

الاتحاد الدولي للاتصالات

# ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية **ITU-R BS.1195-1**  
(2013/01)

خصائص هوائيات الإرسال على الموجات  
المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)

السلسلة **BS**  
الخدمة الإذاعية (الصوتية)

## 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 مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

## سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد 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
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بعد	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، 2013

© ITU 2013

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 BS.1195-1

## خصائص هوائيات الإرسال على الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)

(المسألة ITU-R 30/6)

(2013-1995)

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن اللجنة الاستشارية الدولية للراديو السابقة كانت قد قررت بموجب قرارها 1-76 أن نتائج الدراسات التي أجرتها لجنة الدراسات 10 للاتصالات الراديوية ومخططات الهوائيات المقابلة يجب أن تُدرج في توصيات قطاع الاتصالات الراديوية المنشورة بصورة مستقلة؛

ب) أن هناك حاجة إلى معلومات شاملة حول خصائص أنظمة هوائيات الإرسال والاستقبال بالموجات VHF و UHF لتخطيط الترددات؛

ج) أن هناك حاجة إلى إجراءات قائمة على الحاسوب لإعطاء كسب ومخططات الاتجاهية، في شكل معياري، لأنظمة هوائيات الإرسال والاستقبال؛

د) أن من الضروري التحقق من كل من مخطط إشعاع عنصر نظام الهوائي ومخطط إشعاع نظام الهوائي الإجمالي بواسطة القياسات؛

هـ) أن هناك حاجة إلى طرائق قياس معيارية للتحقق من مخططات الإشعاع المذكورة في الفقرة د)؛

و) أن من المتوقع أن تكون هناك اختلافات بين الأداء النظري والأداء المقيس نظراً للجوانب العملية للهوائيات UHF و VHF،

توصي

1 باستعمال المعادلات الواردة في الجزء 1 من الملحق 1 والبرامجيات المصاحبة الموصوفة في الجزء 3 من الملحق 1 لتقييم خصائص أنظمة الهوائيات VHF و UHF لأغراض التخطيط؛

2 باستعمال طرائق القياس الواردة في الجزء 2 من الملحق 1 للتحقق من الخصائص العملية لعناصر نظام الهوائيات ونظام الهوائيات الإجمالي.

الملحق 1

الجزء 1

حساب مخططات هوائيات الإرسال على الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)

جدول المحتويات

الصفحة

4	..... مدخل	1
4	..... 1.1 أطر مرجعية	
5	..... التمثيل الهندسي لمخططات إشعاع الهوائيات	2
6	..... مخططات الإشعاع وحساب الكسب	3
7	..... عناصر الإشعاع	4
7	..... 1.4 المصادر النقطية	
9	..... 2.4 صفائف المصادر النقطية	
9	..... 1.2.4 مضاعفة المخططات	
9	..... 2.2.4 الإضافة المتجهية للمخططات	
10	..... 3.4 المشعاعات الأولية VHF و UHF	
11	..... الاستقطاب	5
11	..... 1.5 الاستقطاب الإهليلجي	
12	..... 2.5 الاستقطاب الأفقي والاستقطاب العمودي	
12	..... 3.5 الاستقطاب المائل	
12	..... 4.5 الاستقطاب الدائري	
13	..... صفائف الهوائيات	6
13	..... 1.6 الصفائف العرضية	
16	..... 1.1.6 صفائف الهوائي الخطي بعناصر طفيلية	
18	..... 2.6 مخططات الإشعاع بالاتساع وبالطور	
20	..... 3.6 حساب مخطط إشعاع صفائف الهوائيات	
21	..... 4.6 صفائف الهوائيات VHF و UHF	
21	..... 1.4.6 الهوائيات من النمط اللوحي	
24	..... 2.4.6 هوائيات ياغي	
24	..... 3.4.6 أنماط أخرى من صفائف الهوائيات	

## الصفحة

24	..... أنظمة الهوائيات	7
25	..... مخطط نظام الهوائي	1.7
25	..... الملء بالأصفار	1.1.7
28	..... إمالة الحزمة	2.1.7
29	..... مخططات إشعاع أنظمة الهوائيات	2.7
32	..... أمثلة عن مخططات إشعاع أنظمة الهوائيات	3.7
32	..... أنظمة هوائيات ثنائيات الأقطاب	1.3.7
33	..... أنظمة هوائيات ياغي	2.3.7
34	..... أنظمة الهوائيات اللوحية	3.3.7

## الجزء 1

### بالملاحق 1

## حساب مخططات هوائيات الإرسال على الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)

### 1 مقدمة

يلخص هذا الجزء باقتضاب المبادئ النظرية الأساسية للهوائيات VHF و UHF والخصائص العامة لأنظمة الهوائيات المحققة بواسطة عدد من المشعات المختلفة.

تُعطى كذلك بعض الأمثلة عن أنظمة الهوائيات لإظهار أدائها وتوجيه المستعمل في اختيار التشكيلة التي تستوفي الشروط. على وجه الخصوص، تعطي الفقرتان 4.6 و 2.7 الإجراءات التحليلية لحساب مخطط الإشعاع الإجمالي لنظام هوائي. الغرض من هذا القسم هو تقديم طريقة موحدة موصى بها لتقييم أداء نظام هوائي في الظروف المثلى. لكن يجب أن يبقى نصب العين أن الانحرافات عن المخططات المحسوبة وفقاً للإجراء السابق قد تُصادف في الحالات الواقعية كما هو موصوف في الجزء 2.

### 1.1 أطر مرجعية

تُحدد الزاوية الأفقية "الحزمة" الهوائي ("ميل الحزمة") في لوائح الراديو بالدرجات بالنسبة إلى الأفق؛ حيث يمثل الميل لأسفل زاوية سالبة. ويُحدد سمت الحزمة بالدرجات المقيسة في اتجاه عقارب الساعة من الشمال الحقيقي. ولأغراض تنظيمية، من الضروري استعمال إطار مرجعي مشترك على النحو المنصوص عليه في هذه التعاريف، لضمان مراعاة تأثير حزمة أي هوائي بشكل صحيح بالنسبة إلى منطقة الخدمة الخاصة بهوائي آخر. ومع ذلك، تتعلق هذه التوصية بخصائص الهوائي ذاته وتكون الصيغ الرياضية أكثر مرونة وأقل تعقيداً في الحالات التالية:

- استعمال إطار مرجعي يتصل بالهوائي ذاته؛

- تكون جميع الزوايا بالقياس الدائري وليس بالدرجات.

ويُستعمل في هذه التوصية الإحداثيات القطبية والديكارتية على السواء حسب الحالة. وتُستعمل الإحداثيات القطبية ما يلي:

$$r - \text{المسافة من نقطة الأصل، } \theta - \text{زاوية الارتفاع، } \varphi - \text{زاوية السمت}$$

وتُستعمل الإحداثيات الديكارتية ما يلي:

$$x - \text{محور أفقي اعتباطي، } y - \text{محور أفقي اعتباطي (عمودي على } x\text{)، } z - \text{محور رأسي}$$

المحور "x" هو محور الحزمة الرئيسية للهوائي في كثير من الأحيان. وعندما "يتراكب" نظاما الإحداثيات هذان، يعتبر المرجع المشترك ( $r, \theta = 0, \varphi = 0$ ) هو المحور x.

وجدير بالذكر أنه عند النظر في منطقة الخدمة للهوائي وآثاره المحتملة على مناطق الخدمة للهوائيات الأخرى، يجب أن يُسند اتجاه الحزمة إلى الشمال الحقيقي.

## 2 التمثيل الهندسي لمخططات إشعاع الهوائيات

يمكن أن يتكون الهوائي من عنصر وحيد أو صفيح من عناصر الإشعاع. وتوزيع الإشعاع الفضائي، أو مخطط هوائي يمكن أن يُمثل بموقع هندسي ثلاثي الأبعاد، لكل نقطة منه قيمة قوة محرّكة موجية (c.m.f.)<sup>\*</sup>، تقوم على كرة ممرّكة حول المركز الكهربائي للهوائي ونصف قطره كبير بالنسبة للأبعاد المادية والكهربائية للهوائي.

يُعبّر عن القوة المحركة الموجية عند نقطة ما على الكرة بالوحدة dB تحت القوة المحركة الموجية القصوى، التي تؤخذ على أنها تساوي 0 dB.

يقوم مخطط الإشعاع ثلاثي الأبعاد على نظام الإحداثيات المرجعي للشكل 1.

وتُحدد المعلمات التالية:

$\theta$ : زاوية الارتفاع بالنسبة للمستوي الأفقي ( $-\pi/2 < \theta < \pi/2$ ) تمثل الزوايا السالبة ميل الحزمة لأسفل

$\phi$ : زاوية السمّت بالنسبة لمحور  $x$  ( $0 < \phi < 2\pi$ )

$r$ : المسافة بين المصدر ونقطة الرصد

$Q$ : نقطة الرصد.

المحاور  $x$  و  $y$  و  $z$  هي مجموعة إحداثيات ديكارتية متعامدة تُمثل عليها أحياناً الإحداثيات القطبية للمساعدة في التمثيل الرياضي لبعض خصائص الهوائي. وبينما يكون المحور "z" رأسياً دائماً، يتم اختيار المحورين "x" و "y" لتمثيل الهوائي وخصائصه أفضل تمثيل.

\* تعريف القوة المحركة الموجية والقوة المحركة الموجية الخاصة (انظر التوصية ITU-R BS.561).

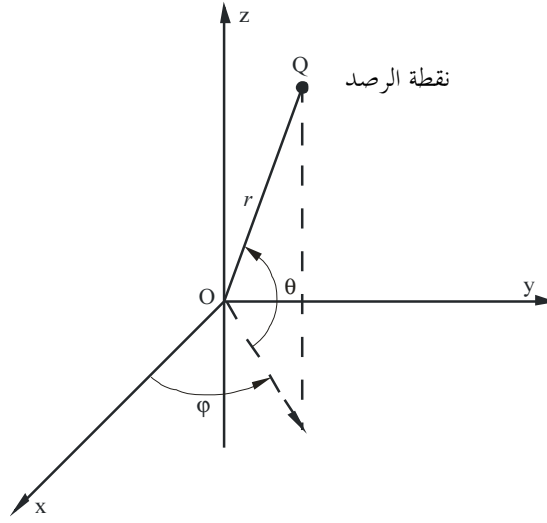
إن القوة المحركة الموجية عند نقطة معينة في الفضاء هي جداء شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة الناتجة عن الهوائي والمسافة من تلك النقطة إلى الهوائي. يجب أن تكون هذه المسافة واسعة بما يكفي لتكون المكونات المرجعية للمجال غير ذات دلالة.

يُعبّر عن القوة المحركة الموجية بالفولت (V) مساوية رقمياً لشدة المجال الكهربائي (mV/m) على مسافة 1 km.

إن القوة المحركة الموجية الخاصة عند نقطة ما في الفضاء هي القوة المحركة الموجية عند تلك النقطة عندما تكون القوة المشعة بواسطة الهوائي تساوي 1 kW.

الشكل 1

نظام الإحداثيات المرجعية



BS.1195-01

### 3 مخططات الإشعاع وحساب الكسب

في نظام الإحداثيات المرجعية للشكل 1، يُعطى اتساع المجال الكهربائي الذي ينشئه هوائي ما بواسطة المعادلة التالية:

$$(1) \quad |E(\theta, \varphi)| = k |f(\theta, \varphi)|$$

حيث:

$|E(\theta, \varphi)|$ : اتساع المجال الكهربائي

$|f(\theta, \varphi)|$ : دالة مخطط الإشعاع

$k$ : عامل تقييس للحصول على  $(|E(\theta, \varphi)|_{max} = 1)$ ، أي 0 dB.

إذا عبرنا عن المجال الكهربائي الإجمالي حسب مكوناته في نظام إحداثيات كروية، نحصل على:

$$(2) \quad |E(\theta, \varphi)| = \left[ |E_\theta(\theta, \varphi)|^2 + |E_\varphi(\theta, \varphi)|^2 \right]^{1/2}$$

تُعرف الاتجاهية،  $D$ ، لمصدر إشعاع ما على أنها نسبة شدة إشعاعه القصوى (أو كثافة تدفق القدرة) إلى شدة إشعاع مصدر متناحٍ يشع نفس القدرة الإجمالية. ويمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

$$(3) \quad D = \frac{4\pi |E(\theta, \varphi)|_{max}^2}{\int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |E(\theta, \varphi)|^2 \cos \theta \, d\theta \, d\varphi}$$

عندما تُطبق المعادلة (1)، يمكن التعبير عن  $D$  باستعمال الدالة المقيسة لمخطط إشعاع المصدر،  $|f(\theta, \varphi)|$ :

$$(4) \quad D = \frac{4\pi |f(\theta, \varphi)|_{max}^2}{\int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |f(\theta, \varphi)|^2 \cos \theta \, d\theta \, d\varphi}$$

لا يتوقف تعريف الاتجاهية أعلاه إلا على قالب مخطط إشعاع المصدر.



لأخذ فعالية الهوائي في الاعتبار، لا بد من تحديد كسبه  $G$ ، معبراً عنه كنسبة شدة إشعاعه القصوى إلى شدة الإشعاع القصوى لهوائي مرجعي بنفس قدرة الدخل.

عندما يُؤخذ هوائي متناحٍ دون خسارة على أنه الهوائي المرجعي الموصى به، فإن الكسب،  $G_i$ ، يُعبر عنه بواسطة المعادلة التالية:

$$(5) \quad G_i = 10 \log_{10} D \quad \text{dB}$$

هناك عبارة أخرى تُستعمل في الواقع تتمثل في الكسب المتعلق بثنائي أقطاب نصف موجي،  $G_d$ ، وهي:

$$(6) \quad G_d = G_i - 2.15 \quad \text{dB}$$

## 4 عناصر الإشعاع

### 1.4 المصادر النقطية

عندما يشع هوائي ما في ظروف المجال البعيد (منطقة فرونفوفر)، أي عندما تكون المسافة من الهوائي بحيث أن مجالاته الكهرومغناطيسية يمكن أن تُؤخذ على أنها متعامدة مع اتجاه الانتشار، يمكن اعتبار الهوائي مصدراً نقطياً.

عند الموجات VHF و UHF، غالباً ما تكون هذه المسافة من القصر، خاصة في منطقة الخدمة، بحيث أن أي عنصر إشعاع يمكن اعتباره مصدراً نقطياً، بغض النظر عن قده وتعقيده.

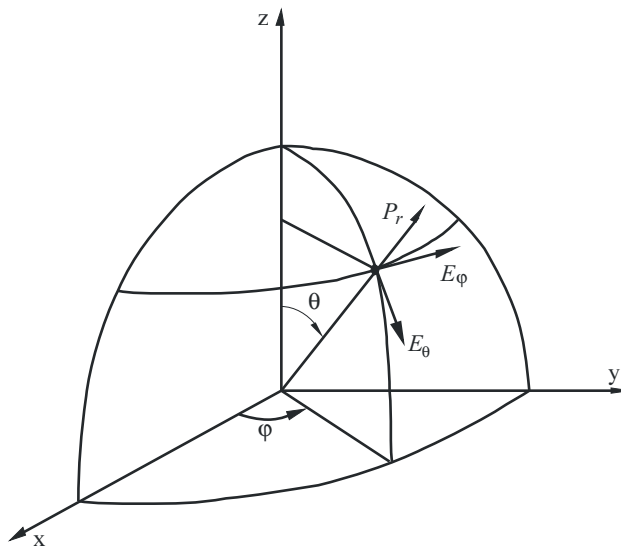
علاوة على ذلك، فإن مخطط إشعاع هذه المصادر النقطية، المستعملة كتقريب لعناصر الإشعاع بالموجات VHF و UHF النمطية، غالباً ما يكون اتجاهياً.

في ظروف المجال البعيد، غالباً ما يكون تدفق القدرة من مصدر نقطي نصف قطري.

لذلك فإن متجهة بوينتينغ تنتج فقط عن مكوني مجال كهربائي عرضي  $E_\theta$  و  $E_\phi$  كما هو مبين في الشكل 2.

### الشكل 2

العلاقة بين متجهة بوينتينغ والمكونات الكهربائية للمجال البعيد



عندما تكون الموجة الكروية على مسافة كبيرة بما يكفي بحيث يمكن اعتبارها مستويًا، يُعطى متوسط متجهة بوينتينغ (المكونة نصف القطرية فقط)  $P_r$  بالمعادلة التالية:

$$(7) \quad P_r = \frac{E^2}{2Z_0}$$

حيث:

$$(8) \quad E^2 = E_\theta^2 + E_\phi^2$$

و:

$Z_0$ : المعاوقة الملازمة في الفضاء الحر

$E$ : شدة المجال الكهربائي الإجمالية.

إذا أخذنا في الاعتبار تغير شدة المجال الكهربائي الإجمالية عند نصف قطر ثابت، فإن المخطط الناتج يكون بدلالة  $\theta$  و  $\phi$ . بتقييس قيم المخطط بالنسبة لقيمتها القصوى (المفترضة باتجاه الإشعاع الأقصى) فإن المخطط الناتج يُدعى بمخطط إشعاع الاتساع النسبي.

تُعطى شدة المجال الكهربائي  $E$  المولدة عند مسافة  $r$  بمصدر متناحٍ يشع قدرة  $P_{is}$  بواسطة (انظر كذلك التوصية (ITU-R P.525):

$$(9) \quad E = \left[ 30 P_{is} / r^2 \right]^{1/2} \quad \text{V/m}$$

حيث:

$P_{is}$ : قدرة متناحية (W)

$r$ : المسافة (m).

تُعرف العلاقة السابقة كذلك باسم حالة الانتشار في الفضاء الحر.

بإحالة القدرة المشعة المتناحية  $P_{is}$  إلى القدرة المشعة ثنائية الأقطاب نصف الموجية  $P$ ، أي،  $(P_{is} = 1,64 P)$ ، تصبح عبارة شدة المجال الكهربائي:

$$(10) \quad E = 7.014 \sqrt{P} / r \quad \text{V/m}$$

إذا عبرنا عن  $E$  بـ mV/m و  $r$  بالأمتار:

$$(11) \quad E = 7.014 \times 10^3 \sqrt{P} / r \quad \text{V/m}$$

أو إذا عبرنا عن  $E$  بـ dB( $\mu$ V/m)

$$(12) \quad E = 20 \log_{10} \left( \sqrt{P} / r \right) + 136.9 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m})$$

فيما يخص مصدرًا نقطيًا لا متناحيًا، فإن شدة المجال الكهربائي  $E_{ni}$  المشعة في اتجاهات مختلفة سوف تتأثر بمخطط الإشعاع، بحيث أن:

$$(13) \quad E_{ni} = f(\theta, \phi) \cdot E_{is}$$

حيث:

$E_{ni}$ : شدة المجال الكهربائي المولدة عند نقطة الرصد  $Q(r, \theta, \phi)$  بواسطة مصدر نقطي لا متناحٍ بقدرة  $P$

$f(\theta, \phi)$ : دالة مخطط إشعاع الاتساع النسبي للمصدر النقطي اللامتناحي

$E_{is}$ : شدة المجال الكهربائي المولدة عند نقطة الرصد  $Q$  بواسطة مصدر نقطي متناحٍ بنفس القدرة  $P$ .

## 2.4 صفائف المصادر النقطية

عند اعتبار صفائف مصادر نقطية مثل تلك المصادفة عادة عند الموجات VHF و UHF حيث غالباً ما تكون هناك حاجة إلى أنظمة هوائيات معقدة، فإن الحالتين التاليتين تكتسبان أهمية بالغة:

(أ) صفائف المصادر النقطية اللامتناحية المتشابهة؛

(ب) صفائف المصادر النقطية اللامتناحية وغير المتشابهة.

تتعلق الحالة (أ) بالصفائف التي تكون لعناصرها مخططات إشعاع ذات اتساع نسبي متساو (نفس الشكل) مسددة نحو نفس الاتجاه. عادة ما تكون هذه هي حالة صفييف هوائيات لوحات مكومة عمودياً (انظر الفقرة 1.4.6) مسددة نحو نفس الاتجاه.

الحالة (ب) هي الحالة الأعم حيث لا يوجد أي ارتباط بين مخططات الإشعاع بالاتساع النسبي للمصادر المجموعة التي قد توجه عشوائياً.

### 1.2.4 مضاعفة المخططات

بالنسبة لصفائف المصادر النقطية غير المتناحية لكن المتشابهة (الحالة أ) من الفقرة 2.4، ينطبق مبدأ مضاعفة المخططات. وفقاً لهذا المبدأ، إن الاتساعات النسبية لمخطط إشعاع صفييف مصادر نقطية غير متناحية لكن متشابهة هو جداء مخطط اتساع المصدر الفردي ومخطط صفييف المصادر النقطية المتناحية، بينما ينتج مخطط الطور الإجمالي عن جمع مخططات الطور للمصدر الفردي وصفييف المصادر النقطية المتناحية.

يمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$(14) \quad E(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi) \cdot F(\theta, \varphi) \quad \angle \left( f_p(\theta, \varphi) + F_p(\theta, \varphi) \right)$$

حيث يكون في نظام الإحداثيات المبين في الشكل 1:

$E$ : متجهة شدة المجال الكهربائي

$f(\theta, \varphi)$ : دالة مخطط إشعاع الاتساع النسبي للمصدر الفردي

$f_p(\theta, \varphi)$ : دالة مخطط إشعاع طور المصدر الفردي

$F(\theta, \varphi)$ : دالة مخطط إشعاع الاتساع النسبي لصفائف المصادر المتناحية (يُسمى كذلك عامل الصفييف)

$F_p(\theta, \varphi)$ : دالة مخطط إشعاع الطور لصفائف المصادر المتناحية.

### 2.2.4 الإضافة المتجهية للمخططات

عند اعتبار الحالة الأكثر عموماً لصفائف مصادر نقطية لا متناحية (أي مصادر لا متناحية لها مخططات إشعاع مختلفة و/أو ذات اتجاه مختلف عن اتجاه الإشعاع الأقصى (الحالة ب) من الفقرة 2.4)، يصبح من غير الممكن تطبيق مبدأ مضاعفة المخططات.

