوي السمت: $\Delta B = 1{,}3\ (D/\lambda)^{-0{,}55}$

مستوي زاوية الارتفاع: $\Delta B = 2{,}0\ (D/\lambda)^{-0{,}55}$

D : القطر المادي للهوائي (بالأمتار)

λ : طول الموجة (بالأمتار)

S : الإزاحة الزاوية A بين محور تسديد الهوائي ونقطة واقعة على حافة التغطية في فتحة نصف القدرة للحزمة العنصرية، كما يظهر في الشكل 4، وهذا يعني: $S_1 = A_1 / 2\psi_b$ و$S_2 = A_2 / 2\psi_b$.

$$\mathrm{C} = \sqrt{1 + \frac{(20\mathrm{K}_2 - 3)}{\mathrm{K}_1 \mathrm{B}}} - 1$$

وهذا يقابل الحد الذي يكون فيه $G(\Delta\psi)$ مقابلاً للسوية $-20\ k_2$ (dB) بالنسبة إلى كسب الذروة المكافئ G_{ep}، أي: $G(\Delta\psi) = G_e + 3 - 20\,K_2$.

ب) منطقة الفصوص الجانبية القريبة (المنطقة المجاورة للفص الرئيسي): $C\psi_b \le \Delta\psi < (C + 0{,}5)\ \psi_b$

جعلت هذه المنطقة عمداً ضيقة جداً للأسباب التالية. فالفصوص الجانبية الأولى المرتفعة من الرتبة –20 dB لا تظهر إلا في بضع مستويات فقط، وتتبعها فصوص جانبية تتناقص بصورة رتيبة. وفي المناطق التي يحدث فيها توسيع للحزمة، يمتزج الفص الجانبي الأول بالفص الرئيسي الذي تمت قولبته بالنموذج B فيما يتعلق بحافة الحزمة. ومن ثم يلزم إبقاء هذه المنطقة ضيقة جداً كي لا نغالي في تقدير سوية الإشعاع. (تم توسيع هذه المنطقة قليلاً كما تم تعديل دالة الكسب فيما يتعلق بهوائيات الصنف B). ودالة الكسب في هذه المنطقة ثابتة ويعبر عنها بما يلي:

$$G(\Delta\psi) = G_e + 3 - 20\,K_2 \tag{11}$$

ج) منطقة الفصوص الجانبية الوسيطة: $(C + 0{,}5)\ \psi_b \le \Delta\psi < (C + 4{,}5)\ \psi_b$

تتميز هذه المنطقة بالتناقص الرتيب للفصوص الجانبية. ويتناقص الغلاف بصورة عامة بحوالي 10 dB على عرض يبلغ $4\ \psi_b$. ومن ثم يعبر عن هذه المنطقة بما يلي:

$$G(\Delta\psi) = G_e + 3 - 20\,K_2 + 2{,}5\left[(\mathrm{C}+0{,}5) - \frac{\Delta\psi}{\psi_\mathrm{b}}\right] \quad \text{dBi} \tag{12}$$

وتتناقص هذه العبارة من القيمة $G_\mathrm{e} + 3 - 20\ K_2$ عند $(C + 0{,}5)\ \psi_b$ إلى القيمة $G_e + 3 - 10 - 20\ K_2$ عند $(C + 4{,}5)\ \psi_b$.

د) منطقة الفصوص الجانبية كبيرة الزاوية: $D\ (C + 4{,}5)\ \psi_b \le \Delta\psi < (C + 4{,}5)\ \psi_b$،

حيث: $D = 10^{[(Ge\ -\ 27)/20]}$

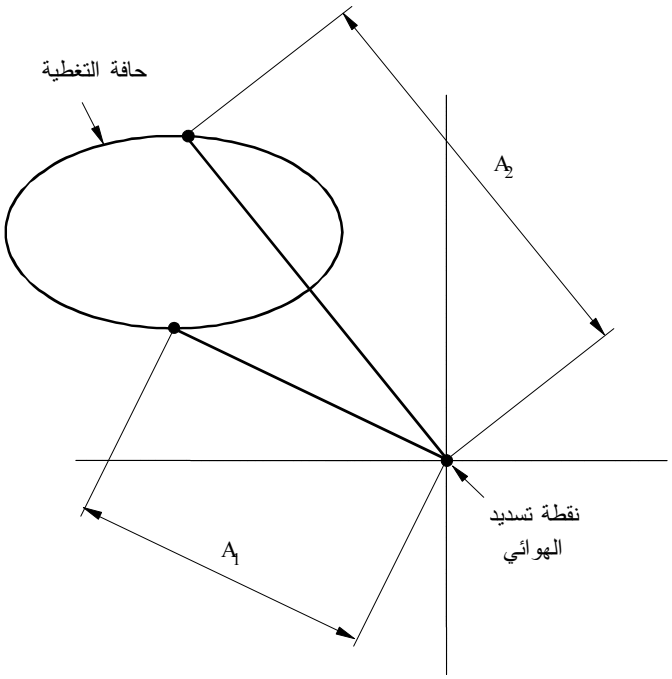
إن هذه المنطقة تقابل المنطقة التي يسيطر عليها الانعراج على حافة العاكس، وتتناقص بحوالي 6 dB لكل ثمانية. وتوصف هذه المنطقة بما يلي:

$$G(\Delta\psi) = G_e + 3 - 10 - 20\,K_2 + 20\log\left[\frac{(C+4{,}5)\psi_b}{\Delta\psi}\right] \quad \text{dBi} \tag{13}$$

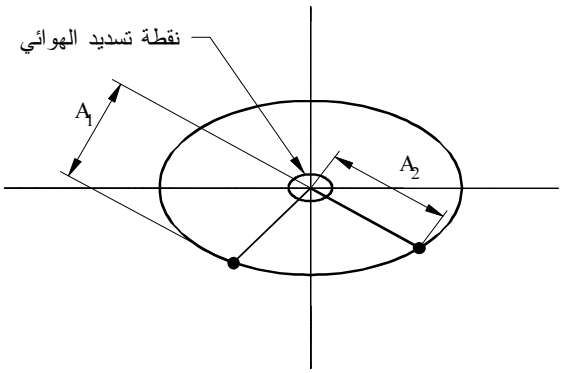
وتتناقص $G(\Delta\psi)$ في هذه المنطقة من القيمة $G_e + 3 - 10 - 20\,K_2$ عند $(C + 4{,}5)\,\psi_b$ إلى القيمة $G_e + 3 - 16 - 20\,K_2$ عند $2\,(C + 4{,}5)\,\psi_b$. والحد العلوي يقابل النقطة التي يكون فيها $G(\Delta\psi) = 3$ dBi.

الشكل 4

مخطط منطقة التغطية



أ) نقطة التسديد خارج منطقة التغطية



ب) نقطة التسديد داخل منطقة التغطية

A_1 وA_2: الانحراف الزاوي (بالدرجات) للنقطتين على حافة التغطية انطلاقاً من نقطة تسديد الهوائي

0672-04

هـ) **منطقة الفصوص الجانبية البعيدة:** $(C + 4{,}5) \psi_b D \le \Delta\psi \le 90$،

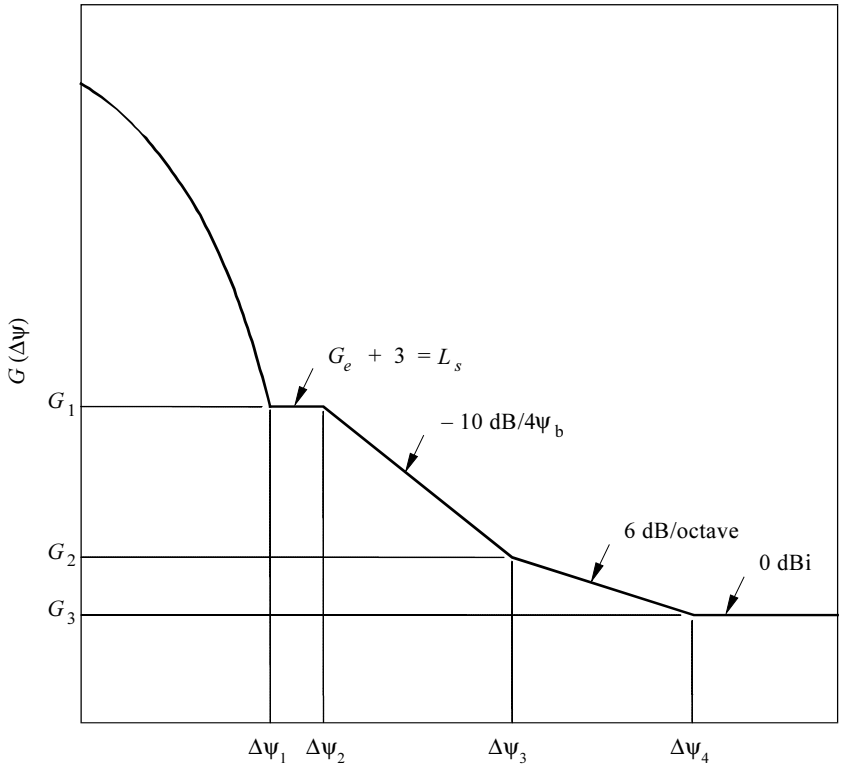
حيث: $D = 10^{[(G_e - 27)/20]}$

$$G(\Delta\psi) = 3 \quad \text{dBi} \tag{14}$$

ويأتي وصف هذه المناطق في الشكل 5.