هذه حالة تقليدية بالنسبة لأنظمة الهوائيات VHF و UHF حيث العناصر المشعة (اللوحات، ياغي، الخ) تُعتبر مصادر نقطية ذات مخططات إشعاع متشابهة أم لا، موجهة نحو اتجاهات مختلفة.

في هذه الحالة يُحسب مخطط الإشعاع الناتج  $E(\theta, \varphi)$  بإضافة متجهية للإشعاع (الاتساع والطور) لكل مصدر نقطي فردي عند أي زاوية محددة، على النحو التالي:

$$(15) \quad E(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^n E_i(\theta, \varphi)$$

حيث:

$$E_i(\theta, \varphi) : \text{المجال الكهربائي المشع للمصدر من الرتبة } i$$

$$E(\theta, \varphi) : \text{شدة المجال الناتج.}$$

### 3.4 المشعاعات الأولية VHF و UHF

على الرغم من أن المشعاعات الأولية قليلاً ما تُستعمل في الإذاعة بالموجات VHF و UHF على انفراد، سوف نتفحص باقتضاب تلك الأكثر شيوعاً المستعملة لتشكيل معظم أنظمة الهوائيات VHF و UHF.

المشعاعات الأساسية هي: ثنائي الأقطاب والعروة والمشقوق والحلزوني.

يُعد ثنائي الأقطاب المشعاع الأولي بالموجات VHF و UHF الأكثر شيوعاً.

في نظام الإحداثيات للشكل 3، تكون مكونات المجال،  $E_\theta$  و  $E_\varphi$ ، الناتجتان عن ثنائي أقطاب بطول  $l$  ذا توزيع تيار جيبى هو:

$$E_\theta = -60 j I_0 \frac{e^{-j r \beta}}{r} \cdot \frac{\cos(\beta l \sin \varphi \cos \theta) / 2 - \cos \beta l / 2}{1 - \sin^2 \varphi \cos^2 \theta} \cdot \sin \varphi \sin \theta$$

$$E_\varphi = 60 j I_0 \frac{e^{-j r \beta}}{r} \cdot \frac{\cos(\beta l \sin \varphi \cos \theta) / 2 - \cos \beta l / 2}{1 - \sin^2 \varphi \cos^2 \theta} \cdot \cos \varphi$$

(16)

حيث:

$I_0$ : تيار التغذية

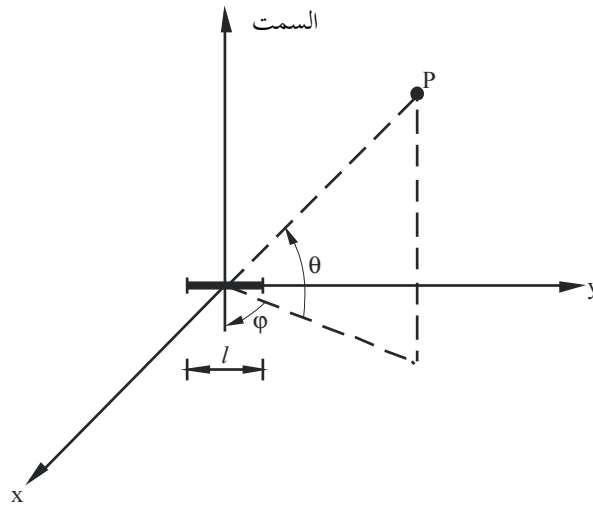
$\beta$ :  $2\pi/\lambda$

$r$ : مسافة النقطة Q للحساب.

تبسط العبارة السابقة إذا كان  $(1 = 0,5 \lambda)$  انظر كذلك مخططات هوائيات اللجنة CCIR، طبعة 1984).

### الشكل 3

ثنائي الأقطاب الأولي في نظام الإحداثيات المرجعية



BS.1195-03

في هذه الحالة يوفر ثنائي الأقطاب معاوقة مقاومة تبلغ  $\Omega 72$  عند تردده الطنان ويمكن اعتباره مكافئاً لدارة طنين سلسلة.

يكون أثر زيادة قطر الموصل الذي يشكل ذراعي ثنائي الأقطاب هو زيادة السعة وخفض الحث في الدارة الطنانة السلسلة المكافئة. بما أن Q في الدارة ينخفض نتيجة لذلك، يمكن لثنائي الأقطاب أن يشتغل على مدى واسع من الترددات.

## 5 الاستقطاب

استُعمل الاستقطاب الأفقي التقليدي للإذاعة بتشكيل التردد (FM) والاستقطاب الأفقي أو العمودي للإذاعة التلفزيونية. في السنوات الأخيرة، أدى الاستعمال الواسع للمستقبلات FM مع هوائيات مدججة ورايوهات السيارات FM إلى استعمال أشكال أخرى من الاستقطاب، الدائري أو المائل مثلاً.

يجري حالياً إدخال هذه التقنية كذلك للإرسال التلفزيوني، خاصة بالموجات UHF، حيث يبدو أن الاستقطاب الدائري يوفر أداءً أحسن في تخفيض الصور "الشبحية" في المناطق الحضرية.

يعطي التقرير ITU-R BS.464 المعلومات الضرورية لاختيار أنسب استقطاب يجب استعماله لأي خدمة FM جديدة، وفقاً للظروف المختلفة.

يُعطى فيما يلي ملخص مقتضب عن مختلف أشكال الاستقطاب للسماح بتقييم أحسن لاختلافاتها.

### 1.5 الاستقطاب الإهليلجي

يمكن اعتبار مختلف أشكال استقطاب الموجات كحالات خاصة لحالة الاستقطاب الإهليلجي الأعم.

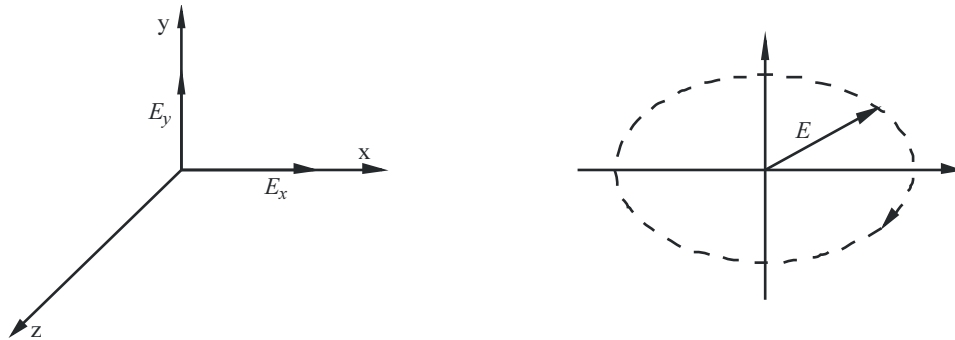
يبين الشكل 4 أنه يمكن تمثيل موجة ذات استقطاب إهليلجي بواسطة موجتين متقاطعتين ذات استقطاب خطي، تنتشران على طول المحور العيني ولهما المجالان الكهربائيان المتتاليان المعبر عنهما بما يلي:

$$\begin{aligned} E_x &= E_1 \sin \omega t \\ E_y &= E_2 \sin (\omega t + \varphi) \end{aligned} \quad (17)$$

حيث  $\varphi$  هي اختلاف الطور بين الموجتين. عندما تنتقل موجة ذات استقطاب إهليلجي على طول المحور العيني، فإن المتجهة  $E$  الناتجة تشكل إهليلجاً تُعطى أنصاف محاوره بواسطة  $E_1$  و  $E_2$ .

#### الشكل 4

#### الاستقطاب الإهليلجي



### 2.5 الاستقطاب الأفقي والاستقطاب العمودي

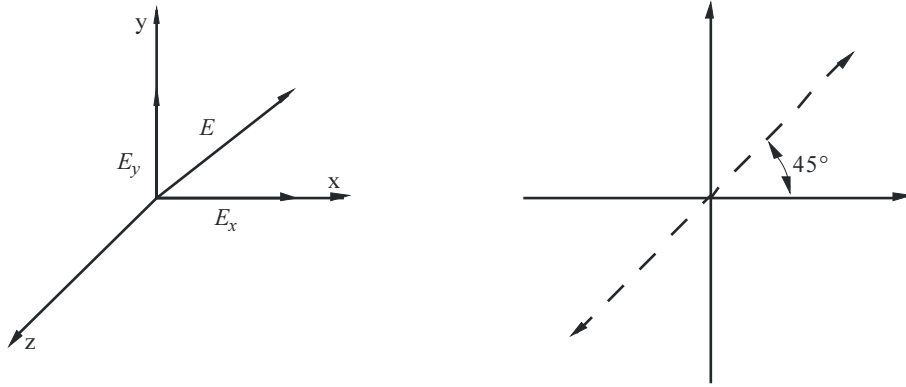
تحدث هاتان الحالتان عندما يكون في المعادلة (17) إما  $(E_y = 0)$  (الاستقطاب الأفقي) أو  $(E_x = 0)$  (الاستقطاب العمودي).

### 3.5 الاستقطاب المائل

يحدث استقطاب مائل بـ  $45^\circ$  عندما يكون في المعادلة (17):  $(E_1 = E_2)$  و  $(\phi = 0)$ .

الشكل 5

الاستقطاب المائل



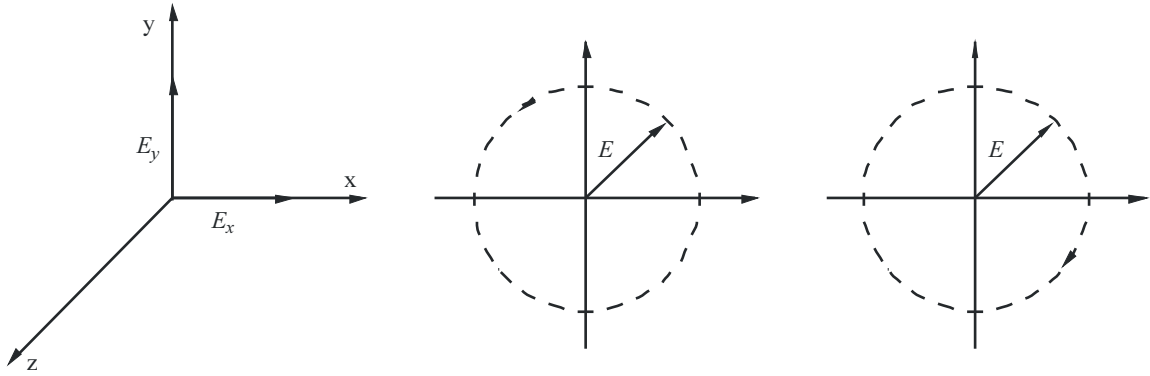
BS.1195-05

### 4.5 الاستقطاب الدائري

يحدث الاستقطاب الدائري عندما يكون في المعادلة (17):  $(E_y = E \sin \omega t)$  و  $(E_x = \pm E \cos \omega t)$ . عندما تكون الإشارة موجبة، يكون دوران الموجة في اتجاه عقارب الساعة في اتجاه المحور العيني الموجب (الاستقطاب الدائري اليماني). عندما تكون الإشارة سالبة، يحدث الاستقطاب الدائري اليماسر:

الشكل 6

الاستقطاب الدائري



BS.1195-06

يمكن إنتاج الاستقطاب الدائري أو المائل باستعمال هوائيين ذات استقطاب خطي يشعان على التوالي استقطاباً عمودياً واستقطاباً أفقياً في علاقة الطور المناسبة كما هو مشار إليه أعلاه.

## 6 صفائف الهوائيات

كما هو مذكور في الفقرة 3.4، نادراً ما تُستعمل المشعاعات الأولية بالموجات VHF و UHF على انفراد وغالباً ما تُجمع في صفائف لتحقيق:

- كسب أعلى؛
- مخطط أحادي الاتجاه.

تتمثل الصفائف الأكثر استعمالاً في الصفائف الخطية للمشعاعات الأولية. هذه الصفائف المجمعة من قبل المصنّع متيسرة لمهندس التصميم في أشكال متنوعة، مثل الهوائيات ثنائية الأقطاب والهوائيات اللوحية وهوائيات ياغي، إلخ. عند ذلك تُستعمل لتشكيل أنظمة هوائيات أكثر تعقيداً (أي صفائف صفائف).

في معظم الحالات تكون لهذه الصفائف مخططات أحادية الاتجاه يتم الحصول عليها باستعمال عاكس يمكن، وفقاً للحالة المعنية، أن يكون سطحاً معدنياً عاكساً أو عنصراً طفيلياً أو نشيطاً مناسباً.

تقدم الأقسام التالية بعض الخصائص الأساسية للصفائف الخطية الخاصة، التي تكتسي أهمية فورية لمصمم أنظمة الهوائيات، مثلاً الصفائف العرضية والمتسامتة والصفائف الخطية بعناصر طفيلية.

### 1.6 الصفائف العرضية

من السهل تحقيق صفائف عرضية بتغذية عناصر صفيح خطي بتيارات لها نفس الاتساع والطور. يكون للمخطط الناتج حد أقصى (أو حدود قصوى إذا لم يتوفر عاكس) موجه على نحو متقاطع مع خط الصفيح (أو مع المستوي الذي يتضمن المصادر المشعة).

عند الموجات VHF و UHF، هناك نمطان من الصفائف العرضية يكتسيان أهمية فورية بالنسبة للمصمم: الصفيح العمودي

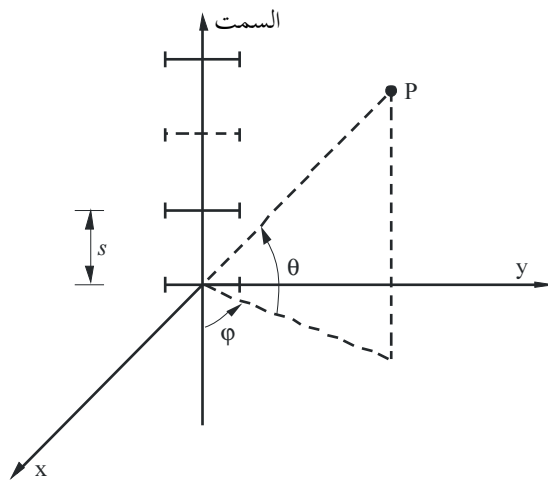
بثنائي أقطاب أفقي والصفيح المتسامت شامل الاتجاهات بثنائي أقطاب عمودي.

*الصفائف العمودية بثنائيات أقطاب أفقية*

للصفائف العمودية بثنائيات أقطاب أفقية بنية متكررة (انظر الشكل 7) تتكون من بطارية عمودية ذات ثنائيات أقطاب أفقية متساوية التباعد (غالباً  $0,5\lambda$ ) مغذاة بتيارات لها نفس الاتساع والطور.

الشكل 7

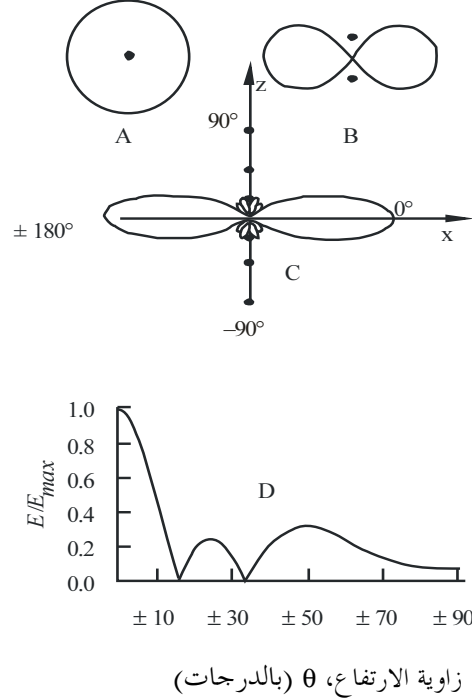
الصفيح العمودي بثنائي أقطاب أفقي



يبين الشكل 8 المخططات النمطية لهذا النمط من الصفائف (في المستوي x-z).

الشكل 8

أثر تكويم عدة مصادر نقطية متساوية التيارات والطور



- A: مخطط عمودي لمصدر وحيد
- B: مصدران
- C: ستة مصادر
- D: مخطط عمودي لـ C في إحداثيات ديكراتية

BS.1195-08

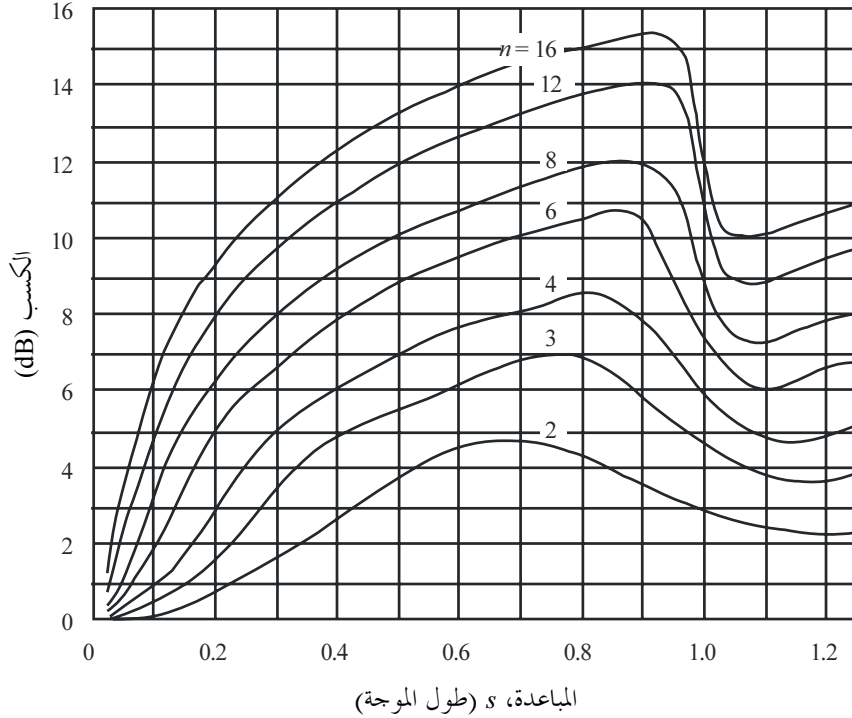
من المهم ملاحظة أن كسب الصفيف يتوقف على عدد العناصر ومباعدتها (ومن ثم على طول الصفيف).

تبين هذه العلاقة في الشكل 9، حيث يمكن ملاحظة أنه حسب قيمة  $n$ ، فإن المباعدة المثلى تقع في المدى  $0,65-0,95\lambda$ . ويجب التشديد على أن هذه المباعدة المثلى تتوقف على التردد، وأنه عندما يكون هوائي ما مصمماً للتشغيل في النطاق الواسع (أو للقتوات المجاورة)، يجب اتخاذ هامش سلامة لاجتناب الانخفاض الحاد في الكسب الذي يحدث عند قيم المباعدهات التي تتجاوز القيمة المثلى. فيما يخص هذا النمط من صفائف الهوائيات اللوحية الفردية حيث  $n$  يمكن أن يصل حتى 4 عناصر، تكون قيم المباعده في أغلب الأحيان حوالي  $0,5\lambda$ .



## الشكل 9

كسب صفيح عمودي بثنائيات أقطاب أفقية (دون عاكس) بدلالة العدد  $n$  من العناصر ومباعدتها  $s$ . يحال الكسب إلى كسب عنصر وحيد



BS.1195-09

غير أنه عند تجميع صفيح من المشعاعات الفردية (ثنائيات الأقطاب)، يمكن للمصمم أن يختار قيمة أقرب من القيم المثلى.

الصفائف المتسامتة شاملة الاتجاهات

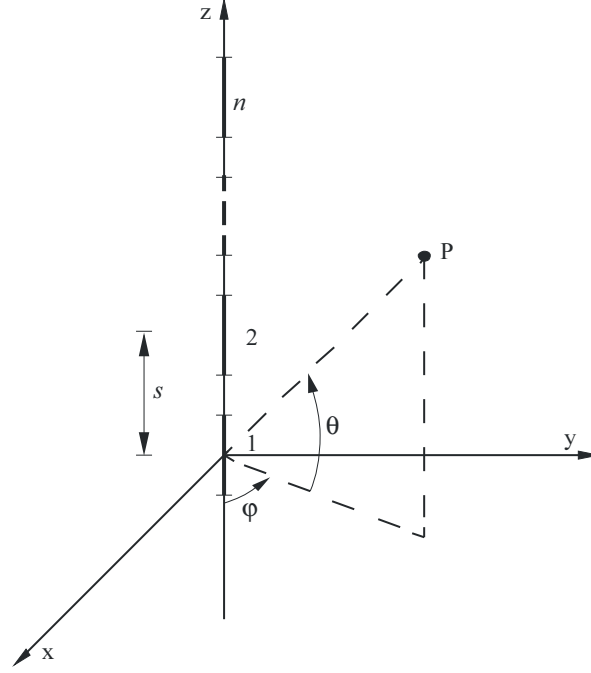
تتكون الصفائف المتسامتة شاملة الاتجاهات من بطارية عمودية من ثنائيات الأقطاب العمودية متساوية التباعد المغذاة بتيارات متساوية الاتساع والطور (انظر الشكل 10).

توفر هذه التشكيلة مخطط سمث شامل الاتجاهات ومخططاً عمودياً اتجاهياً. ويتوقف الكسب الإجمالي على عدد العناصر  $n$  ومباعدتها  $s$ ، كما هو مبين في الشكل 11.

يُستعمل هذا النمط من البنية المشعة على نطاق واسع بالموجات VHF، خاصة لأنظمة الهوائيات شاملة الاتجاهات في الإذاعة FM (انظر كذلك الفقرة 1.3.7). وغالباً ما يُصمم بتجميع المصادر الفردية (في أغلب الأحيان ثنائيات أقطاب مطوية)، ويجب توخي الحذر لاختيار المباعدة المثلى. يجب السماح بمامش كافٍ في حالة التشغيل متعدد القنوات.