الشكل 5

المناطق المختلفة في النموذج المقترح رقم 2



L_s: سوية الفص الجانبي الأول

0672-05

ويمكن أيضاً أن يمتد تطبيق النموذج ليشمل حالة الحزم الدائرية البسيطة والحزم الإهليلجية والهوائيات ذات العواكس المقولبة. وتغطى هذه الحالات بتكييف قيمة B الواردة في النموذج العام الموصوف أعلاه:

- تعطي B القيمة 3,25 فيما يخص الحزم الدائرية البسيطة والحزم الإهليلجية.
- أما فيما يخص العواكس المقولبة، فتعدل المعلمات التالية كما يلي:

$$B = \begin{cases} 1.3 & \text{for} \quad 0.5 \le S \le 0.75 \\ 1.56 - 0.34\,S & \text{for} \quad 0.75 < S \le 2.75 \\ 0.62 & \text{for} \quad S > 2.75 \end{cases}$$

حيث:

S: نسبة (الإزاحة الزاوية عن مركز التغطية) إلى $2\psi_b$

$$40\,\lambda/D = \psi_b$$
$$1{,}25 = K_2$$

وتجدر الملاحظة أن القيم المقترحة للهوائيات ذات العواكس المقولبة تقابل المعلومات المتيسرة بشأن تشكيلات هوائيات بسيطة. كما أن هذه التكنولوجيا الجديدة سريعة التطور ولذلك ينبغي اعتبار هذه القيم مؤقتة، وقد يتطلب الأمر المزيد من الدراسة للتحقق من السويات الممكن بلوغها في الفصوص الجانبية.

استعمال عاملي التحسين K_1 وK_2

ليس الغرض من عاملي التحسين K_1 وK_2 التعبير عن أي عملية فيزيائية في النموذج، بل يعتبر هذان العاملان ثابتين بسيطين يسمحان بإجراء عمليات ضبط في الشكل الإجمالي لمخطط إشعاع الهوائي دون تغيير في مضمونه.

إن زيادة قيمة K_1 عن القيمة الحالية التي تساوي 1، ستؤدي إلى زيادة في حدة التناقص في الحزمة الرئيسية.

ويمكن استعمال المعلمة K_2 لعمليات ضبط في سويات منطقة طبقة الفصوص الجانبية، وذلك بزيادة قيمة K_2 عن قيمتها الحالية التي تساوي 1.

5.2 خصائص التناقص في مخططات إشعاع الحزم المقولبة

إن خصائص تناقص الحزمة الرئيسية في الهوائيات ذات الحزم المقولبة تعتمد في المقام الأول على قد الهوائي. وتعتبر المسافة الزاوية $\Delta\psi_L$ من حافة منطقة التغطية إلى النقطة التي انخفض فيها الكسب بمقدار 22 dB (بالنسبة إلى الكسب عند الحافة) معلمة نافعة لأغراض التخطيط بشأن المدار وهي ترتبط بقد الهوائي بالعلاقة التالية:

$$\Delta\psi_L = C\,(\lambda/D)$$

أما فيما يتعلق بالحزم المركزية غير المقولبة أو المقولبة بقدر بسيط، فقيمة C تساوي 64 من أجل سوية الذروة للفصوص الجانبية البالغة –25 dB. إلا أن قيمة C تقع عادةً بين 64 و80 في حالة الحزم التي يشملها المسح، وذلك تبعاً لمدى توسيع الحزم الرئيسية.

6.2 المخطط المرجعي لنسب مسح وسيطة

إن الفقرتين 1.2 و2.2 من الفقرة *"توصـــي"* تنطويان على مخططين مرجعيين لهوائيات السواتل في الخدمة FSS، ويخص أحد المخططين مناطق التغطية المخفضة التي تكون فيها نسبة المسح أقل من 3,5، أما المخطط الآخر فيخص مناطق التغطية الواسعة التي تكون فيها نسبة المسح أكبر من 5,0. ولم يرد تعريف لمخططات الإشعاع من أجل نسب مسح وسيطة ($3{,}5 < \delta < 5{,}0$) لهوائيات السواتل.

وبغية الاستفادة الكاملة من التوصية، ينبغي تعريف مخططات إشعاع الهوائيات ذات نسب المسح الوسيطة التي تكون بين 3,5 و5,0. وتتمثل إحدى الطرائق بإعادة تعريف أحد النموذجين بحيث يغطي المنطقة الأخرى. ومع ذلك، يقترح كحل مؤقت توصيل النموذجين أحدهما بالآخر بواسطة مخطط مرجعي يتم تعريفه عن طريق معلمات مماثلة للمعلمات المستعملة في الفقرتين 1.2 و2.2 من الفقرة "توصي".

وقد تم إعداد مخطط مرجعي جديد استناداً إلى هذه الطريقة، ولا ينطبق هذا المخطط إلا على هوائيات الصنف A كما أنه يفي بشروط مخططات الهوائيات المعمول بها حالياً بشأن مناطق التغطية المخفضة والتغطية الواسعة عندما تكون δ = 3,5 أو 5,0 = δ على التوالي. ويتم تعريف هذا المخطط بدلالة عامل توسيع الحزمة Q_i وهو نسبة الحدود العليا لمناطق تناقص الحزمة الرئيسية للحزمة المقولبة ($\delta > 1/2$) إلى الحزمة الضيقة ($\delta = 1/2$) وتكون قيمة Q_i من أجل نسب المسح الوسيطة الواقعة في المدى $3{,}5 < \delta < 5{,}0$ كما يلي:

$$Q_i = Q + \left(\frac{C}{1{,}7808} - Q \right) \left(\frac{\delta - 3{,}5}{1{,}5} \right)$$

حيث:

$$Q = 10^{\left[\frac{0{,}000075 \left(\delta - \frac{1}{2} \right)^2}{[(F/D_p)^2 + 0{,}02]^2} \right]}$$

$$C = \sqrt{1 + \frac{22}{B} - 1}$$

$$B = 2{,}05 + 0{,}5\,(F/D - 1) + 0{,}0025\,D/\lambda - (\delta - 1{,}25)\,1{,}65\,(D/\lambda)^{-0{,}55}$$

ويكون تعريف المخطط المرجعي كما يلي فيما يتعلق بنسب المسح الوسيطة $(3{,}5 < \delta < 5{,}0)$:

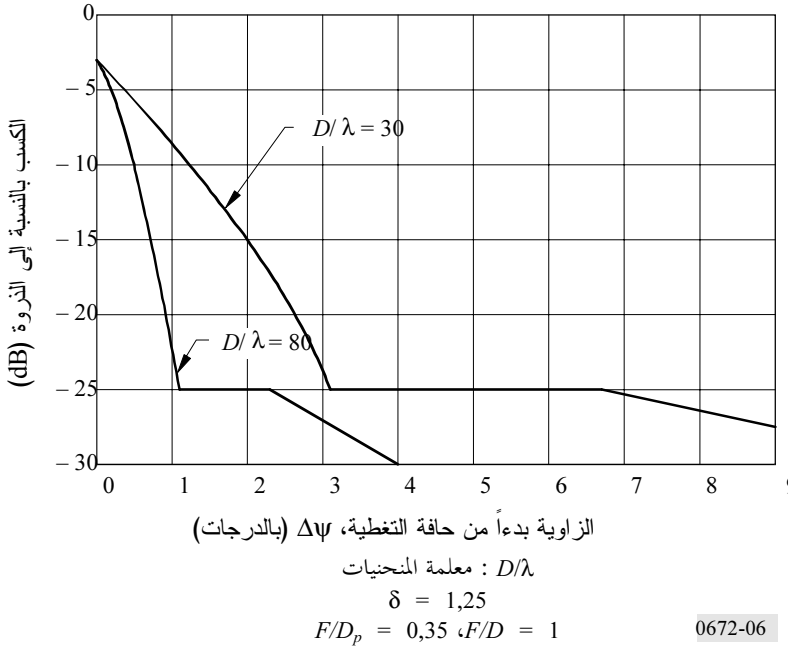
$$G_{\text{dBi}}(\Delta\psi) = \begin{cases} G_{ep} + 0.256 - 13.065 \left(\dfrac{\Delta\psi}{Q_i\,\psi_0} + 0.5 \right)^2 & \text{for} \quad 0 \le \dfrac{\Delta\psi}{\psi_0} \le 0.8904\,Q_i \\ G_{ep} - 25 & \text{for} \quad 0.8904\,Q_i < \dfrac{\Delta\psi}{\psi_0} \le 1.9244\,Q_i \\ G_{ep} - 25 + 20 \log \left(\dfrac{1.9244\,Q_i}{\Delta\psi} \right) & \text{for} \quad 1.9244\,Q_i < \dfrac{\Delta\psi}{\psi_0} \le \dfrac{18}{\psi_0} \end{cases}$$

وقد جاء تعريف المتغيرات في المعادلات الواردة أعلاه في الفقرتين 1.2 و2.2 من الفقرة "توصـــي".