الشكل 10

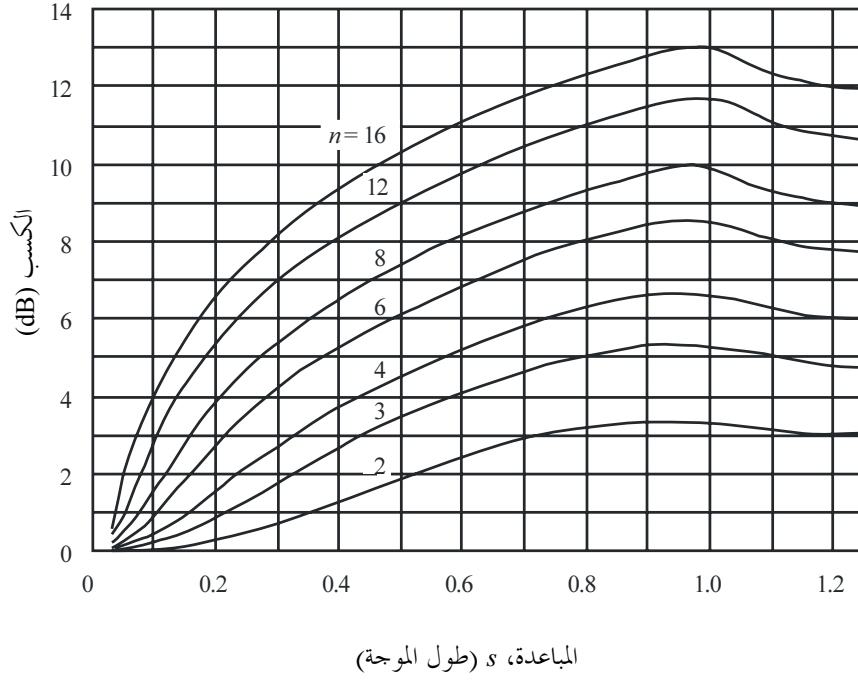
صفيف متسامت شامل الاتجاهات



BS.1195-10

الشكل 11

كسب صفيف متسامت عمودي كدالة للعدد  $n$  من العناصر ومباعدتها  $s$ . يُحال الكسب إلى كسب عنصر وحيد



BS.1195-11

1.1.6 صفائف الهوائي الخطي بعناصر طفيلية

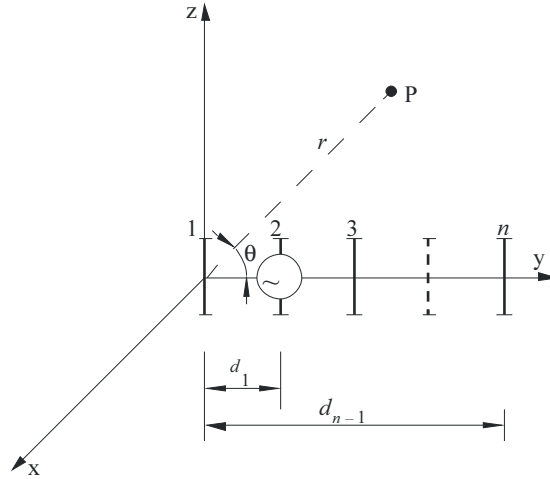
في صفائف الهوائي الخطي بعناصر طفيلية، يحث المجال الكهرومغناطيسي المشع بعنصر مغذى تيارات تتدفق في العناصر الطفيلية.

عند الموجات VHF و UHF، يكون التطبيق الأكثر أهمية لصيف بعناصر طفيلية هو ذلك الممثل بهوائي ياغي، الوارد بياناً في الشكل 12.

يتكون هوائي ياغي من عنصر نشيط، وعاكس وموجه واحد أو أكثر. يزيد الكسب الإجمالي بزيادة عدد الموجات المستعملة.

الشكل 12

هوائي ياغي



BS.1195-12

الملاحظة 1 - يمكن القيام بحساب كمي للمخطط باعتبار أن دالة مخطط العنصر من الرتبة  $i$  لهوائي ياغي ذات استقطاب عمودي المبين في الشكل 12 في المستوي العمودي z-y هي:

$$(18) \quad f_i = \frac{\cos(\beta h_i \cos \theta) - \cos(\beta h_i)}{\sin \theta}$$

حيث:

زاوية الارتفاع  $\theta$ نصف طول العنصر من الرتبة  $i$   $h_i$ 

$$\beta = 2\pi/\lambda$$

بما أن المخططات تختلف لكل عنصر من عناصر هوائي ياغي، فإن مبدأ مضاعفة المخططات (انظر الفقرة 1.2.4) لا يمكن أن يُستعمل، ومن الضروري القيام بإضافة متجهية (انظر كذلك الفقرة 2.2.4). سوف يُعطى المخطط بواسطة:

$$(19) \quad E(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^n I_i \cdot f_i(\theta) \cdot e^{j\beta d_{i-1} \cos \theta}$$

حيث:

العدد الإجمالي لثنائيات الأقطاب  $n$ التيار في العنصر من الرتبة  $i$   $I_i$ المسافة بين العاكس والعنصر من الرتبة  $i$  ( $d_0 = 0$ )  $d_{i-1}$

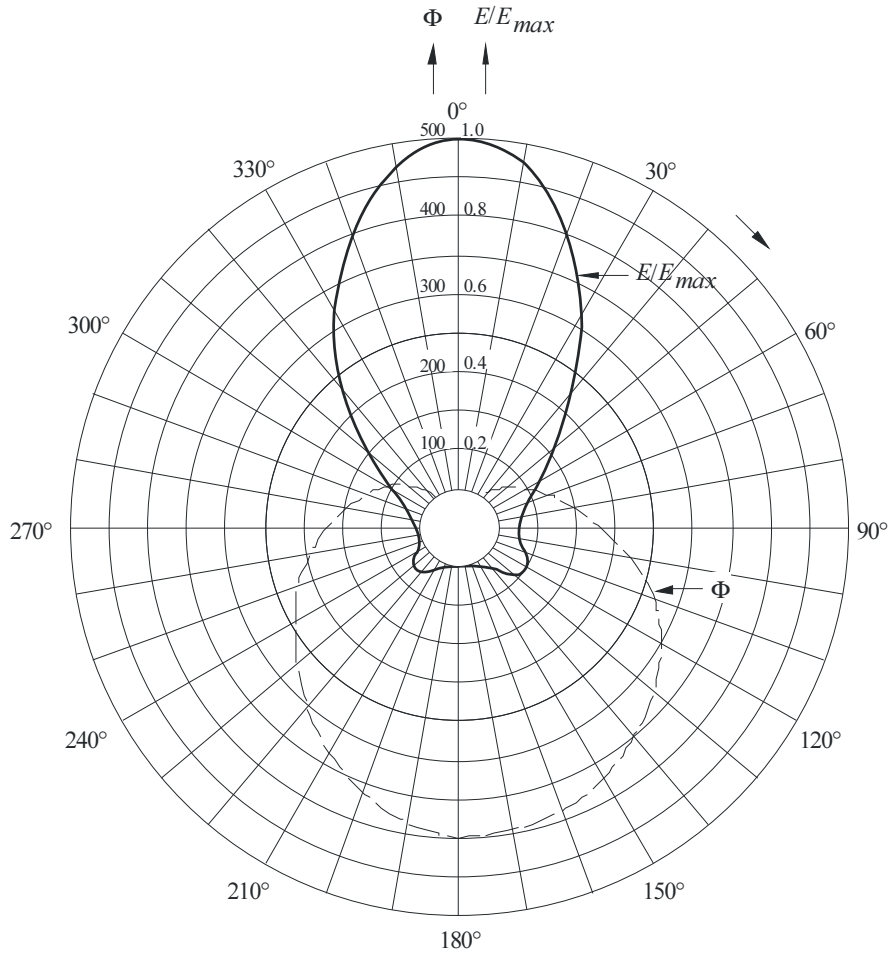
## 2.6 مخططات الإشعاع بالاتساع وبالطور

عند اعتبار مصدر نقطي وحيد، يتم تعرف كامل لهوية التوزيع الفضائي للإشارة المستقبلية بواسطة مخطط إشعاع الاتساع النسبي، أي لا تُوفّر أي معلومات مفيدة إضافية بواسطة مخطط الطور المصاحب.

في حالة مصادر لا متناحية ذات قد لا متناهٍ في صيف ما، يجب أن يُحدد مخطط الإشعاع الناتج باستعمال كل من مخطط إشعاع الاتساع النسبي ومخطط الطور المصاحب (انظر الشكل 13).

الشكل 13

### مخطط الإشعاع (الاتساع والطور) لصيف UHF



$E/E_{max}$ : مخطط إشعاع الاتساع النسبي  
 $\Phi$ : مخطط الطور (بالدرجات)

BS.1195-13

كما سبق الذكر، هناك حاجة إلى معرفة مخططي الإشعاع بالاتساع وبالطور في اتجاه الإشعاع الأقصى لتقييم المخطط الإجمالي للهوائي. تُوفّر هذه المخططات على العموم من قبل المصنّع، أو تُقاس من قبل المستعمل باستعمال الطرائق الموصوفة في الجزء 2. سوف نستعمل هذين المخططين كما هو مبين في الفقرة 2.7 لحساب مخطط نظام الهوائي.

لكن في بعض الحالات حيث هناك حاجة إلى إعادة تصميم نظام موجود مكوّن من هوائي دون مواصفات تقنية كافية، أو على العموم عندما يكون مخطط الاتساع النسبي وحده معروفاً، فإنه يمكن تطبيق الطريقة التالية ولو كانت أقل دقة.

في هذه الحالة، قد يكون من المناسب أن تُؤخذ كنقطة مرجعية للإشعاع، أي كمصدر لمخطط الاتساع النسبي للإشعاع، نقطة تُسمى "مركز الطور" أو "المركز الكهربائي" حيث يبين مخطط الطور أقل تغير في أكبر قطاع زاوي، أي المركز الهندسي الفعلي لجبهة الموجة المشعة.

في هذا القطاع الزاوي، يمكن اعتبار الصفييف كمصدر نقطي لا متناح، يقع عند مركز الطور، يمكن لمخطط إشعاعه أن يُحدد كلياً باستعمال مخطط الإشعاع بالاتساع فقط.

في الصفائف التي تستعمل ثنائيات الأقطاب والعاكسات، غالباً ما يقع مركز الطور في المنطقة بين مطاريف دخل ثنائي الأقطاب والشاشة العاكسة، ويقع نمطياً قرب مطاريف ثنائيات الأقطاب.

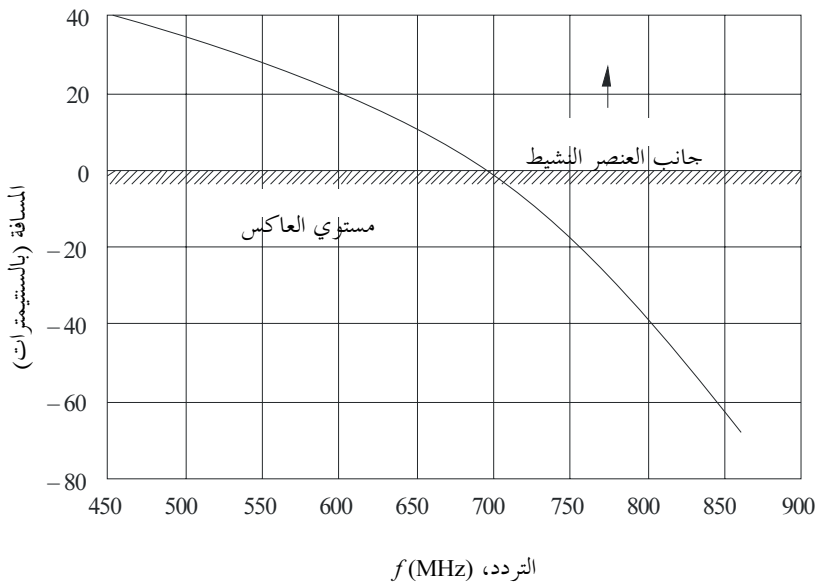
في حالة صفييف لוחي (انظر الفقرة 1.4.6) غالباً ما يكون الموقع الدقيق لمركز الطور، على أساس القياسات، محددًا من قبل المصنّع.

بما أن معظم الهوائيات الفردية عند الموجات VHF و UHF يمكن أن تشتغل على عروض نطاق واسعة نسبية (انظر الفقرة 1.4.6)، فإن المصنّع يقوم بالقياسات ويحدد موقع مركز الطور لمختلف الترددات في نطاق التشغيل. انطلاقاً من هذه القياسات يتم اشتقاق منحني يبين تغير الموقع الهندسي لمركز الطور بدلالة التردد (انظر الشكل 14).

يبين الشكل 14 كذلك نواحي القصور في طريقة مركز الطور عند حساب مخطط الإشعاع في اتجاهات يُتوقع فيها تغيرات كبيرة في الموقع الهندسي لمركز الطور. ويكون عدم الدقة مهماً بصورة خاصة عند تلك النقاط حيث آثار الإشعاع المركب لمزيد من الهوائيات يجب أن تُحسب ويمكن أن تغير كثيراً مخطط الإشعاع الناتج عند اعتبار قيم دنيا وفصوص جانبية.

#### الشكل 14

##### موقع مركز الطور لهوائي لוחي UHF عرض النطاق



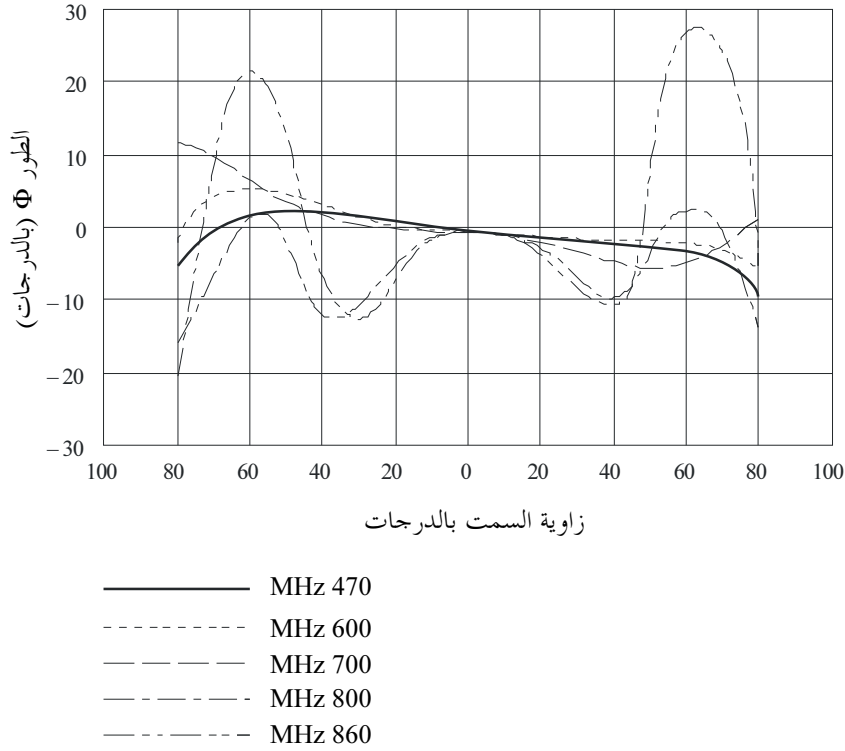
BS.1195-14

غالباً ما يوفر المصنّع كذلك أسرة من المنحنيات التي تعطي مخططات الطور لعدد من الترددات. هذه المنحنيات مفيدة لتقييم صلاحية افتراض أن مركز طور يمكن أن يُستعمل كموقع المصدر النقطي في النطاق المعني (انظر الشكل 15).

الملاحظة 1 - في تلك الحالات التي يكون فيها موقع مركز الطور غير معروف، مثلاً نظام هوائي قديم تتم إعادة تصميمه للاشتغال في ترددات مختلفة عن ترددات التصميم الأصلي، والمشعاعات المحددة بصورة غير كافية، إلخ، يمكن الرجوع إلى قاعدة تجريبية غالباً ما تُستعمل لتصميم أنظمة الهوائيات، مؤداها وضع مركز الطور حيث توجد مطاريف تغذية ثنائيات الأقطاب المشعة. يؤدي هذا الافتراض إلى نتائج أكثر اعتدالاً للمخطط الإجمالي. ويمكن كذلك تطبيقه على أنماط أخرى من العناصر المشعة، مثلاً هوائيات ياغي.

الشكل 15

مخططات الطور لهوائي لوحى UHF عريض النطاق لمختلف ترددات التشغيل



BS.1195-15

### 3.6 حساب مخطط إشعاع صفائف الهوائيات

عند تصميم أنظمة هوائيات مكونة من مشعاعات يوفرها مصنع ما (ثنائي أقطاب بسيط، هوائيات لوحية أو هوائيات ياغي، إلخ)، غالباً ما تكون مخططات الإشعاع التي يوفرها المصنّع هي الأقسام العمودية والأفقية لمخطط الاتساع ثلاثي الأبعاد و/أو مخطط الطور الذي يتضمن اتجاه الإشعاع الأقصى. ليكن  $f_A(\theta, \varphi)$  دالة مخطط اتساع المشعاع، يمكن التعبير عن مخططي الإشعاع الأفقي والعمودي على التوالي بالمعادلة:

$$(20) \quad f_{AH}(\varphi) \Big|_{\theta = \theta_{max}} \quad \text{and} \quad f_{AV}(\theta) \Big|_{\varphi = \varphi_{max}}$$

حيث  $\theta_{max}$  و  $\varphi_{max}$  هما على التوالي زاوية الارتفاع وزاوية السميت للإشعاع الأقصى.

لأسباب عملية، تضبط الزاويتان  $\theta_{max}$  و  $\varphi_{max}$  عادة على صفر في أوراق معطيات المصنّع. يمكن الحصول على القيم الفعلية لمخطط الإشعاع بالاتساع للزاويتين ( $\theta \neq \theta_{max}$ ) و ( $\varphi \neq \varphi_{max}$ ) بالعلاقة التالية:

$$(21) \quad f_A(\theta, \varphi) = f_{AH}(\varphi) \Big|_{\theta = \theta_{max}} \cdot f_{AV}(\theta) \Big|_{\varphi = \varphi_{max}}$$

بنفس الطريقة يمكن التعبير عن دالة مخطط الطور  $f_p(\theta, \varphi)$  بواسطة:

$$(22) \quad f_p(\theta, \varphi) = f_{PH}(\varphi) \Big|_{\theta = \theta_{max}} + f_{PV}(\theta) \Big|_{\varphi = \varphi_{max}}$$

حيث  $f_{PV}(\theta) \Big|_{\varphi = \varphi_{max}}$  و  $f_{PH}(\varphi) \Big|_{\theta = \theta_{max}}$  هما على التوالي دالة مخطط الطور الأفقي والعمودي للمشعاع.

تقوم هذه العبارة على الافتراض المتحقق منه عملياً بأن أي قسم عمودي أو أفقي آخر للمخطط سوف يكون له قالب شبيه بالقسم العمودي أو الأفقي الذي يحتوي على اتجاه الإشعاع الأقصى.

#### 4.6 صفائف الهوائيات VHF و UHF

##### 1.4.6 الهوائيات من النمط اللوحي

عند الموجات VHF وخاصةً عند الموجات UHF، تكون أبعاد المشعاعات الأولية صغيرة بما يكفي للسماح بتصميم أنظمة هوائيات كاملة تستعمل عناصر موفرة كمنتج كامل من قبل المصنّع.

هذه العناصر التي تُسمى لوحات تُصنّع من قبل المصنّع بتجميع المشعاعات الأولية لتكوين صفائف أكثر تعقيداً. عندئذ يمكن لمهندس التصميم أن يستعمل هذه اللوحات "كلبونات بناء" لتركيب نظام الهوائي النهائي.

تُستعمل هذه التقنية على نطاق واسع لتصميم نظام الهوائي VHF و UHF الحديث لأنها تسمح بمراقبة أحسن واستمثال لمخطط نظام الهوائي ومن ثم لفعالية واقتصاد الطيف في تصميم النظام الإجمالي.

يمكن أن تتكون اللوحة من ثنائي أقطاب نصف موجي بسيط وحيد مركب على مسافة محددة مسبقاً من مستو عاكس مدمج، أو بالنسبة للصفائف الأكثر تعقيداً المكونة من 4 مشعاعات أولية ذات نطاقات ضيقة أو عريضة (أو أكثر)، باستقطاب خطي أو دائري.

يستعمل المصنّع اللوحة فيما يخص:

- الكسب،

- مخطط الإشعاع،

- خسارة العودة،

- المعاوقة،

- نطاق تردد التشغيل.

تمثل المعلومات المستعملة في الاستمثال في:

- البنية المادية للمشعاعات الأولية،

- المباعدة بين المشعاعات الأولية،

- المسافة بين المشعاعات والعاكس (وفي بعض الحالات شكل العاكس)،

- نظام التغذية.

تشكل إمكانية العمل في نطاق عريض عاملاً أساسياً في تصميم الهوائيات ذات اللوحات الحديثة. كثيراً ما يُطلب من نفس نظام الهوائي أن يشع عدة برامج في الوقت نفسه. وهذه هي الحالة على الخصوص بالنسبة لمحطات الإرسال، التي تشكل جزءاً من شبكة إذاعة يجب أن توفر خدمتين برامجيتين أو ثلاث لمنطقة معينة، في أغلب الأحيان على قنوات ذات ترددات متباعدة جداً.

قد لا يكون هذا القيد بهذه الصرامة بالنسبة للإذاعة الصوتية FM في النطاق II حيث عرض النطاق المطلوب يبلغ فقط  $\pm 10\%$  من التردد المركزي، لكنه يؤثر كثيراً في تصميم اللوحات المطلوبة لتحقيق تغطية كاملة للنطاقين IV و V (470-960 MHz).

في هذه الحالة هناك حاجة إلى تصميم حذر للمشعاع الأولي لتخفيض Q في دارته المكافئة. غالباً ما يتحقق هذا التخفيض باستعمال عناصر مشعة بمساحة كبيرة أو منطقة قسم عرضي.