ويبين الشكل 6 مثالاً للمخطط المرجعي الجديد من أجل قيمة $\delta = 4{,}25$ وقيمتين مختلفتين للنسبة D/λ.

الشكل 6

المخطط المرجعي المقترح لنسب المسح الوسيطة
$(3{,}5 < \delta < 5{,}0)$



D/λ : معلمة المنحنيات

$\delta = 1{,}25$

$F/D = 1$، $F/D_p = 0{,}35$

0672-06

ويلزم إجراء المزيد من الدراسة لإقرار صلاحية هذا النموذج فيما يتعلق بمنطقة نسب المسح الوسيطة.

الملحـــق 2

1 تعريف أكفة منطقة التغطية وأكفة الكسب حول منطقة التغطية

1.1 تعريف أكفة منطقة التغطية

يمكن تعريف منطقة التغطية بواسطة سلسلة من النقاط الجغرافية التي تمكن رؤيتها من الساتل. أما عدد النقاط اللازمة لتعريف منطقة التغطية تعريفاً صالحاً فهو يتوقف على مدى تعقيد هذه المنطقة. ويمكن إزاحة هذه النقاط لمراعاة التفاوت المسموح به في تسديد الهوائي والتغيرات الناجمة عن اعتبارات تخص قوس الخدمة. ويتم تشكيل مضلع يوصل النقاط المتجاورة. ثم يرسم كفاف منطقة التغطية حول هذا المضلع بمراعاة المبدأين التاليين:

- ينبغي لنصف قطر منحني كفاف منطقة التغطية أن يساوي أو يفوق ψ_b؛
- ينبغي للفصل بين القطع المستقيمة من كفاف منطقة التغطية أن يفوق $2\psi_b$ (انظر الشكل 7).

وإذا أمكن رسم مضلع التغطية داخل دائرة نصف قطرها ψ_b، تكون هذه الدائرة هي كفاف منطقة التغطية. ويكون مركز الدائرة هو مركز دائرة نصف قطرها أصغري تحيط تماماً بكفاف منطقة التغطية. أما إذا لم يمكن رسم مضلع التغطية داخل دائرة نصف قطرها ψ_b، فيتّبع الإجراء التالي:

الخطوة 1: ترسم دائرة نصف قطرها ψ_b لكل زاوية من زوايا مضلع التغطية الداخلية التي تقل عن 180°، على أن يكون مركز الدائرة واقعاً على منصّف الزاوية الداخلي وعلى مسافة (ψ_b) من رأسها. وإذا كانت جميع الزوايا تقل عن 180° (بدون تقعر) تُلغى الخطوتان 2 و4.

الخطوة 2: أ) ترسم دائرة نصف قطرها ψ_b لكل زاوية من الزوايا الداخلية التي تزيد على 180°، على أن تكون الدائرة مماسة للمستقيمات الواصلة إلى نقطة التغطية وأن يكون مركزها على منصف الزاوية الخارجي.

ب) إذ لم تقع هذه الدائرة بكاملها خارج مضلع التغطية، ترسم دائرة نصف قطرها ψ_b، تكون مماسة لمضلع التغطية عند أقرب نقطتين إليه، وتقع بكاملها خارج مضلع التغطية.

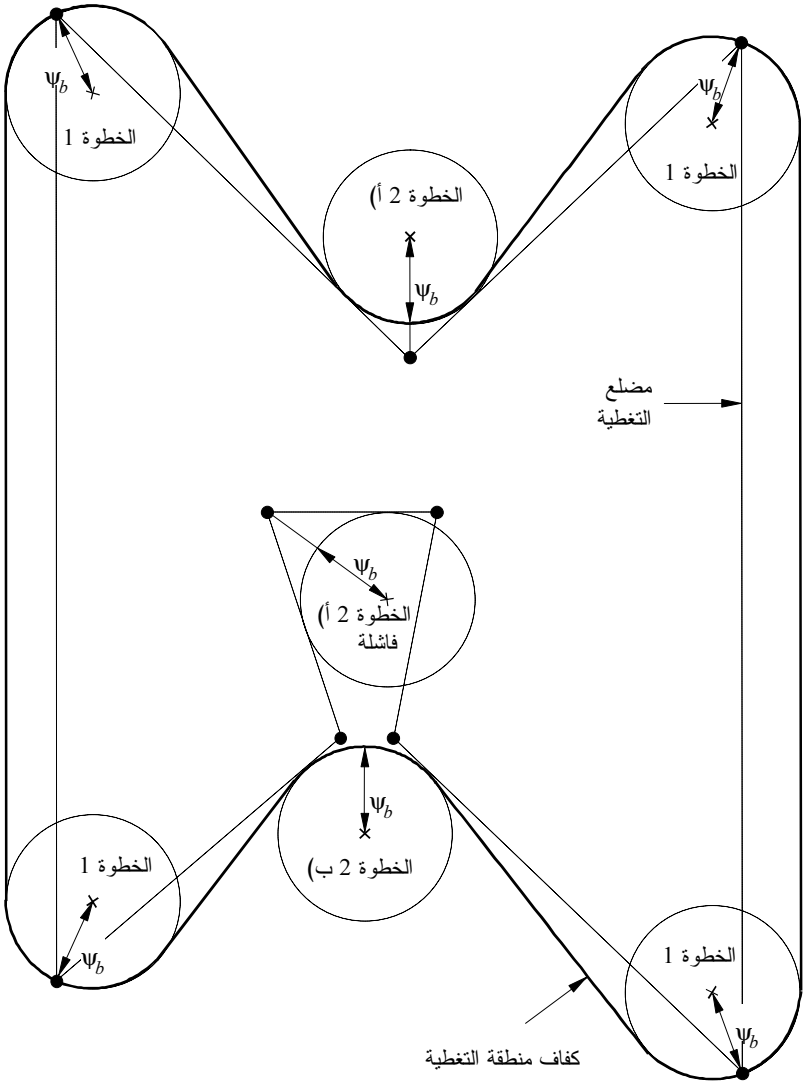
الخطوة 3: ترسم قطع مستقيمة مماسة لأجزاء الدوائر الموصوفة في الخطوتين 1 و2، والتي تكون أقرب ما يكون إلى مضلع التغطية ولكنها تقع خارج هذا المضلع.

الخطوة 4: إذا كانت المسافة الداخلية بين قطعتين مستقيمتين من القطع التي تم الحصول عليها في الخطوة 3، أقل من $2\psi_b$، ينبغي ضبط نقاط التحديد الرئيسية على مضلع التغطية بحيث ينتج عن إعادة تطبيق الخطوات من 1 إلى 3 مسافة داخلية بين القطعتين الداخليتين المشار إليهما تساوي $2\psi_b$.

ويظهر في الشكل 7 مثال لتقنية الرسم المذكورة.

الشكل 7

رسم كفاف منطقة التغطية



2.1 أكفة الكسب حول أكفة منطقة التغطية

تبرز صعوبات عندما يظهر في كفاف منطقة التغطية أجزاء مقعرة، كما ذكر في الملحق 1. وإذا استعملت $\Delta\psi$ مقيسة عمودياً على كفاف منطقة التغطية، تنتج تقاطعات بين الأعمدة، وقد تنتج تقاطعات مع كفاف منطقة التغطية.

وللتغلب على هذه المشكلة وعلى غيرها من المشاكل، يقترح إجراء عملية مكونة من خطوتين. وإذا لم تكن توجد تقعرات في أكفة التغطية، تلغى الخطوة 2 التالية.

الخطوة 1: يرسم كفاف لكل $\Delta\psi$ بحيث لا تكون أبداً المسافة الزاويَّة بين هذا الكفاف وكفاف منطقة التغطية أقل من $\Delta\psi$.

ويمكن تحقيق ذلك برسم أقواس طولها $\Delta\psi$ انطلاقاً من نقاط واقعة على كفاف منطقة التغطية. ويكون الغلاف الخارجي لهذه الأقواس هو كفاف الكسب الناتج.

وحيثما يكون كفاف منطقة التغطية مستقيماً أو محدباً، يستوفى هذا الشرط بإجراء القياس عمودياً على كفاف منطقة التغطية. ولن يحدث في هذه الحالة تقاطعات بين الأعمدة.

إن استعمال العملية المشروحة في الخطوة 1 يسمح بالتغلب على مشاكل الرسم في المناطق التي توجد فيها تقعرات. وإنما تبقى هناك بعض المشاكل في مناطق أخرى، من وجهة النظر العملية. فكما أشير في الملحق 1، قد يصبح التحكم في الفصوص الجانبية في مناطق التقعرات أكثر صعوبة مع ازدياد درجة التقعر، ويميل المقطع العرضي للمخطط إلى الاتساع، ويمكن أن يؤدي تطبيق الخطوة 1 إلى انقطاعات في ميل كفاف الكسب.