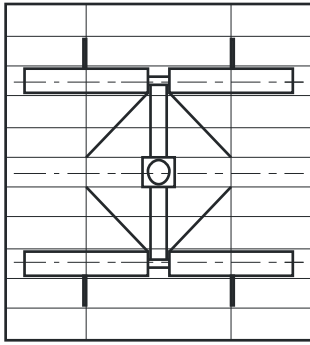
يبين الشكل 16 تصميمًا نمطيًا للوحة VHF. فهي تتكون من ثنائيي أقطاب بطول موجة كامل، مغذيين من المركز، مكومين عمودياً. ومخطط الإشعاع الأفقي والعمودي المقابلان يردان في الشكل 17.

تكون قيم الكسب النمطية (الحالة كالعادة إلى ثنائي الأقطاب نصف الموجي) للوحات النطاق I بين 5 و 7 dB، بينما يكون للوحات النطاق II حد أعلى يبلغ حوالي 8 dB عند ترددات التشغيل العليا. ولوحات النطاق III قادرة على العمل على عرض النطاق الكامل البالغ 174-230 MHz ولها قيم كسب تتراوح بين 10 و 14 dB مع انخفاض طفيف في حالة الاستقطاب العمودي.

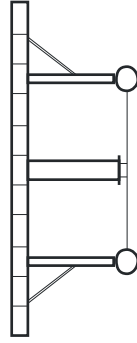
يسمح القدر المخفض للعناصر المشعة، عند الموجات UHF، بصنع اللوحات بمخططات إشعاع اتجاهية أكثر. عند هذه الترددات، رغم القيود المفروضة بالحاجة إلى التشغيل في نطاق عريض، فإن تقنية تكويم ثنائيات أقطاب أطوال موجات كاملة مغذاة من المركز ما زالت واسعة الاستعمال.

### الشكل 16

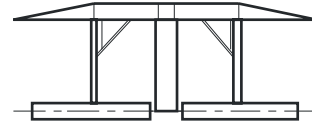
#### اللوحة النمطية لثنائي الأقطاب في النطاق I أو II



أ) مشهد أمامي



ب) مشهد جانبي

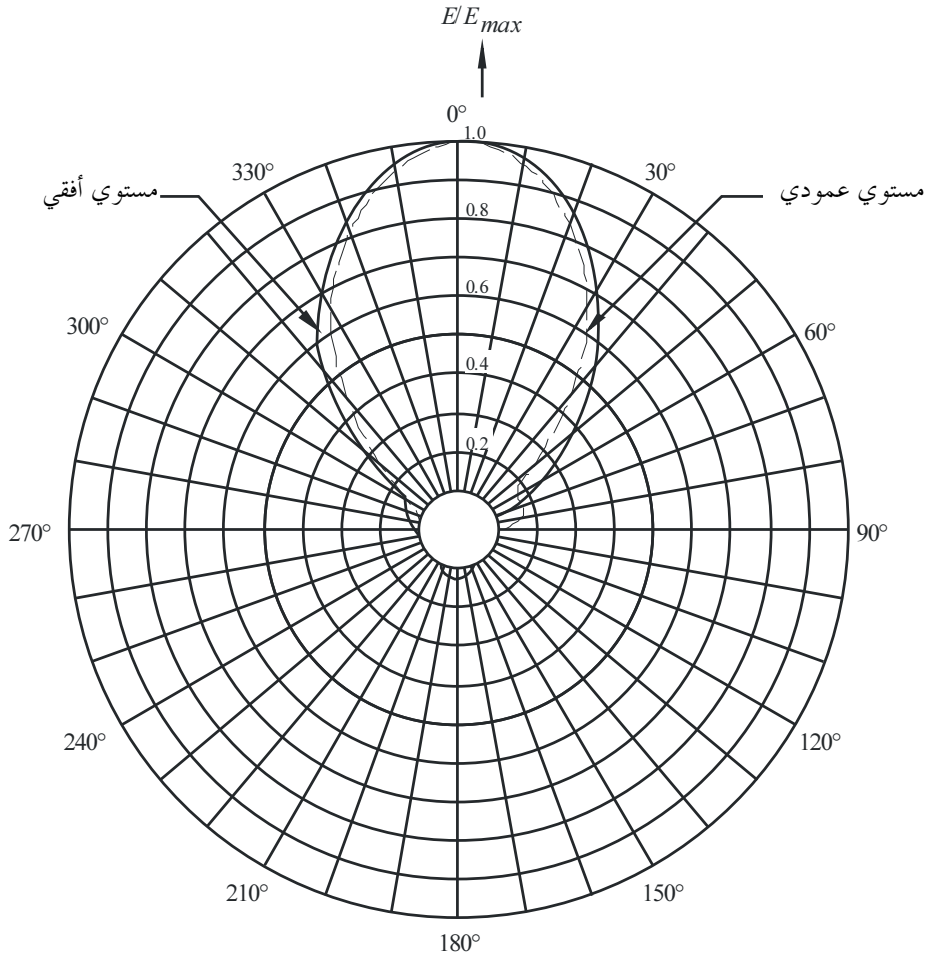


ج) مشهد علوي



## الشكل 17

## مخططات إشعاع عمودي وأقوي للوحة ثنائيات أقطاب الشكل 16



BS.1195-17

إن كون اللوحات يجب أن تغطي نطاقاً عريضاً يؤثر كذلك في معاومتها، وكسبها وموقع مركز طورها، وعلى المصنّع أن يحدد تغير هذه الخصائص مع التردد. تقع القيم التقليدية للكسب بين 10 و 12 dB، مع قيم VSWR عند دخل اللوحات لا تتجاوز 1,10.

هناك حاجة إلى إرسالات التلفزيون بالاستقطاب الدائري، مما أدى إلى تطوير لوحات ذات استقطاب دائري جيدة الأداء للاستجابة للشروط التالية:

- عند الإمكان استعمال ثنائيات الأقطاب كمشعاعات أولية لتبسيط التصنيع؛
  - تحقيق مخططات أفقية وعمودية متشابهة في نطاق ترددات واسع؛
  - تخفيض الاقتران المتبادل بين اللوحات المتجاورة لتبسيط التصميم؛
  - توفير أشكال مخططات مناسبة كذلك لتحقيق المخططات شاملة الاتجاهات مع أقل ما يمكن من التموجات.
- ما زالت الطريقة المفضلة هي استعمال لوحة مكونة من ثنائيات أقطاب متقاطعة على الرغم من أن هذا الحل يعرف بعض نواحي القصور نظراً لمخططات الإشعاع العمودية والأفقية المختلفة.

### 2.4.6 هوائيات ياغي

غالباً ما تتكون هوائيات الإرسال ياغي للإذاعة من عنصر مغذى (نمطياً ثنائي أقطاب بنصف طول موجة)، وعاكس لجعل المخطط أحادي الاتجاه وموجه واحد أو أكثر لزيادة الكسب.

على الرغم من أن هوائيات ياغي لا يمكن أن تُحدد كهوائيات عريضة النطاق بمفهوم الاعتبارات المعبر عنها في الفقرة 1.4.6، يمكن تصميمها لتعمل على عرض نطاق يتراوح بين  $5 \pm 10\%$  حول التردد الاسمي.

توفر التصميمات الحالية لهوائيات ياغي تغطية كاملة للنطاق II أو تغطية قناتين تلفزيونيتين متجاورتين في النطاق III بهوائي وحيد، مع قيم كسب تبلغ حوالي 4 إلى 5 dB، حسب عدد الموجهات (1 إلى 3).

يبين الشكلان 18 أ) و 18 ب) هوائي ياغي نمطياً للإذاعة FM ومخطط الإشعاع المصاحب له.

تتمثل مزية أخرى لهوائي ياغي في سهولة تكييفه للاستعمال مع الاستقطاب الدائري، بترتيب العناصر المتقاطعة.

كما هو الحال مع المشعاعات اللوحية، يمكن استعمال هوائيات ياغي كعناصر مشعة لتشكيل أنظمة هوائيات أكثر تعقيداً. ويمكن ترتيبها فوق أو إلى جانب بعضها لتشكيل صفائف يمكن لمخططها الإجمالي أن يلي شروطاً خاصة. يمكن حساب المخططات المحصل عليها بطريقة الفقرة 2.4، حيث تُعتبر هوائيات ياغي للنظام مصادر نقطية لا متناحية تقع عند مركز طورها المتبادل، يُفترض دائماً أنها تقع عند دخل العنصر المغذي.

### 3.4.6 أنماط أخرى من صفائف الهوائيات

من بين صفائف الهوائيات المستعملة في أنظمة هوائيات الإذاعة VHF وُجدت للهوائي اللوغاريتمي الدوري كذلك تطبيقات مهمة في أنظمة الرسائل المعيدة كهوائيات استقبال وإرسال على السواء.

تسمح مقدرات التشغيل في نطاق واسع ملازم للهوائيات اللوغاريتمية الدورية بتحقيق أجهزة قادرة على العمل بسهولة على نطاق إذاعة كامل.

إن الأداء الإجمالي للهوائيات اللوغاريتمية الدورية النمطية شبيه بأداء هوائيات ياغي ذات عنصرين مترابكين.

## 7 أنظمة الهوائيات

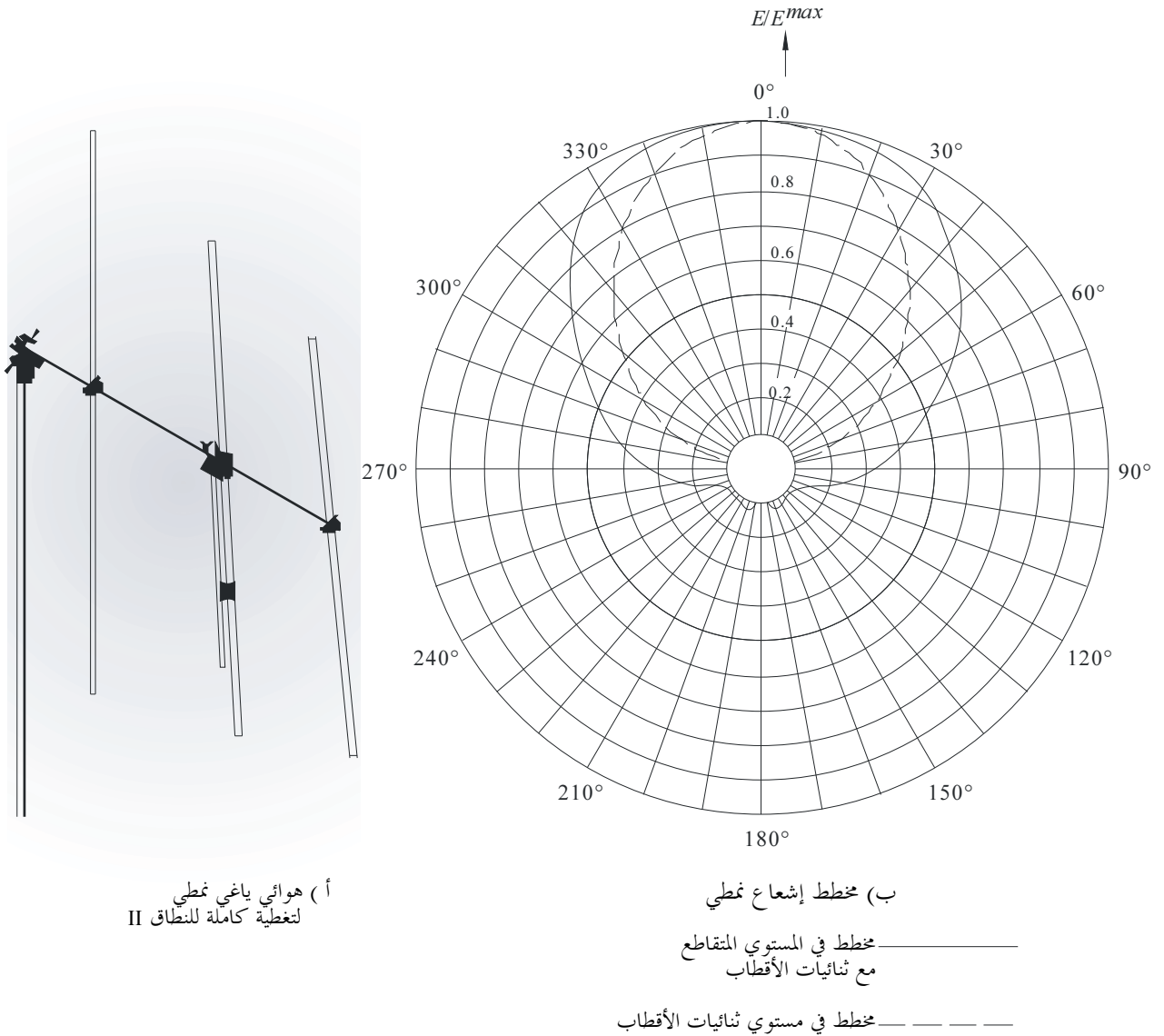
عند الموجات VHF و UHF، تُصمم أنظمة الهوائيات باستعمال صفائف عناصر مشعة لتحقيق مخطط إشعاع مستمثل.

من البديهي أنه، بما أن الإشارة المشعة بواسطة نظام الهوائي تنتشر، حسب تقدير أول، بأسلوب في خط البصر، فإن كل الطاقة المشعة فوق المستوي الأفقي الذي يتضمن الهوائي تُفقد. يمكن لهذه الخسارة أن تُخفض بتضييق مخطط الإشعاع العمودي لنظام الهوائي وتمييل الحزمة نحو الأسفل.

على نفس النحو، قد يحتاج مخطط السمات كذلك إلى المراقبة، لأنه يجب أن يتلاءم مع منطقة الخدمة المطلوبة ويوفر الحماية الضرورية لمخاطات إرسال أخرى في نفس القناة أو في قناة مجاورة.

يتمثل الحل الأكثر فعالية لمراقبة كلا مخططي الإشعاع في ترتيب عدد مناسب من العناصر المشعة، مثلاً الهوائيات اللوحية، هوائيات ياغي، إلخ التي يجب توزيعها و/أو توجيهها في اتجاه السمات المطلوب.

الشكل 18



BS.1195-18

إذاً فالأقسام التالية تهدف إلى تقديم نظرة عن التقنيات الحالية الأكثر استعمالاً لتصميم أنظمة الهوائيات المستثملة. على الرغم من أنه ستكون هناك إشارة خاصة إلى أنظمة الهوائيات من النمط اللوحي، فإن الاعتبارات التالية تنطبق عموماً على أي تقنية تستعمل عناصر الإشعاع التي يمكن للمصمم أن يغير موقعها الهندسي المتبادل وخصائص تغذيتها لتحقيق المخطط الإجمالي المطلوب.

## 1.7 مخطط نظام الهوائي

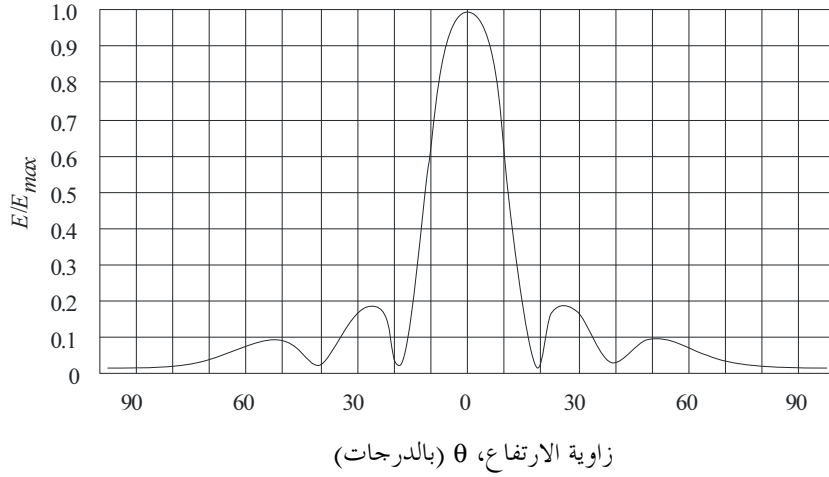
### 1.1.7 الملء بالأصفار

في القطاع الزاوي المقابل لمنطقة الخدمة المطلوبة، يجب ألا يتضمن مخطط الإشعاع العمودي أي أصفار، لأن وجودها سوف يؤدي إلى شدة إشارة تساوي نظرياً صفراً عند المواقع التي تصادف الزوايا التي تحدث عندها الأصفار. عملياً، ستكون شدة الإشارة المستقبلية أقل بكثير مما هو مطلوب إذ إنها ستتبع عن انعكاسات غير مراقبة من خارج منطقة الأصفار.

يبين الشكل 19 مخطط الإشعاع العمودي النمطي لبطارية عمودية لعنصر إشعاع متساوية التباعد مغذاة بتيارات متساوية الاتساع والطور (أي صفييف عرضي، انظر الفقرة 1.6). يمكن ملاحظة أن الأصفار تؤثر في جزء هام من القطاع الزاوي يمكن أن يقابل منطقة الخدمة المطلوبة.

الشكل 19

مخطط إشعاع عمودي لصفييف 5 عناصر إشعاع عمودية بمباعدة  $\lambda 0,5$   
بتيار وطور متساويين



BS.1195-19

تُعطى الزوايا التي تحدث عندها الأصفار بالمعادلة التقريبية التالية:

$$(23) \quad \theta = \arctan \frac{\pm k}{n d}$$

حيث:

$k$ : رقم الصفر (1، 2، ...)

$n$ : عدد العناصر المكونة

$d$ : المباعدة بين العناصر في أطوال الموجات.

تم تطوير مختلف تقنيات "سد الأصفار" للحصول على مخطط عمودي يقترب من القالب المثالي الموصوف سابقاً. يتمثل الحل الأبسط والأكثر استعمالاً في تغذية مختلف عناصر البطاريات بتيارات غير متساوية الاتساع، أي بتوزيع مناسب للقدرة. من تقنيات توزيع القدرة المعروفة جيداً تلك المسماة "التوزيع ذو الحدين" التي تضبط اتساعات تيارات التغذية بحيث تكون متناسبة مع معاملات سلسلة ذات حدين.

حسب قانون التوزيع السابق، تُعطى الاتساعات النسبية لتيارات التغذية بالنسبة للصفائف المكونة من 3 إلى 6 بما يلي:

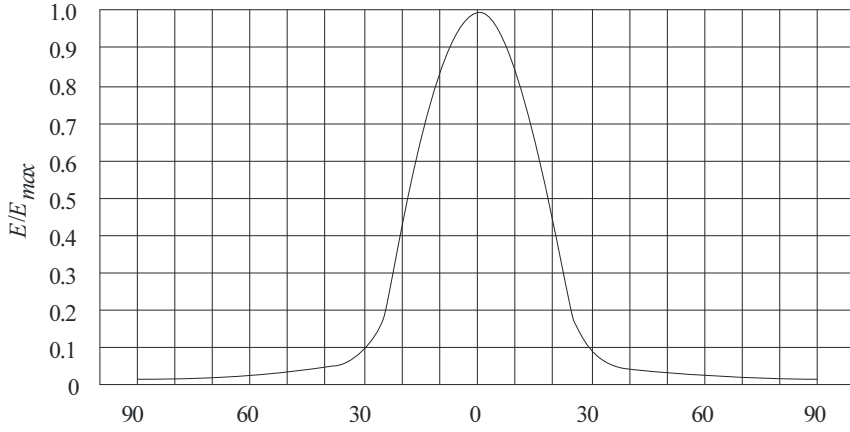
الاتساع النسبي	$n$
1، 2، 1	3
1، 3، 3، 1	4
1، 4، 6، 4، 1	5
1، 5، 10، 10، 5، 1	6

يبين الشكل 20 المخطط العمودي لصفييف الشكل 19 عند تطبيق توزيع ذي حدين.

على الرغم من أن الأصفار والفصوص الصغرى تُحذف بالتوزيع ثنائي الحدود، فإن فتحة حزمة الصفيق ومن ثم اتجاهيته تُخفض. إضافة إلى ذلك فإن التغيرات في اتساعات التيار المطلوبة للصفائف الواسعة يمكن أن تكون كبيرة جداً. ويمكن لذلك أن يسبب صعوبات في تحقيق استقرار سويات القدرة الضرورية المختلفة والحفاظ عليها.

### الشكل 20

#### مخطط الإشعاع العمودي لصفيق الشكل 19 عند تطبيق توزيع اتساع ذي حدين



زاوية الارتفاع،  $\theta$  (بالدرجات)

BS.1195-20

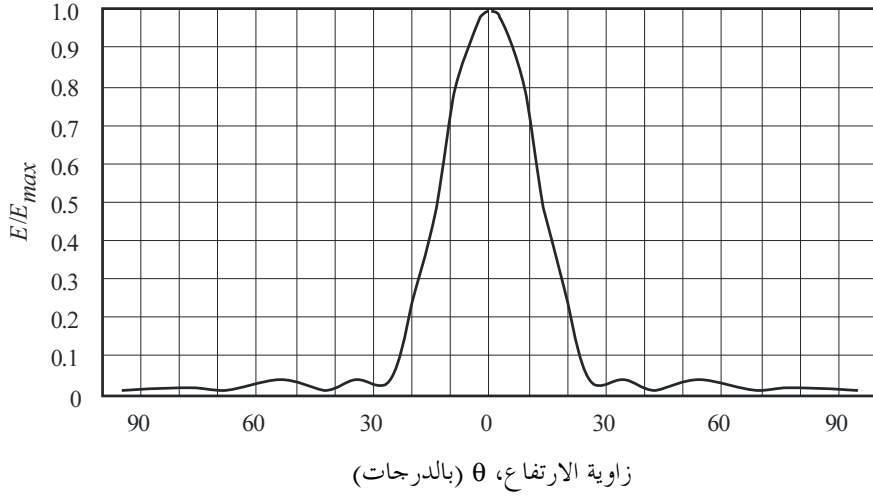
هناك تقنية توزيع أخرى تتجاوز السلبيات السابقة هي توزيع دولف-شيبشيف.