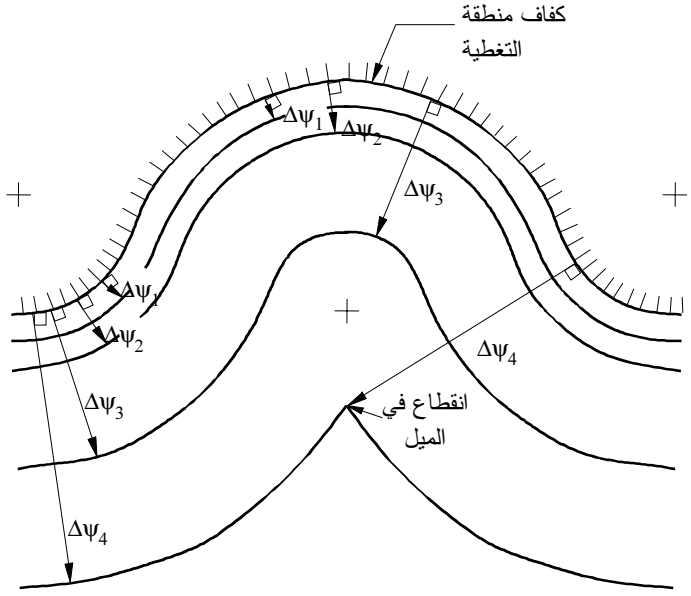
ويبدو معقولاً أن يفترض أن يكون لأكفة الكسب أنصاف أقطار انحناء لا تقل أبداً عن $(\psi_b + \Delta\psi)$ سواء نظر إليها من داخل كفاف الكسب أم من خارجه. ويتحقق هذا الشرط بالعملية الواردة في الخطوة 1 حيث يكون كفاف منطقة التغطية مستقيماً أو محدباً، وإنما لا يتحقق في المناطق المقعرة من كفاف منطقة التغطية. وتقع البؤر المقابلة لأنصاف أقطار الانحناءات داخل كفاف الكسب عندما يكون كفاف منطقة التغطية مستقيماً أو محدباً. أما في مناطق التقعر، فقد يؤدي استعمال الخطوة 1 إلى أنصاف أقطار انحناء تقل عن $(\psi_b + \Delta\psi)$ عندما ينظر إليها من خارج كفاف الكسب.

يظهر في الشكل 8 مثال للعملية الواردة في الخطوة 1 في منطقة يوجد بها تقعرات. وتستعمل قطع نصف دائرية لكفاف منطقة التغطية لغرض تسهيل الرسم. ويُلاحظ هنا الانقطاع في الميل.

ويقترح اتباع الخطوة 2 للأجزاء المقعرة، وذلك لمراعاة المشاكل المدرجة أعلاه وللتخلص من انقطاع الميل.

الشكل 8

أكفة الكسب التي يتم الحصول عليها من الخطوة 1 في حالة كفاف مقعر لمنطقة التغطية



0672-08

الخطوة 2: عندما يتعلق الأمر بمناطق يتحدد فيها كفاف الكسب بواسطة الخطوة 1، وحيث يكون نصف قطر الانحناء عندما ينظر إليه من خارج هذا الكفاف أقل من $(\psi_b + \Delta\psi)$، يتعين الاستعاضة عن هذا الجزء من كفاف الكسب بكفاف يبلغ نصف قطر انحنائه $(\psi_b + \Delta\psi)$.

يظهر في الشكل 9 مثال للعملية الواردة في الخطوة 2 والمطبقة على التقعر الظاهر في الشكل 8. كما تعطى قيم أكفة الكسوب النسبية للتوضيح بافتراض أن ψ_b هي كما تظهر في الشكل وأن قيمة B تساوي 3 dB.

وهذه الطريقة المتبعة في الرسم لا تتضمن أي غموض، وتؤدي إلى نتائج يمكن توقعها بصورة عادية فيما يتعلق بأكفة المناطق التي فيها تقعرات. غير أن إعداد البرمجيات التي تسمح بتنفيذ هذه الطريقة أمر صعب، كما أن هذه الطريقة لا تناسب تماماً مناطق التغطية الصغيرة. ولا بد من مواصلة العمل في سبيل تحسين هذه الطريقة.

وتستعمل الطريقة التالية من أجل الحصول على قيم الكسب عند نقاط معينة دون رسم الأكفة.

يمكن الحصول على قيم الكسب عند نقاط بعيدة عن منطقة تقعر، بأن تحدد الزاوية $\Delta\psi$ التي تقاس عمودياً على كفاف منطقة التغطية ثم يُحسب الكسب باستعمال المعادلة المناسبة: (10) أو (11) أو (12) أو (13) أو (14). أما الكسب عند نقطة توجد في منطقة تقعر فيمكن تحديده كما يلي.

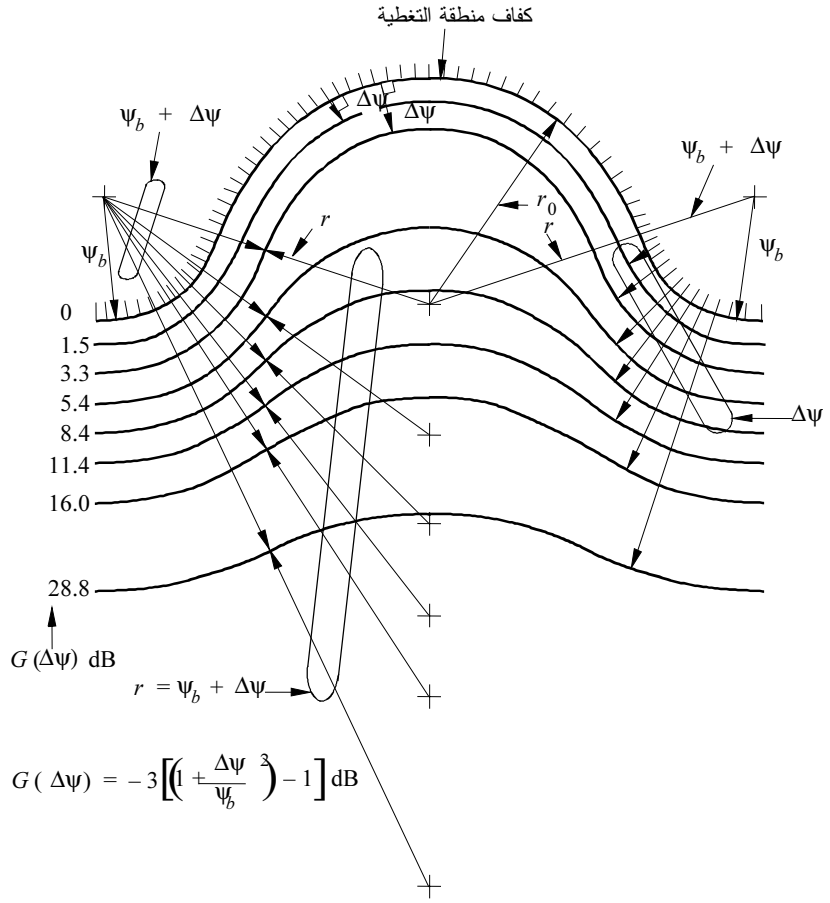
يتم أولاً إجراء اختبار بسيط. يرسم خط مستقيم يجتاز التقعر، بحيث يمس حافة التغطية في نقطتين، دون أن يقطعها. ثم يرسم عمودان على كفاف التغطية عند نقاط التماس. فإذا وقعت النقطة المعتبرة خارج منطقة التغطية بين العمودين، يحتمل أن يعاني تمييز الهوائي عند هذه النقطة من تأثير التقعر في منطقة التغطية. ويتعين عندئذ اتباع ما يلي:

يتم تحديد أصغر زاوية $\Delta\psi$ بين النقطة المعتبرة وكفاف منطقة التغطية. ثم ترسم دائرة نصف قطرها $(\psi_b + \Delta\psi)$ على أن تقع على محيطها النقطة المشار إليها، بحيث تصل مسافتها الزاوية من أي نقطة على كفاف منطقة التغطية إلى قيمتها القصوى عندما تكون الدائرة بكاملها خارج منطقة التغطية؛ وتدعى هذه المسافة الزاوية القصوى $\Delta\psi'$. ويمكنها أن تأخذ أي قيمة محصورة بين 0 و$\Delta\psi$، على أن تبقى أصغر من $\Delta\psi$ أو مساوية لها. ويمكن الحصول عندئذ على تمييز الهوائي عند النقطة المعتبرة بواسطة المعادلات (10) أو (11) أو (12) أو (13) أو (14) أو حسب الحالة بالاستعاضة عن المسافة $\Delta\psi$ بالمسافة $\Delta\psi'$.

وقد تم إحكام برنامجين حاسوبيين لإعداد أكفة منطقة التغطية استناداً إلى الطريقة الواردة أعلاه، ويتيسر هذان البرنامجان حالياً لدى مكتب الاتصالات الراديوية.

الشكل 9

رسم أكفة الكسب في حالة كفاف مقعر لمنطقة التغطية – الخطوة 1 ثم الخطوة 2



$r = \psi_b + \Delta\psi$

$r_0 = 1{,}9\psi_b$

r_0: نصف قطر انحناء التقعر في كفاف التغطية

r: نصف قطر الانحناء

0672-09