عند تطبيق هذا التوزيع، من الضروري إما تحديد السوية القصوى المطلوبة للفص الجانبي إذا كان يجب تخفيض فتحة الحزمة بين الأصفار الأولى إلى أدنى حد، أو على عكس ذلك، تحديد فتحة الحزمة بين الأصفار الأولى لتخفيض سويات الفص الجانبي إلى أدنى حد.

يبين الشكل 21 المخطط العمودي لصفيق الشكل 19 عند تطبيق توزيع اتساع دولف-شيبشيف (1؛ 1,6؛ 1,9؛ 1,6؛ 1) يقابل توهيناً أقصى محدد للفصوص الجانبية يبلغ 27 dB.

الشكل 21

مخطط الإشعاع العمودي لصفيف الشكل 19  
عند تطبيق توزيع اتساع دولف-شيشيف



BS.1195-21

بالنسبة لهذا الشكل من التوزيع، تكون المباعدة المثلى بين العناصر حوالي  $0,5\lambda$ ، على الرغم من أن التوزيع صالح كذلك لمباعدات أكبر.

يجب ملاحظة أن أي تقنية لسد الأصفار يتم استعمالها سوف تؤدي إلى انخفاض في الكسب بالمقارنة مع حالة التوزيع المنتظم. غالباً ما يُسمى انخفاض الكسب "خسارة التوزيع".

يمكن تخفيض هذه الخسارة إلى أدنى حد بتقنيات مناسبة لتركيب المخططات تؤخذ فيها القدرة المستعملة لسد الأصفار من جزء المخطط الذي يقع فوق الأفق أو من تعويض التموجات في الحزمة الرئيسية.

تجمع تقنيات أخرى أكثر تعقيداً لسد الأصفار بين توزيع طور مناسب وتوزيع الاتساع الضروري.

في هذا التوزيع الأكثر عمومية، إن خسارة الكسب بالنسبة للقدرة المنتظمة وحالة توزيع الطور المتساوي غالباً ما تُسمى "خسارة التعويض".

### 2.1.7 إمالة الحزمة

إن إمالة الحزمة ضرورية ليس فقط لتخفيض كمية القدرة المشعة فوق المستوي الأفقي، بل كذلك لتوجيه القدرة القصوى نحو سطح الأرض.

في الواقع، نظراً لانحناء الأرض، فإن الإشعاع الأقصى لصفيف هوائيات دون أي إمالة للحزمة لن يبلغ أبداً سطح الأرض.

يجب إمالة حزمة هوائي يقع على ارتفاع 300 m فوق مستوى الأرض بأكثر من  $0,5^\circ$  للسماح للإشعاع الأقصى ببلوغ سطح الأرض.

من السهل إمالة الحزمة شيئاً ما بمقدار  $1^\circ$  إلى  $3^\circ$  بإمالة أوتوماتية بسيطة لمستوي العناصر المشعة. من النادر أن تُستعمل زوايا إمالة أوتوماتية أكبر نظراً للصعوبات الميكانيكية والبيئية المصاحبة لذلك.

يمكن كذلك تحقيق إمالة الحزمة بمراقبة مناسبة لطور التيارات المغذية للعناصر في البطارية. يمكن تحقيق هذه المراقبة إما بتغذية النصف الأدنى من عناصر البطارية بتيارات ذات اختلاف طور ثابت بالنسبة للتيارات المغذية للنصف الأعلى، أو بإدخال زحزحة طور تدريجية في تيار كل عنصر إشعاع مجاور.

عادة ما تُحقق زوايا الميل الكبرى بتركيب مناسب للإمالتين الميكانيكية والكهربائية. وتجدد ملاحظة أن إدخال توزيع طور غير متساو في العناصر المشعة سوف يؤدي إلى خسارة "تعويض" بالنسبة للكسب عند استعمال توزيع منتظم للقدرة (وبأطوار متساوية).

## 2.7 مخططات إشعاع أنظمة الهوائيات

كما هو مذكور في الفقرتين 3.6 و4.6، يمكن اعتبار العناصر المشعة التي تكون نظام الهوائي كمصادر نقطية لا متناحية تقع عند مركز طورها. في هذه الحالة، يجب أن يُحسب مخطط الإشعاع الناتج، كما هو مبين في الفقرة 2.4، باستعمال إضافة متجهية تأخذ في الاعتبار مختلف مخططات الإشعاع.

يمكن أن تتحول هذه الإضافة المتجهية إلى حل مشكل هندسي خالص عندما يُعرف اتساع وطور تيار تغذية كل عنصر.

في البداية، تُستعمل حالة مصدرين مشعين متناحيين يقعان في فضاء ثلاثي الأبعاد لإيجاد اختلاف الطور بين المجالات المشعة بدلالة مواقع المصادر، وأطوار تيار التغذية والتردد.

بعد ذلك تُمدد النتائج لتشمل حالة المصادر اللامتناحية الأعم. بالإحالة إلى الشكل 22، حيث لم يُعطَ أي نظام إحداثيات معين، سوف يُؤخذ المصدر 1 على أنه المرجع لاشتقاق اختلاف الطور للمصدر 2، عند حساب المجال الناتج عند نقطة P تقابل اتجاهها محددًا.

في الشكل 22، سيكون 1' هو إسقاط المصدر 1 على المستوى الأفقي الذي يتضمن المصدر 2. على هذا المستوى، تم إظهار اتجاه الشمال الجغرافي، N، وهو يمر عبر 1'.

تُستعمل المعلومات التالية في الشكل 22.

$d$ : المسافة بين المصدر 2 والإسقاط 1' للمصدر 1 على المستوى الأفقي

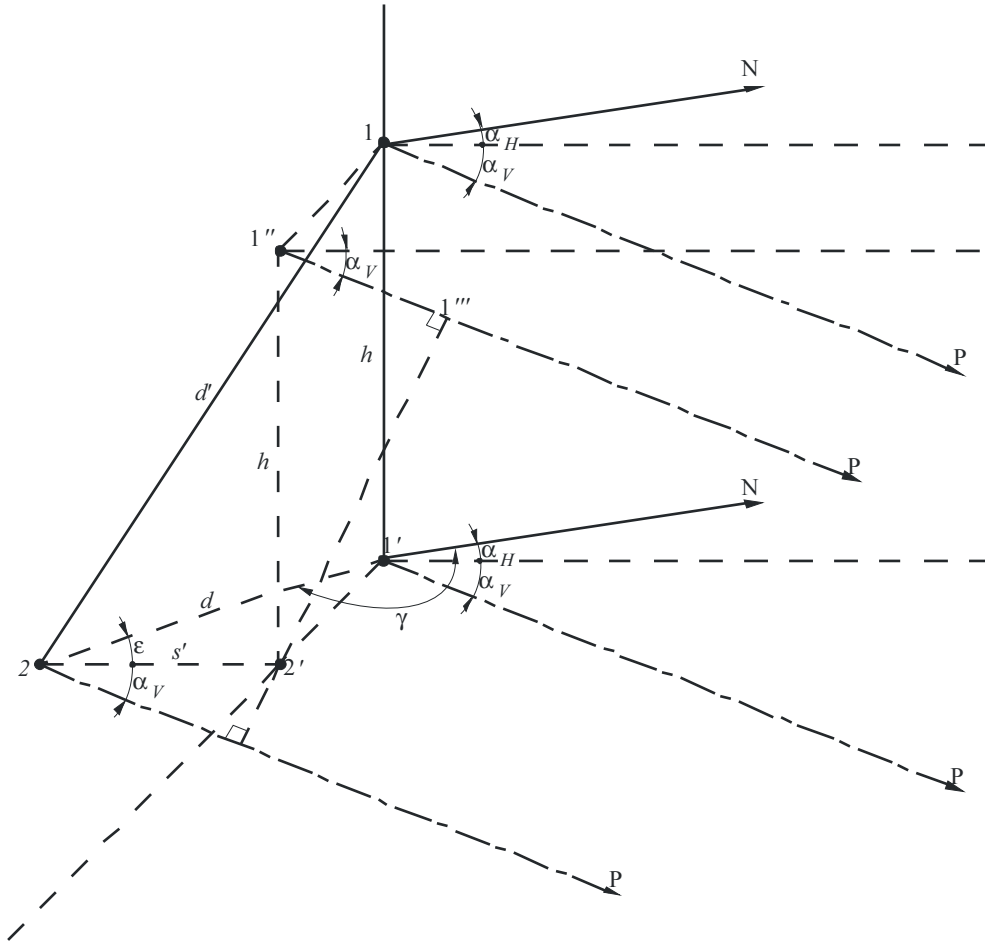
$h$ : المسافة العمودية بين المصدر 1 والإسقاط 1'

$\gamma$ : زاوية في المستوى الأفقي بين  $d$  واتجاه الشمال الجغرافي

$\alpha_H$ : زاوية في المستوى الأفقي بين اتجاه الشمال الجغرافي وإسقاط اتجاه الحساب على المستوى الأفقي

$\alpha_V$ : زاوية في المستوى العمودي بين اتجاه الحساب وإسقاطه على المستوى الأفقي.

الشكل 22  
هندسة الجمع المتجهي



BS.1195-22

إذا عبرنا عن  $d$  و  $h$  بالمتر وعن  $f$  بالميجاهرتز (MHz)، سيكون اختلاف الطور بالدرجات الكهربائية للمصدر 2 بالنسبة للمصدر 1 كما يلي:

$$(24) \quad \psi_2 = 1.2 \cdot f \cdot \left[ d \cdot \cos(\gamma - \alpha_H) \cdot \cos \alpha_V + h \cdot \sin \alpha_V \right]$$

بافتراض أن المصدر 2 يمكن أن يشع باختلاف طور يبلغ  $\beta$  درجات بالنسبة للمصدر 1 (نظراً لاختلاف الطوري مثلاً بين تيارات التغذية) وباختلاف طور  $\Delta\psi_p(\theta, \varphi)$  نظراً لمخطط إشعاع الطور، يمكن كتابة (24) بطريقة أعم على النحو التالي:

$$(25) \quad \psi_2 = 1.2 \cdot f \cdot \left[ d \cdot \cos(\gamma - \alpha_H) \cdot \cos \alpha_V + h \cdot \sin \alpha_V \right] + \beta + \Delta\psi_p(\theta, \varphi)$$

وبالنسبة للمصدر من الرتبة  $i$  لصفيف ما

$$(26) \quad \psi_i = 1.2 \cdot f \cdot \left[ d_i \cdot \cos(\gamma_i - \alpha_H) \cdot \cos \alpha_V + h_i \cdot \sin \alpha_V \right] + \beta_i + \Delta\psi_{pi}(\theta, \varphi)$$

إذا اعتبرنا صفيفاً بعدد  $n$  من المصادر اللامتناحية، فإن مخطط المجال الناتج في أي اتجاه سيُعطى بالإضافة المتجهية لعدد  $n$  من المتجهات التي يُعطى اتساعها بمخطط إشعاع المصدر الفردي ويُعطى الطور بواسطة المعادلة (26)، مع أخذ المصدر 1 كمرجع. يُكتب ذلك رمزياً:



$$(27) \quad E(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^n V_i(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^n K_i \cdot f_i(\theta, \varphi) \cdot e^{j\psi_i(\theta, \varphi)}$$

حيث:

$V_i$ : متجهة المجال الفردي

$K_i$ : ثابتة تأخذ في الاعتبار الاختلافات في قدرات الدخل إلى المصادر

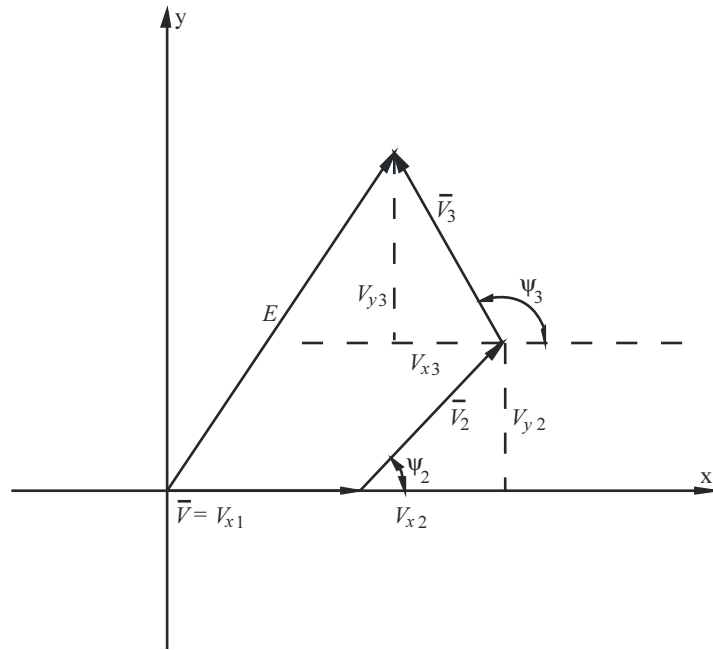
$f_i$ : مخطط إشعاع الاتساع النسبي للمصدر الفردي

$\psi_i(\theta, \varphi)$ : اختلاف الطور النسبي للمصدر من الرتبة  $i$  بالنسبة للمصدر 1 ( $\psi_1(\theta, \varphi) = \psi_{p1}(\theta, \varphi)$ ).

قد يكون من السهل القيام بالإضافة المتجهية في مستوى متجهي x-y كما هو مبين في الشكل 23، بالنسبة للعلاقة  $n = 3$ .

### الشكل 23

الجمع المتجهي في المستوى x-y للعلاقة  $n = 3$



BS.1195-23

سيكون للمتجهة الناتجة  $E(\theta, \varphi)$  المكونات:

$$(28) \quad E_x(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^n V_{xi}(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot f_i(\theta, \varphi) \cdot \cos \psi_i$$

$$(29) \quad E_y(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^n V_{yi}(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot f_i(\theta, \varphi) \cdot \sin \psi_i$$

ومن ثم:

$$(30) \quad |E(\theta, \varphi)| = \left[ |E_x(\theta, \varphi)|^2 + |E_y(\theta, \varphi)|^2 \right]^{1/2}$$

و:

$$(31) \quad \psi(\theta, \varphi) = \arctan \left[ E_y(\theta, \varphi) / E_x(\theta, \varphi) \right]$$

عملياً، سوف تُحسب  $f_i(\theta, \varphi)$  وفقاً للفقرة 3.6، على أساس المعطيات التي يزودها المصنّع بينما تُحدد  $k_i$  بواسطة القدرة المغذاة للنظام و  $\Psi_i$  تُحسب وفقاً لهندسة نظام الهوائي ومخطط الطور.

بما أنه لم يتم انتقاء أي نظام إحداثيات معينة في البداية، من الشائع حساب اختلاف الطور،  $\Psi_i$ ، لإحالة كل الزوايا الأفقية إلى اتجاه الشمال وكل الزوايا العمودية إلى المستوي الأفقي.

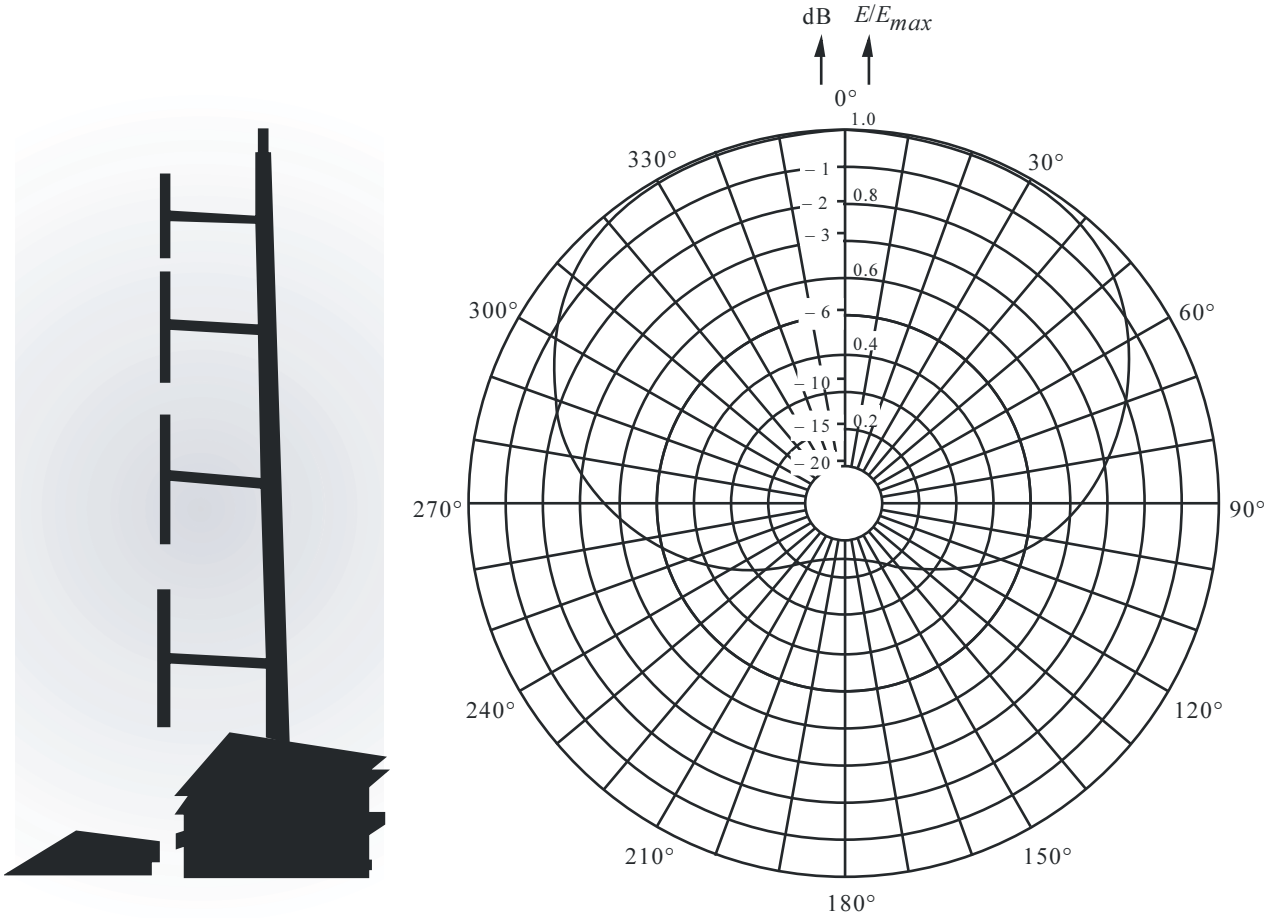
### 3.7 أمثلة عن مخططات إشعاع أنظمة الهوائيات

#### 1.3.7 أنظمة هوائيات ثنائيات الأقطاب

تُستعمل أنظمة هوائيات ثنائيات الأقطاب على نطاق واسع في إذاعة النطاق II. وهي غالباً ما تتكون من صفائف متسامتة من ثنائيات الأقطاب العمودية المكونة بطريقة منتظمة والمغذاة بواسطة تيارات متساوية الاتساع والطور. يبين الشكل 24 مثالاً عن نظام هوائيات ثنائيات الأقطاب المستقطبة عمودياً ومخطط الإشعاع الأفقي المصاحب.

الشكل 24

نظام هوائي ثنائي الأقطاب مستقطب عمودياً في النطاق II



## 2.3.7 أنظمة هوائيات ياغي

كما هو الحال بالنسبة للهوائيات اللوحية، يمكن استعمال هوائيات ياغي كعناصر مشعة لتشكيل أنظمة هوائيات أكثر تعقيداً. ويمكن ترتيبها في بطاريات أو كوات يمكن لمخططها الإجمالي أن يستجيب لشروط معينة. يمكن أن يُحسب المخطط الناتج وفقاً للفقرة 2.4، التي تُعتبر فيها هوائيات ياغي في النظام كمصادر نقطية لا متناحية تقع عند مركز طور كل منها، الذي يُفترض غالباً أنه عند دخل العنصر المغذى.

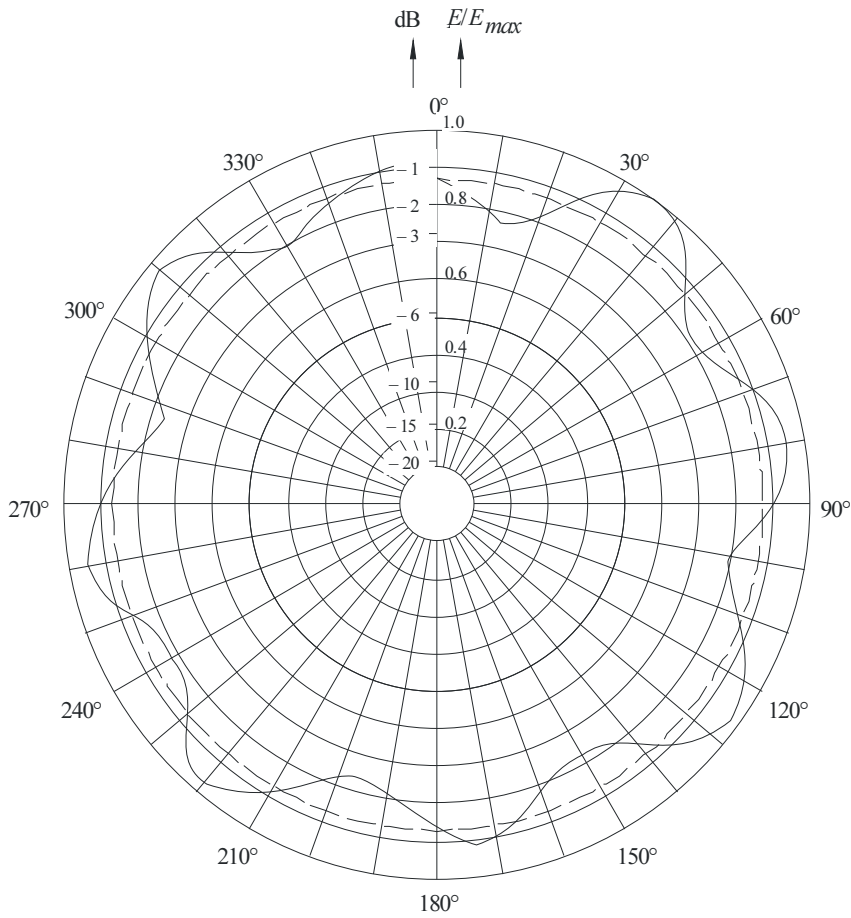
يمكن بسهولة أن نلاحظ انطلاقاً من الشكل 18 أنه في حالة الإشعاعات المستقطبة أفقياً، يتم الحصول على اتجاهية ضعيفة جداً في المستوي العمودي. لذلك فمن الشائع تكويم هوائيات ياغي.

يمكن بسهولة تحقيق أنظمة الهوائيات ذات مخططات الإشعاع أحادية الاتجاه أو شاملة الاتجاهات بتركيب هوائيات ياغي.

يبين الشكل 25 مخططاً إشعاعياً سمياً شاملاً الاتجاهات محققاً بنظام 4 هوائيات ياغي في النطاق II. في هذه الحالة، استعملت كذلك تقنية مناسبة لتعويض القيم الدنيا للمخطط الأفقي. وتتمثل هذه التقنية في إضافة العناصر العمودية المنفصلة للبنية المشعة 4 موضوعة قطبياً (انظر الشكل 26).

## الشكل 25

المخطط الأفقي لنظام هوائي ياغي شامل الاتجاهات  
في النطاق II (استقطاب دائري)



BS.1195-25

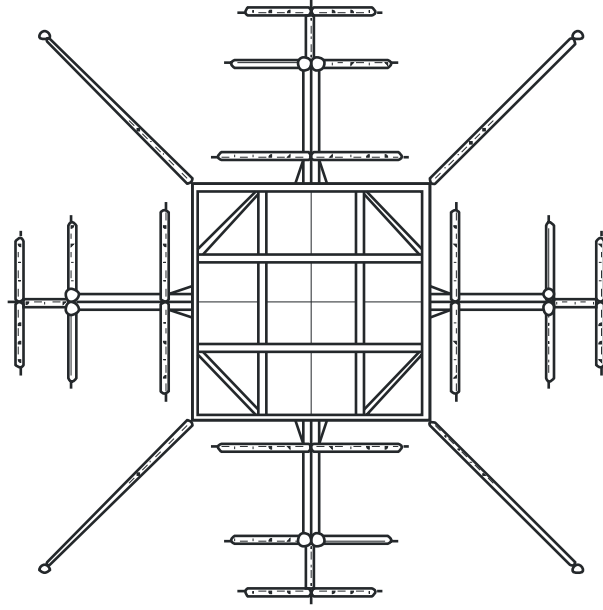
يبين الشكل 27 مخططاً سمياً اتجاهياً لنظام هوائي ياغي في النطاق II.

3.3.7 أنظمة الهوائيات اللوحية

للوحدات المصممة بكيفية صحيحة مخططات أحادية الاتجاه مع الحزمة الرئيسية المتعامدة مع سطح العاكس. بالنسبة للوحدات المركبة على سوارى ذات أقسام مربعة أو مستطيلة، يجب، عند الحاجة إلى مخطط شامل الاتجاهات، أن تيسر فتحات حزمة ذات 6 dB تبلغ 90° و 120°.

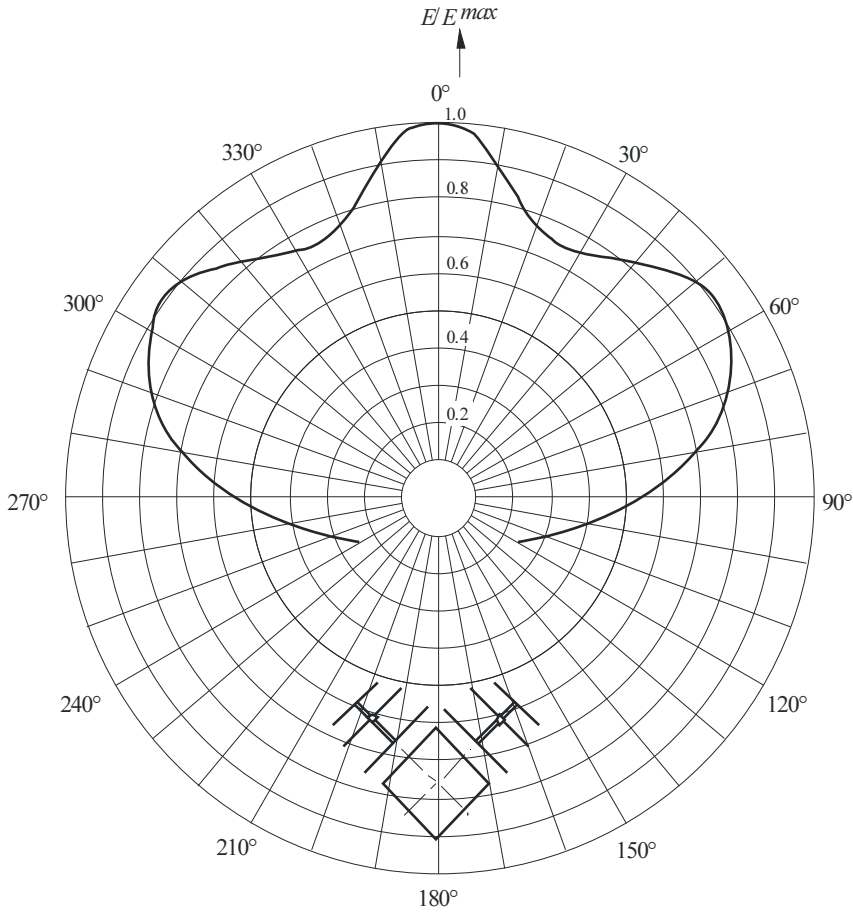
الشكل 26

نظام هوائي ياغي شامل الاتجاهات  
يوفر المخطط الأفقي الوارد في الشكل 25



## الشكل 27

## المخطط الأفقي لنظام هوائي باغي اتجاهي في النطاق II



BS.1195-27

هكذا، عندما تُغذى اللوحات بتيارات ذات طور متساوٍ في الاتجاهات القطرية، فإن الإشعاع المركب للوحتين متجاورتين مركبتين على الجانب يعوض تخفيض الكسب للوحة الفردية.

### 1.3.3.7 أنظمة الهوائيات اللوحية شاملة الاتجاهات

إذاً يمكن الحصول على مخططات أنظمة الهوائيات شاملة الاتجاهات بتغذية لوحات كل قسم أفقي للصفيف بقوة متساوية، مع تركيب اللوحات في مركز جوانب البرج.

غير أن المخطط السمي الناتج (انظر الشكل 28) سيكون له "تموج" اتساعه متناسب مع طول جانب البرج، معبراً عنه بطول الموجة.

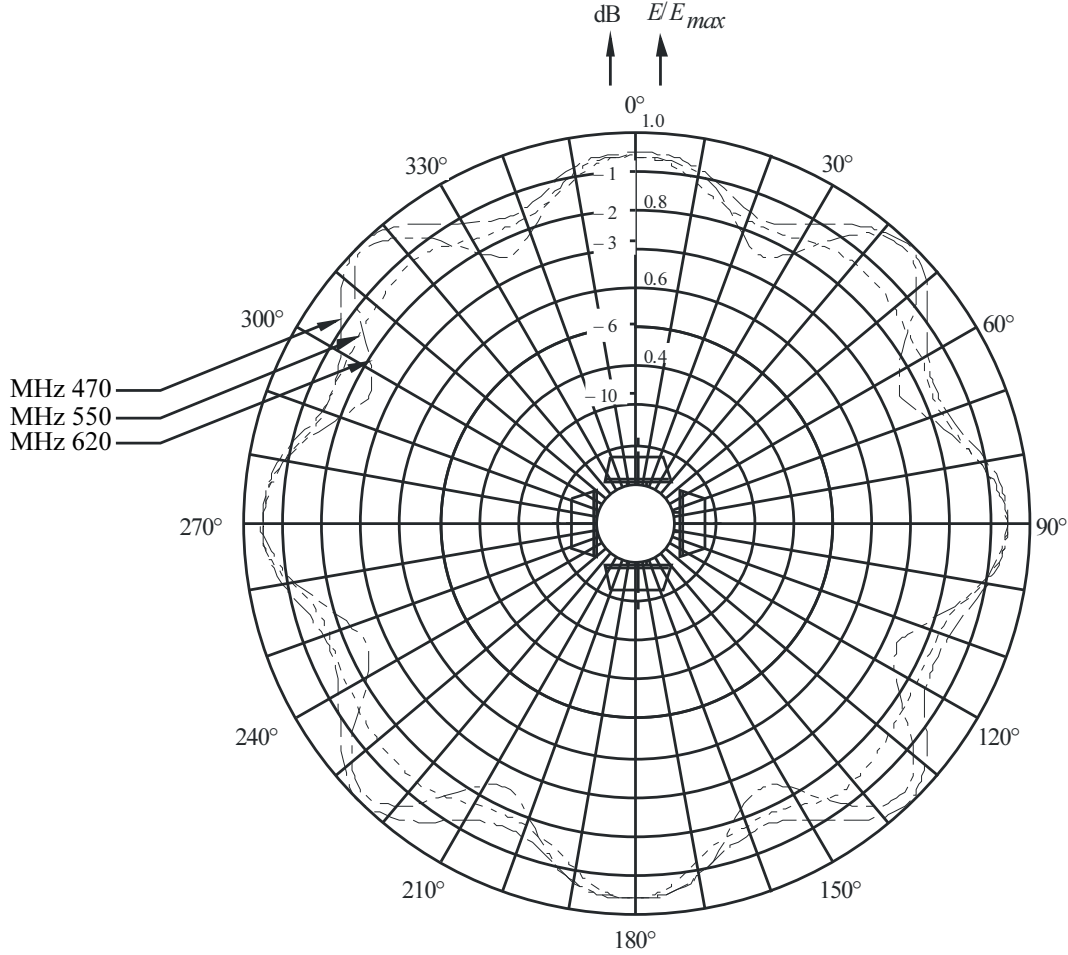
يجب استيفاء شرطين رئيسيين عند تصميم نظام هوائي لوجي بمخطط سمّي شامل الاتجاهات:

- يجب إبقاء عدم انتظام المخطط السمي الناتج عن إشعاع اللوحات الأربع (أو الثلاث حسب القسم الأدنى) داخل حدود معينة (مثلاً  $\pm 1,5$  dB)؛
- يجب تخفيض VSWR إلى أدنى حد عند كل دخل لوحة لأن أي عدم مواءمة عند توصيلات التغذية الفرعية سوف يؤدي إلى قسمة غير متساوية للقدرّة بين مختلف اللوحات والمخطط الناتج لن يبقى دائرياً.

يمكن أن نلاحظ من الشكل 28 أن القيم الدنيا للمخطط تحدث على كل جانب من الاتجاهات القطرية، حيث للإشعاعات من لوحات متجاورة زحزحة طور نسبية عن بعضها وللمتجهة الناتجة اتساع أدنى.

الشكل 28

المخطط السمطي لنظام هوائي UHF عريض النطاق مستقطب أفقياً  
مقيس عند 470 و 550 و 620 MHz



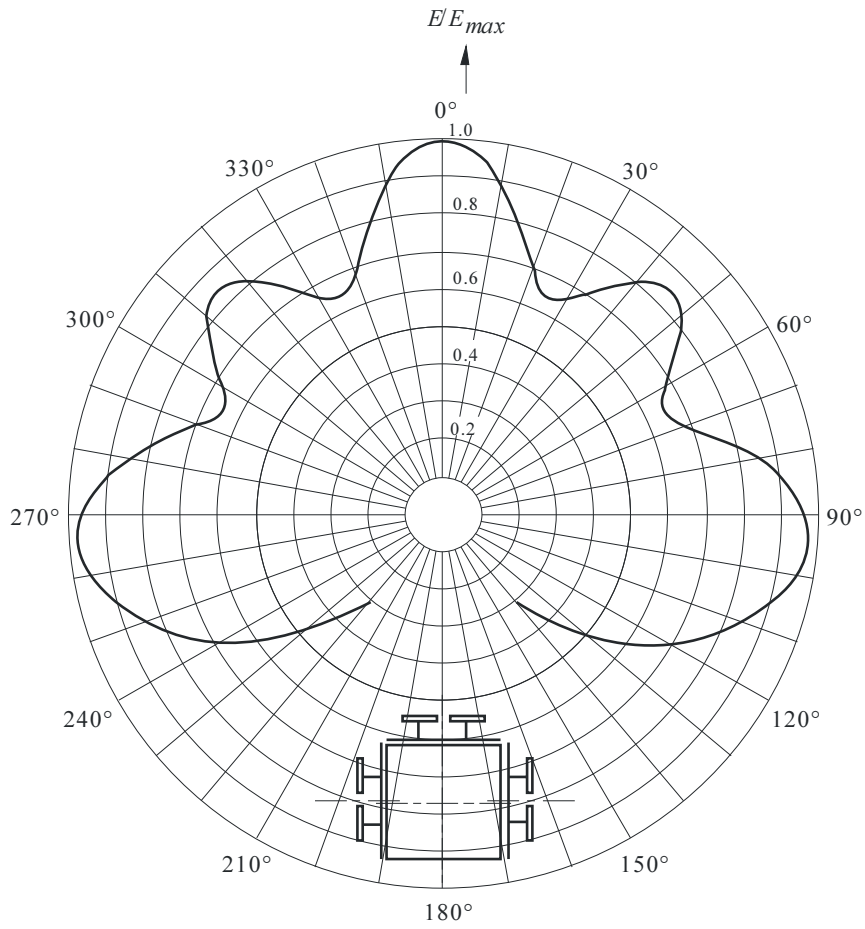
BS.1195-28

### 2.3.3.7 أنظمة الهوائي اللوحي الاتجاهي

يتم الحصول على المخططات السمطية الاتجاهية بتغيير عدد اللوحات على كل جانب من البرج، وكمية القدرة المغذاة لكل لوحة، والتوجيه المتبادل للوحات أو بتركيب لهذه الطرائق. يبين الشكل 29 مخططاً سمطياً اتجاهياً محققاً بنظام هوائي بثلاث لوحات بالموجات VHF.

## الشكل 29

المخطط السمتي الاتجاهي لنظام هوائي بثلاث لوحات  
في النطاق III



## الجزء 2

### من الملحق 1

#### الجوانب العملية للهوائيات VHF و UHF

##### جدول المحتويات

الصفحة

40	..... مدخل	1
40	..... قياس خصائص أنظمة الهوائي	2
40	..... 1.2 اعتبارات تتعلق بموقع القياسات	
40	..... 2.2 المعلومات التي يجب قياسها	
41	..... 3.2 طرائق القياس	
41	..... 1.3.2 طريقة القياس بدلالة التردد (FDM)	
41	..... 2.3.2 طريقة القياس بدلالة الزمن (TDM)	
45	..... 4.2 تجهيز القياس	
45	..... 5.2 إجراءات القياس	
46	..... 6.2 تقديم المعطيات	
47	..... القياسات الميدانية لخصائص أنظمة الهوائي	3
47	..... 1.3 طرائق القياس	
49	..... 1.1.3 طريقة السبر العمودي	
50	..... 2.1.3 الطريقة المحمولة جواً	
52	..... 3.1.3 طريقة الهوائي المرجعي	
53	..... 2.3 تجهيز القياس	
53	..... 1.2.3 تجهيز القياس بالسبر العمودي	
53	..... 2.2.3 تجهيز القياس المحمول جواً	
54	..... 3.2.3 تجهيز قياس الهوائي المرجعي	
55	..... 3.3 إجراء القياس	
55	..... 1.3.3 إجراء القياس بالسبر العمودي	
58	..... 2.3.3 إجراء القياس بالطريقة المحمولة جواً	
61	..... 3.3.3 إجراء قياس الهوائي المرجعي	



## الصفحة

63	..... تقديم المعطيات	4.3	
63	..... الاختلافات التي يجب توقعها عملياً بين أداء الهوائيات VHF و UHF المحسوب والمقيس ميدانياً		4
63	..... العوامل التي تؤثر في الهوائي الفردي وأداء نظام الهوائي الإجمالي	1.4	
63	..... بنية الدعم	1.1.4	
63	..... البنى الهامة بالقرب من برج الهوائي	2.1.4	
64	..... العوامل المناخية	3.1.4	
64	..... مقارنة خصائص الهوائي ومخططات الإشعاع المحسوبة والمقيسة	2.4	

## الجزء 2

### بالملاحق 1

## الجوانب العملية للهوائيات VHF و UHF

### 1 مقدمة

الهدف من هذا الجزء هو وصف الطرائق الحديثة لقياس مخطط إشعاع الهوائيات الفردية وأنظمة الهوائيات. على الخصوص تبدو طريقة المجال الزمني أدق طريقة وأحسنها أداءً.

يصف الجزء 2 كذلك انحرافات مخططات الإشعاع المصادفة في الواقع عن تلك المحسوبة وفقاً للإجراء المبين في الجزء 1. تتم كذلك دراسة الطريقة التي تؤثر بها عدد من العوامل مثل بنية الدعم وقرب أنظمة مشعة أخرى، إلخ، في مخطط الإشعاع الإجمالي.

### 2 قياس خصائص أنظمة الهوائي

هناك حاجة إلى القياسات لتقييم الأداء الفعلي للهوائي الفردي بالمقارنة مع معطيات التصميم قبل التركيب في الموقع. إضافة إلى ذلك فمن المهم تقييم أداء الهوائيات الفردية كذلك عندما تُجمع عند مختلف الاتجاهات السميتية في أنظمة هوائيات أكثر تعقيداً.

#### 1.2 اعتبارات تتعلق بموقع القياسات

- يجب انتقاء موقع القياسات بعناية لأنه سوف يؤثر في دقة وتكرارية القياسات. على الخصوص، يجب استيفاء الشروط التالية:
- انعدام المصادر المسببة للتداخل؛
  - مسافة مناسبة بين الهوائي قيد الاختبار والهوائي المرجعي لاجتناب الاقتران الحثي، ومن ثم تشوهات الطور والاتساع؛
  - ارتفاع مناسب لسارية الهوائي لوضع الهوائيات في مكان صحيح؛
  - يجب أن يكون موقع القياس منبسطاً بما يكفي لمقاربة سطح عاكس أو ماص مثالي؛
  - انفساح كافٍ بالنسبة للحواجز التي تسبب الانعكاسات المتعددة.

#### 2.2 المعلمات التي يجب قياسها

على العموم تكون هذه المعلمات هي:

- مخطط الاتساع،
- مخطط الطور،
- الكسب،
- تكييف المعاوقة.

### 3.2 طرائق القياس

تُستعمل طريقتان أساسيتان لقياس أداء الهوائيات: القياس بدلالة التردد (FDM) والقياس بدلالة الزمن (TDM). تُستعمل طريقة القياس FDM حالياً لأنها لا تتطلب تجهيزات قياس عالية. لكن طريقة القياس TDM المطورة مؤخراً تسمح بأداء أحسن لكنها تتطلب تجهيزات أعلى.

#### 1.3.2 طريقة القياس بدلالة التردد (FDM)

تستعمل هذه الطريقة هوائيات إرسال ذات خصائص معروفة موصولة بمولد RF مناسب. تُستقبل الإشارة المرسلّة بواسطة الهوائي قيد الاختبار الذي يمكن تدويره بمقدار 360° في مستوي السمّ. ويمكن الحصول على مخططات الاتساع والطور (انظر الفقرة 2.6 من الجزء 1) بمقارنة الإشارات المستقبلية عند مختلف اتجاهات السمّ.

تتكون الإشارة المستقبلية بواسطة الهوائي قيد الاختبار من الشعاع المباشر وعدد من الأشعة المنعكسة، وفقاً على خصائص الموقع والتردد وموقع الهوائي المرجعي والفصوص الجانبية لمخطط الإشعاع، إلخ.

يجب أن تُحدد المخططات الحقيقية بأخذ الشعاع المباشر فقط في الحسبان. والواقع أن الأشعة المنعكسة تؤثر في مخطط الإشعاع المقيس الناتج للهوائيات الفردية بحيث أنّها عندما تُستعمل لحساب أنظمة هوائيات أكثر تعقيداً فإنه يجب توقع انحرافات هامة بين المخطط المحسوب والمخطط المقيس لهذه الأنظمة. ويمكن أن تكون هذه الانحرافات هامة خاصة عندما يجب تقييم القيم الدنيا والفصوص الجانبية.

غالباً ما يُقاس الكسب بالطريقة المطلقة بالحرص على مراقبة دقيقة لآثار الأشعة المنعكسة.

#### 2.3.2 طريقة القياس بدلالة الزمن (TDM)

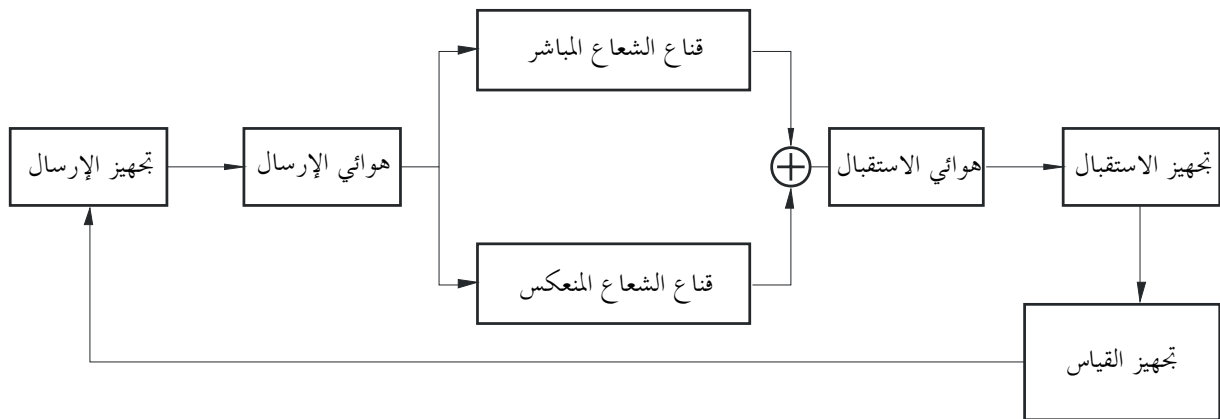
يمكن القيام بقياسات مخططات الاتساع والطور بدقة أكبر عند استعمال طريقة القياس TDM لأن آثار الأشعة المنعكسة يمكن أن تُحذف تماماً تقريباً من إجراء القياس.

يقوم التحسن على استعمال محولة فورييه المباشرة والمعكوسة المصاحبة لعملية التبوب التحليلي.

يبين الشكل 30 نسق النظام الكامل (بما في ذلك تجهيز القياس والهوائي).

الشكل 30

المخطط الإجمالي لطريقة القياس TDM



بما أن نسبة توتر الخرج في المجال الزمني إلى توتر الدخل النبضي هو بطبعه محولة فورييه لدالة نقل النظام، فإن استجابة التردد للنظام (بوجود مسيري انتشار) يمكن أن تُحدد باستعمال محلل للطيف أو أدوات مماثلة.

بحساب محولة فورييه المعكوسة لاستجابة التردد، يمكن الحصول على الاستجابة في المجال الزمني، التي تشتمل على مكونات المسير المباشر والمسير المنعكس. يمكن فصل هذه المساهمات في المجال الزمني نظراً لاختلاف أطوال مسيراتها. يجب استمثال عرض نطاق نبض الدخل وفقاً لنمط الهوائي الفردي قيد الاختبار، مع الاحتفاظ نصب العين بأن النبضات الأقصر تسمح بتمييز أدق.

تحسن عملية التبويب التحليلي التمييز بحذف الاستجابات الطفيلية في المجال الزمني. ويمكن تطبيقها على مختلف المكونات في المجال الزمني للحصول على استجابة التردد لمكونة المسير المباشر أو المنعكس.

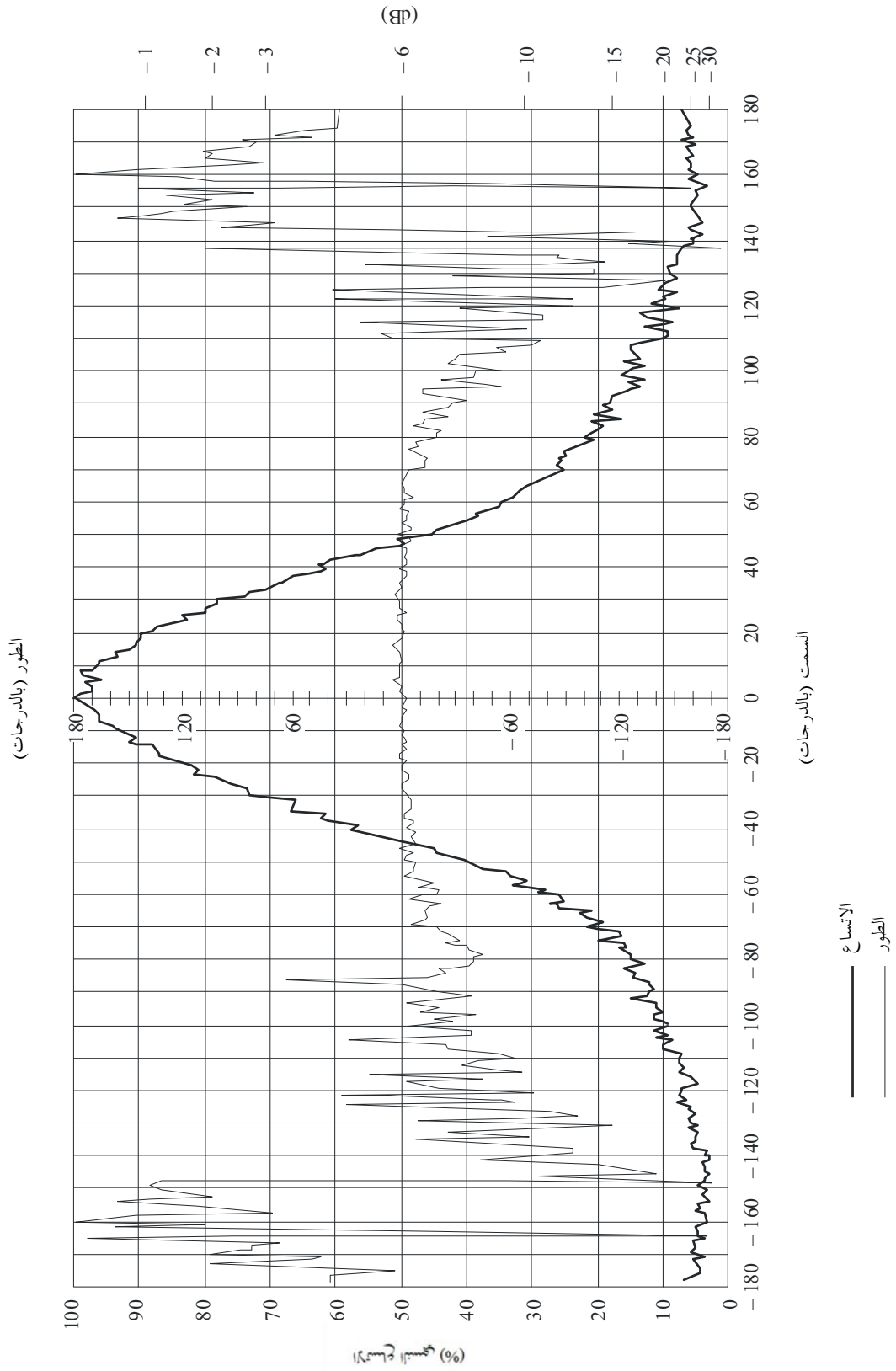
بما أن خاصية القناة خطية، فإن استجابات التردد لمكونتي المسير تختلف فقط بعامل توهين في حالة استجابة الاتساع وبزحزحة طور خطي في حالة استجابة الطور.

غير أن الانعكاسات الناتجة عن عدم الموازنة بين المرسل وهوائيه وكذلك بين المستقبل وهوائيه يجب أن يُحتفظ بها عند مستويات مقبولة باستعمال كبلات وموصلات عالية النوعية. يجب اجتناب المفصل الدوار.

يبين الشكلان 31 و32 أمثلة عن مخططات الاتساع والطور عند استعمال أو عدم استعمال طريقة المجال الزمني.

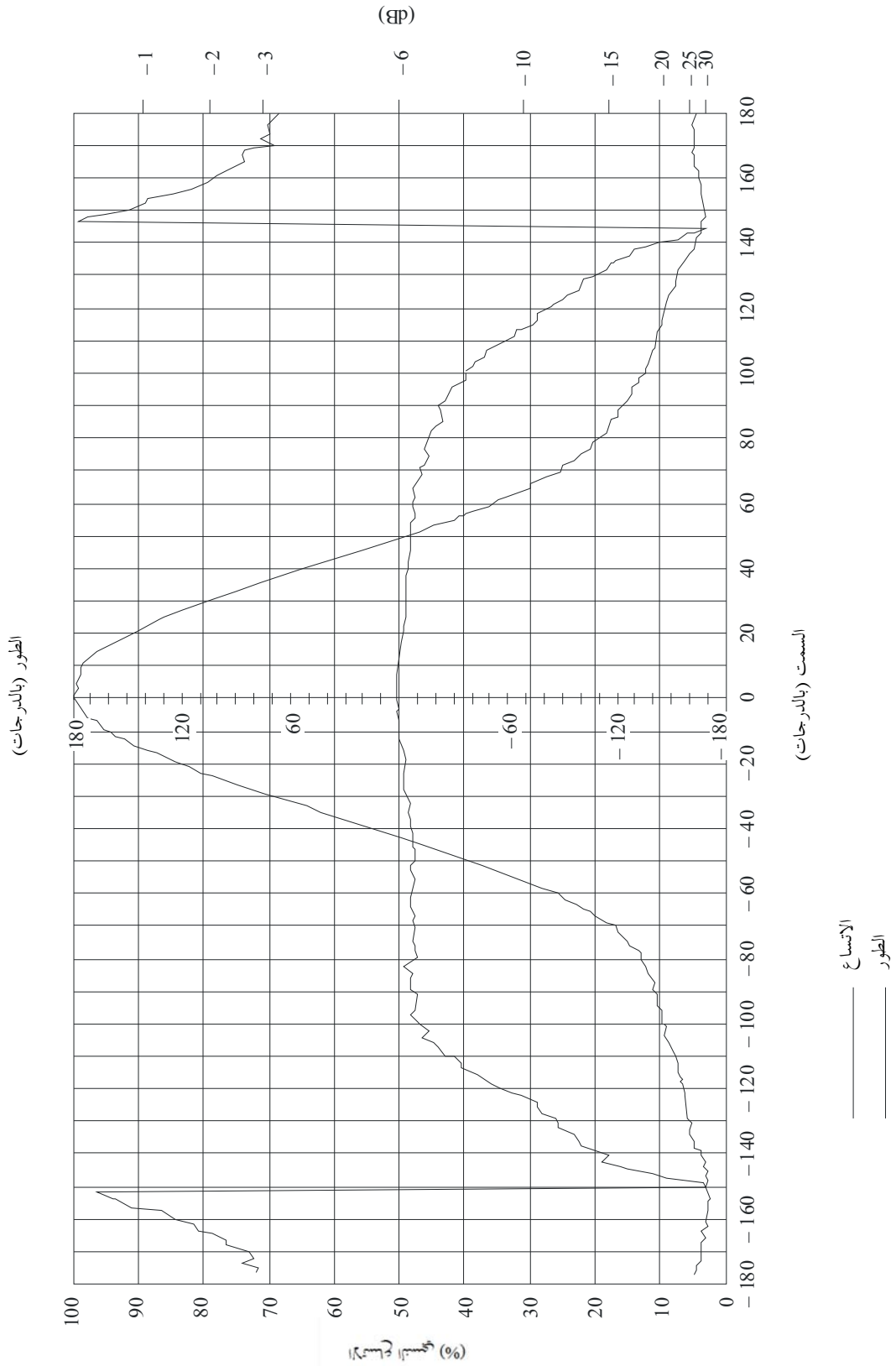
## الشكل 31

مخططات الاتساع والطور عند عدم استعمال قياس المجال الزمني



الشكل 32

مخطط الاتساع والطور عند استعمال قياس المجال الزمني



## 4.2 تجهيز القياس

يتكون نظام القياس من مولد ترددات راديوية ذي قدرة كبيرة يزود مستوى كافٍ لإعطاء نسبة إشارة/ضوضاء مناسبة، ومقياس لشدة المجال ومقياس فولت متجهي لتحديد مركز التردد. ويوصى باستعمال أدوات قياس حاسوبية أكثر تطوراً مثل محلل للطيف أو محلل للشبكة.

## 5.2 إجراءات القياس

- يمكن أن تختلف معايير القياس وفقاً للمعلومات التي يجب قياسها والأجهزة المتوفرة. في كثير من الحالات، يجب تلبية الشروط التالية:
- يجب تخفيض الاقتران الحثي بين الهوائيات إلى أدنى حد، أي أن المسافة  $R$  بين الهوائيات يجب أن تكون أكبر من  $10\lambda$ . فذلك يضمن نسبة لاتساع المجال البعيد لا يقل عن 36 dB؛
- يجب كذلك تخفيض تشوه الطور في مستوي موجة الورد إلى أدنى حد لتحقيق تمييز أدنى جيد. لذلك يجب ألا يكون تشوه الطور أكبر من  $\pi/8$  أو  $(R > 2D^2/\lambda)$ ؛
- يجب أن تسمح فتحة حزمة هوائي الإرسال بتغيرات اتساع جبهة الموجة المرسله في اتجاه الهوائي قيد الاختبار التي لا تزيد عن 0,25 dB؛
- يجب اختيار ارتفاع الهوائي لتُخفض إلى أدنى حد مساحة التقاطع بين أرض موقع القياس والفص الرئيسي لهوائي الإرسال. بذلك يمكن تخفيض اتساع الأشعة المنعكسة. من الموصى به اختيار ارتفاع للهوائي يضع الصفر الأول للمخطط العمودي لهوائي الإرسال في اتجاه قاعدة البرج.

لقياس تكييف المعاوقة، يجب اختيار موقع الهوائي بكثير من العناية، وذلك لاجتناب الاقترانات الحثية والانعكاسات من الحواجز. على العموم، يجب أن يكون الفص الرئيسي للهوائي مسدداً نحو الأعلى بحيث يمكن قياس القدرة المنعكسة الفعلية والقدرة المرسله بسهولة أكبر.

في الطريقة FDM، تُستعمل إشارة اختبار حبيبية بتردد يقع داخل نطاق تردد تشغيل الهوائي. عندئذ يتم إجراء سلسلة من قياسات الإشارة عند هوائي الاستقبال عند مختلف الترددات في قطاع زاوي محدد مسبقاً. بعد ذلك يتم تقييس الاتساعات المقيسة بالنسبة للقيمة القصوى للحصول على قيم التوهين النسبية المعبر عنها بالوحدة dB. سوف يُعرب عن قيم الطور المقيسة كاختلافات للطور بالنسبة للزاوية المرجعية. في الطريقة TDM، تُستعمل إشارة اختبار نبضية ذات مدة مناسبة. يمكن الحصول على مخطط الإشعاع باستعمال القيم المحصل عليها من الاستجابة الترددية للإشارة النبضية "المعاد تشكيلها" على مدى القطاع الزاوي.

يتم تحديد مخططي الاتساع والطور لاستعمالهما في حسابات مخطط الإشعاع بالطريقة المعتادة.

يتم قياس كسب الهوائي باستعمال جهازين متشاهمين كهوائي للإرسال والاستقبال. يوضع هذان الجهازان عند نفس الارتفاع ويوجهان لنقل القدرة القصوى. في هذه الظروف، عندما نطبق طريقة السير العمودي بالأسلوب FDM، يتعين وضع الهوائي عند ارتفاع مشترك مناسب لكل تردد اختبار، وذلك للتمكن من تحديد الشعاع المباشر بسهولة.

في الطريقة TDM، يكون الهوائيان كذلك موجهين لنقل القدرة القصوى. بما أنه من الممكن حذف الشعاع المنعكس، ليس هناك فائدة من تغيير موقع الهوائي، كما هو الحال في الطريقة FDM. لتحديد تكييف المعاوقة، تُقاس نسبة القدرة المرسله إلى القدرة المنعكسة بواسطة مقرن اتجاهي.

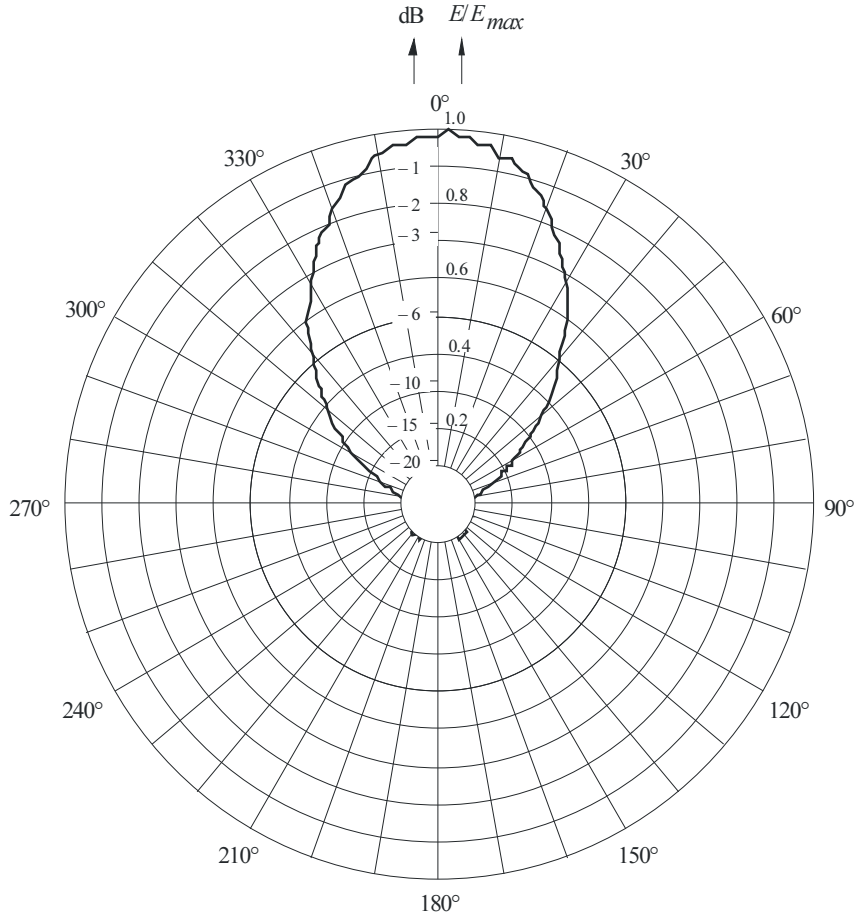
تسمح أنظمة القياس المتطورة المتيسرة حالياً بنقل المستوي المرجعي عند دخل الهوائي، مع اجتناب الأخطاء الناتجة عن جهاز القياس. تعطي الطريقة TDM إمكانية تحديد أي عدم موافقة يوجد في جهاز القياس.

## 6.2 تقديم المعطيات

يؤخذ المستوي الذي يتضمن عناصر الهوائي كالمستوي المرجعي لتقديم مخطط الهوائي. يجب تمثيل مخطط الاتساع في المستوي المرجعي وفي المستوي المتعاقد المقابل على شكل إحداثيات ديكرتية وإحداثيات قطبية. ويجب تمثيل مخطط الطور على شكل الإحداثيات الديكرتية فقط. يجب تقديم معطيات تكبير الكسب والمعاقفة على شكل ديكرتي. يعطي الشكلان 33 و38 بعض الأمثلة عن مخططات الاتساع والطور الناتجة في المستويين، في الشكلين القطبي والديكرتي. لرسم هذا الشكل، استعمل سلم خطي وتم التعبير عن القيم بالنسبة المئوية والوحدة dB.

### الشكل 33

مخطط الاتساع (الإحداثيات القطبية) لهوائي لوجي بثنائيات أقطاب ثمانية  
مقيس في المستوي E





### 3 القياسات الميدانية لخصائص أنظمة الهوائي

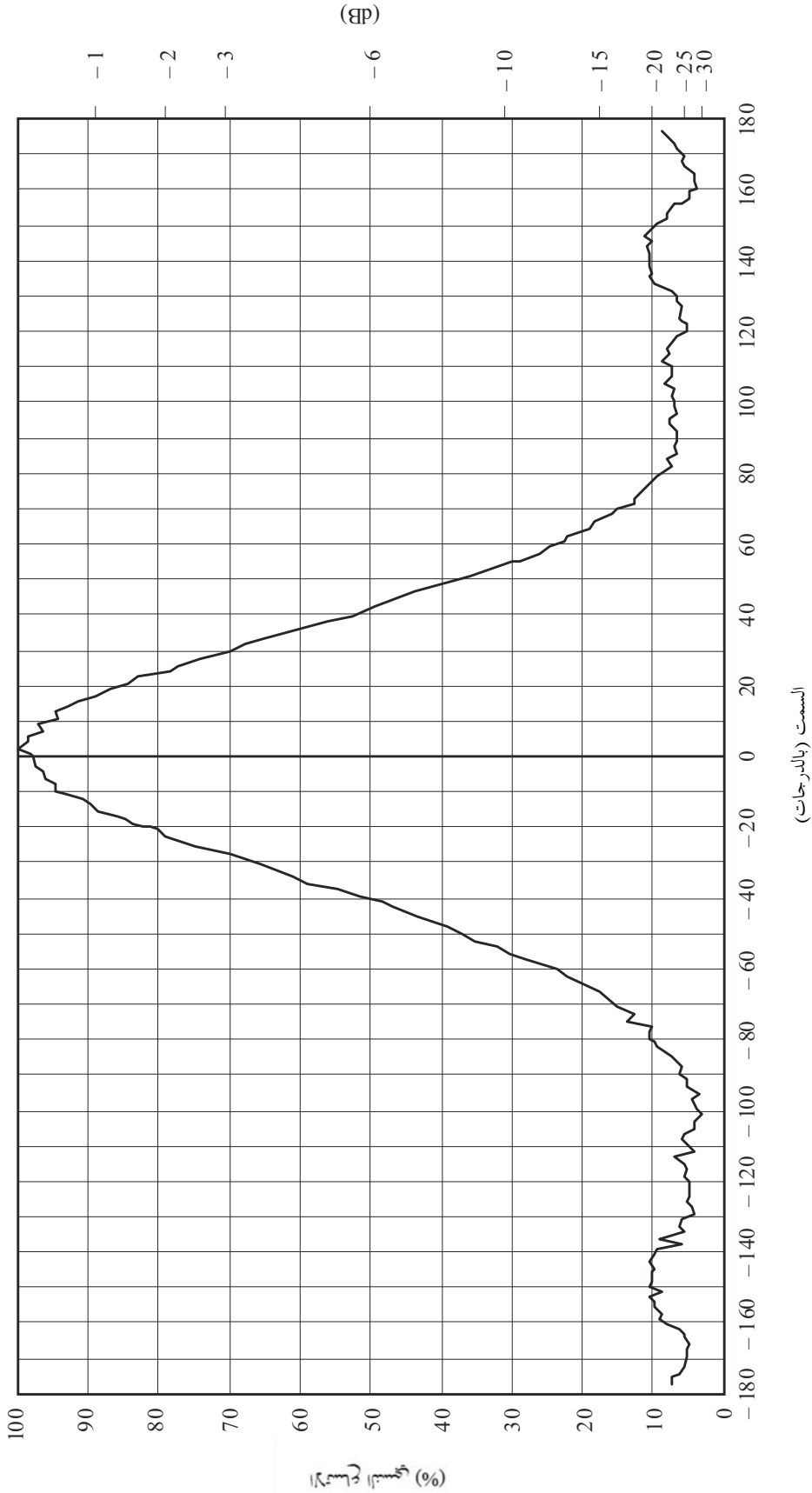
بما أن فعالية النظام الراديوي تتوقف أساساً على هوائيه، فإن مخططات الإشعاع والكسب يجب أن تُحدد بدقة كافية. عندما يتأثر مخطط إشعاع نظام هوائي معقد بواسطة عدد من العوامل الخارجة عن التحكم في بيئة تشغيل النظام، فإن الطريقة الوحيدة لتحديد المخطط هي القيام بقياسات ميدانية.

#### 1.3 طرائق القياس

ترد فيما يلي ثلاث طرائق رئيسية لقياس خصائص الهوائيات. مبدئياً، يمكن استعمال أي من هذه الطرائق، لكن الاختيار الفعلي يتوقف على اقتصاد النظام ومستوى تعقيده والتجهيزات المطلوبة ومدة القياسات. على سبيل المثال، تكون الطريقة المحمولة جواً أعلى من أي طريقة أخرى لكن يمكن القيام بالقياسات في وقت قصير على عدة أنظمة هوائيات على نفس البرج أو متجاورة. على عكس ذلك فإن طرائق الأرض الأكثر اقتصاداً تتطلب على العموم مزيداً من الوقت لتوفير نفس النتائج وفي بعض الأحيان، نظراً للقيود البيئية، لا يمكن القيام بقياسات موثوقة.

الشكل 34

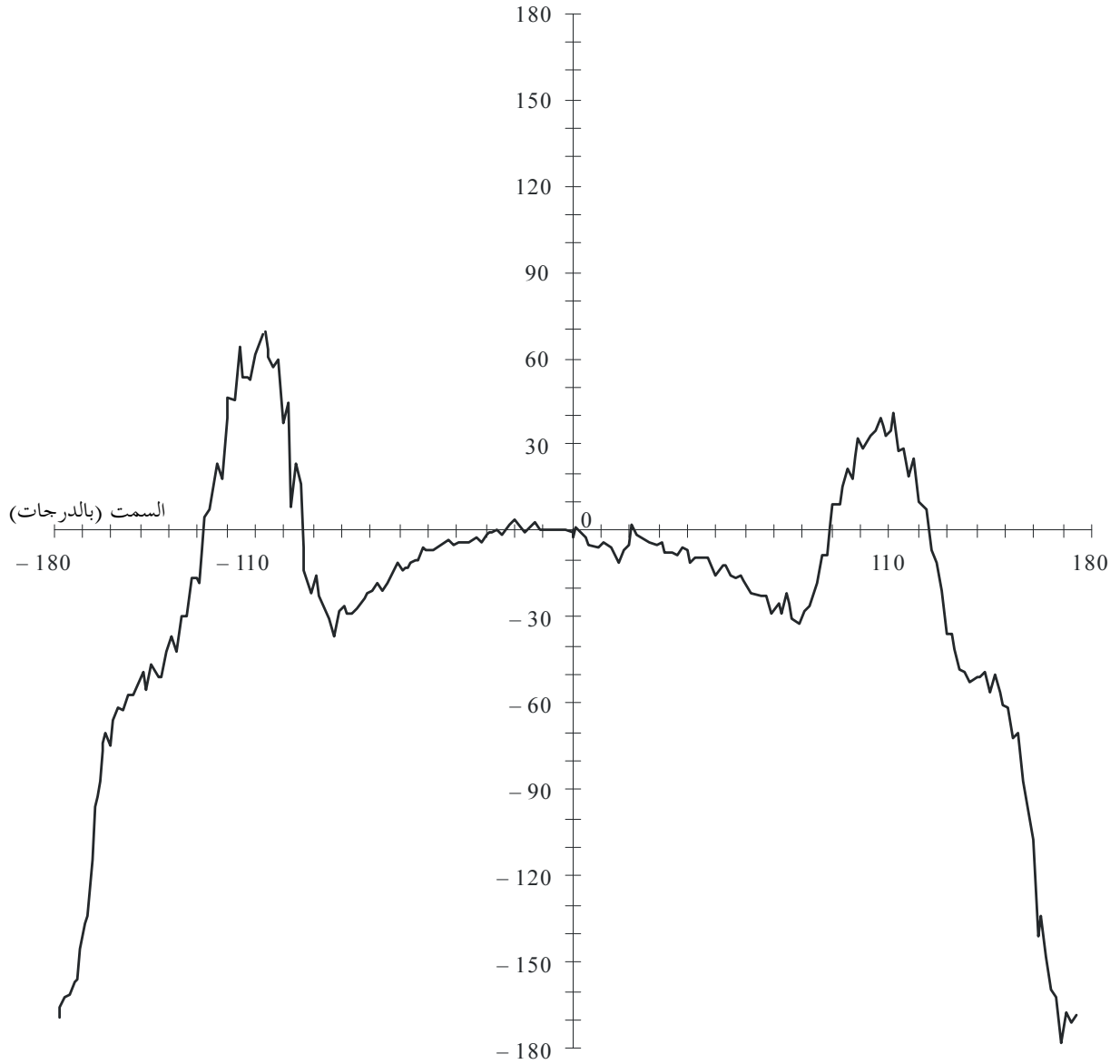
مخطط الاتساع (الإحداثيات الديكارتية) هوائي لوجي بثنائيات أقطاب ثمانية مقيس في المستوى E



BS.1195-34

## الشكل 35

مخطط الطور (الإحداثيات القطبية) لهوائي لوجي بثنائيات أقطاب ثمانية  
مقيس في المستوي E



الطور (بالدرجات)

BS.1195-35

## 1.1.3 طريقة السبر العمودي

تتطلب هذه الطريقة شاحنة خاصة مجهزة بهوائي على سارية يمكن رفعها أفقياً بالنسبة لنقطة القياس لتقييم تغيرات المجال الكهرومغناطيسية بدلالة الارتفاع فوق مستوى الأرض.

سوف يوفر القياس مخطط تداخل ناتج عن تركيب الأشعة المباشرة والمنعكسة. عندما يكون هناك شعاع منعكس واحد فقط، يُمثل هذا المخطط بدالة جيبيّة تقابل قيمتها القصوى الأولى الارتفاع  $(h = \lambda d / 4H)$ ، حيث:

$\lambda$ : طول الموجة

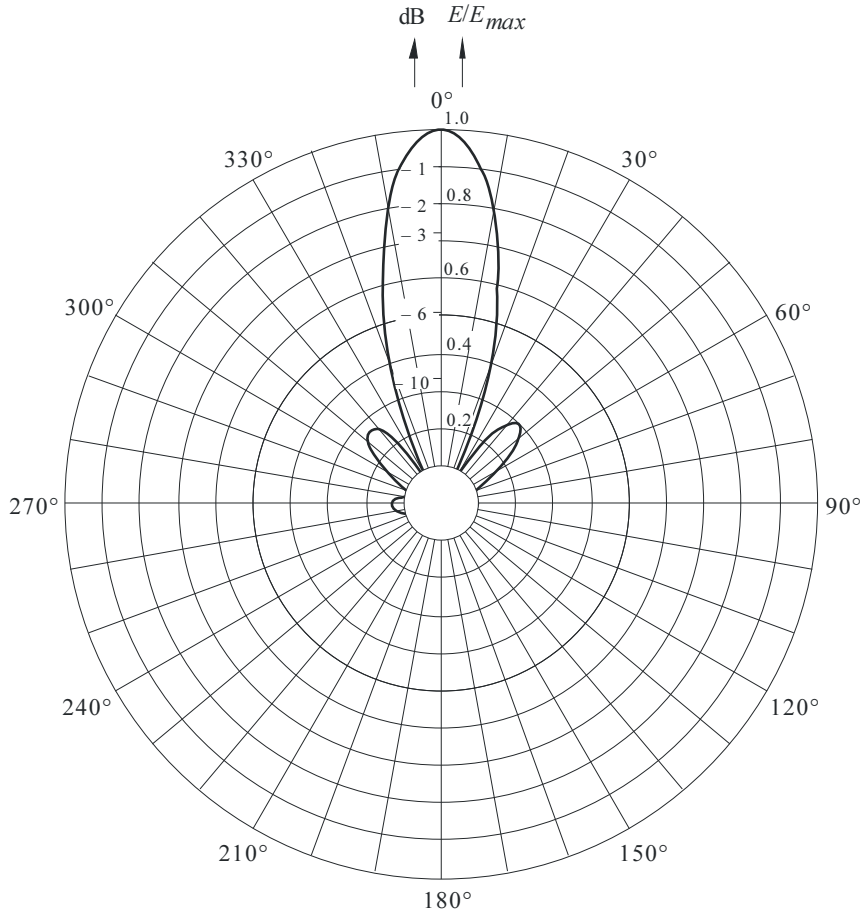
$d$ : المسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال

$H$ : الارتفاع النسبي لهوائي الإرسال بالنسبة لنقطة القياس.

في هذه الظروف يمكن بسهولة تحديد المجال الكهرمغناطيسي في ظروف الانتشار في الفضاء الحر ويمكن عندئذ مقارنة قيمته بالقيمة النظرية المقابلة (محسوبة وفقاً للتوصية ITU-R P.525) لتقييم الأداء الإجمالي للهوائي. على العموم، يجب استبعاد نقاط القياس التي تعطي مخطط تداخل ذا تغيرات كبيرة بالنسبة للدالة النظرية. لكن إذا تعذر العثور على نقاط قياس مناسبة نظراً للقيود البيئية، يجب التفكير في مناهج بديلة.

الشكل 36

مخطط الاتساع (الإحداثيات القطبية) لهوائي لوجي بثنائيات أقطاب ثمانية مقيس في المستوي H



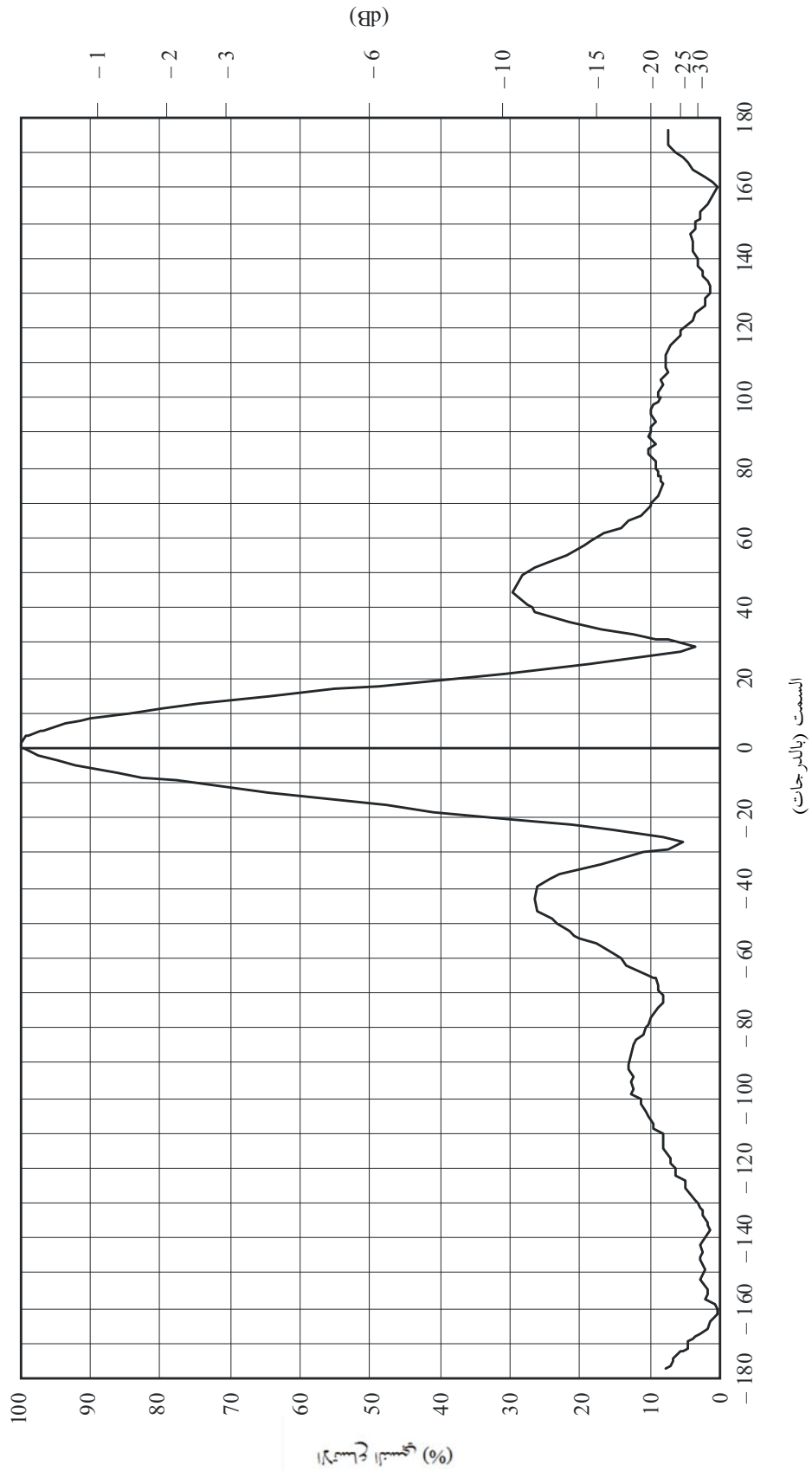
BS.1195-36

2.1.3 الطريقة المحملة جواً

تقوم هذه الطريقة على تجهيز قياس محمول جواً. ويُعتبر أنها تعطي أدق النتائج وأوثقها عندما يتعلق الأمر بقياس الكسب وكذلك مخططات الإشعاع الأفقي والعمودي للهوائي. في هذه الحالة، يُركب مستقبل القياس على طائرة مروحية (نمط الطائرة المفضلة لهذه القياسات)، بينما يُشغل الهوائي قيد الاختبار بأسلوب الإرسال. في بعض الحالات، خاصة لقياس أصفار مخطط ما، قد يكون من الضروري استعمال قدرة إرسال عالية نسبياً للحصول على نسبة إشارة إلى تداخل مرتفعة بما يكفي في المستقبل.

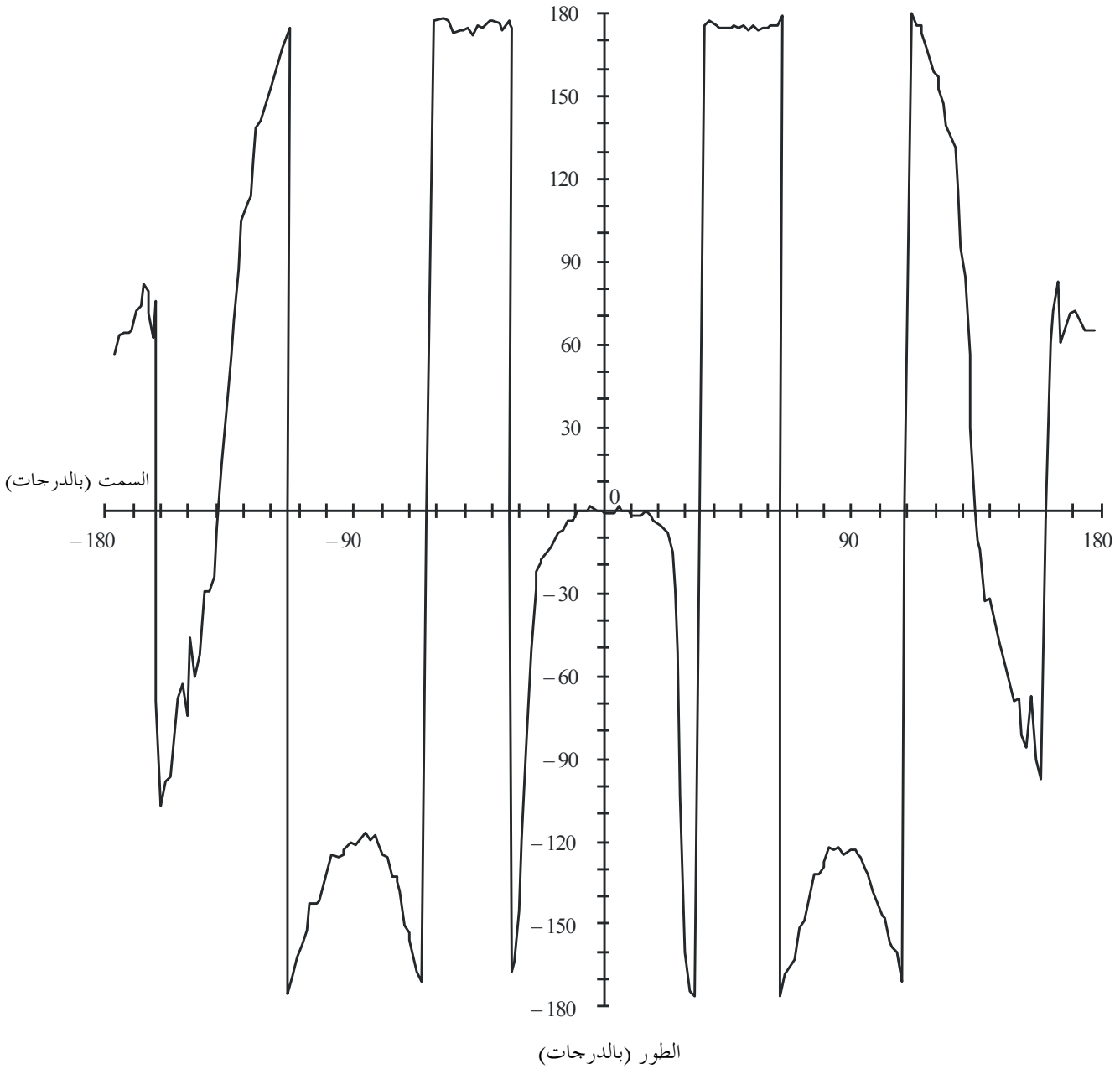
## الشكل 37

مخطط اتساع (الإحداثيات الديكارتية) لهوائي لوحى بثنائيات أقطاب ثمانية مقيس في المستوى H



الشكل 38

مخطط الطور (الإحداثيات القطبية) لهوائي لوجي بثنائيات أقطاب ثمانية  
مقيس في المستوي H



BS.1195-38

### 3.1.3 طريقة الهوائي المرجعي

تقوم هذه الطريقة على استعمال هوائي مرجعي بخصائص معروفة. يُركب الهوائي المرجعي أقرب ما يمكن من الهوائي الذي يجب قياسه وتغذيته بإشارة قد يكون لها نفس تردد التشغيل. بمقارنة المجالات (المقيسة) المولدة من طرف الهوائيين في نفس النقطة، يمكن تحديد مخطط إشعاع الهوائي الذي يجب دراسته. وبالتالي يحذف هذا الإجراء آثار الأرض على المجال المستقبل.

## 2.3 تجهيز القياس

## 1.2.3 تجهيز القياس بالسبر العمودي

- تُركب التجهيزات التالية على شاحنة مجهزة خصيصاً، بمولد مستقل لتوريد القدرة الكهربائية:
- سارية قابلة للانكماش يمكن رفعها لالتقاط أول قيمة قصوى لشدة المجال (انظر كذلك الفقرة 1.3.3)، موصولة عبر سطح بيبي مناسب بالحاسوب الذي سيسجل زاويتي الارتفاع والسمت لهوائي الاستقبال الموضوع على السارية؛
  - مستقبل اختبار مناسب مع:
    - مدى دينامي مرتفع،
    - ملاءمة كهرمغناطيسية جيدة،
    - المتانة والاستقرار عند وجود تذبذبات وتغيرات في درجة الحرارة،
  - هوائي استقبال يجب تركيبه على السارية،
  - نظام لتحديد الموقع مثل النظام العالمي لتحديد الموقع (GPS)،
  - حاسوب مراقبة موصول بنظام تحديد الموقع والسطح البيبي للسارية، لمعالجة المعطيات المقيسة.

## 2.2.3 تجهيز القياس المحمول جواً

- يمكن أن يتضمن نظام قياس مخططات الإشعاع المكونات التالية:
- مستقبل اختبار (يمكن مراقبته بأسلوب المسح) مع:
    - مدى دينامي مرتفع،
    - ملاءمة كهرمغناطيسية جيدة (EMC)،
    - متانة واستقرار كبيران (عند وجود تذبذبات وتغيرات في درجة الحرارة في الطائرة المروحية)،
  - هوائي استقبال (مسبار اختبار) مركب بحيث أن تأثير الطائرة المروحية على مخطط إشعاع هوائي الاستقبال يُخفف إلى أدنى حد. ويمكن تحقيق ذلك بسارية يمكن تخفيضها على الأقل 3 أمتار تحت الطائرة المروحية؛
  - نظام لتحديد الموقع مثل النظام العالمي لتحديد الموقع يستعمل مستقبلاً محمولاً جواً ومستقبلاً على الأرض إضافة إلى مقياس ارتفاع دقيق؛
  - حاسوب مراقبة محمول جواً مع أجهزة محيطية لمعالجة المعطيات.
- يبين الشكل 41 مخططاً إجمالياً مبسطاً للتجهيزات.

تُستعمل المستقبلات المرجعية على الأرض (GPS) للسماح بتحقيق نظام GPS تفاضلي كثير الدقة. لكن، على الرغم من أن النظام GPS هو أكثر الأنظمة تطوراً لتحديد الموقع خلال الطيران، فإنه يمكن استعمال أنظمة أخرى تؤمن دقة مناسبة. تشمل تجهيزات معالجة المعطيات حاسوباً وتجهيزاً محيطياً لرسم المخطط. في جانب الإرسال هناك حاجة إلى مصدر إشارة ذي سوية قدرة خرج مستقرة ومعايرة. ويمكن أن يكون هذا المصدر هو المرسل العادي.

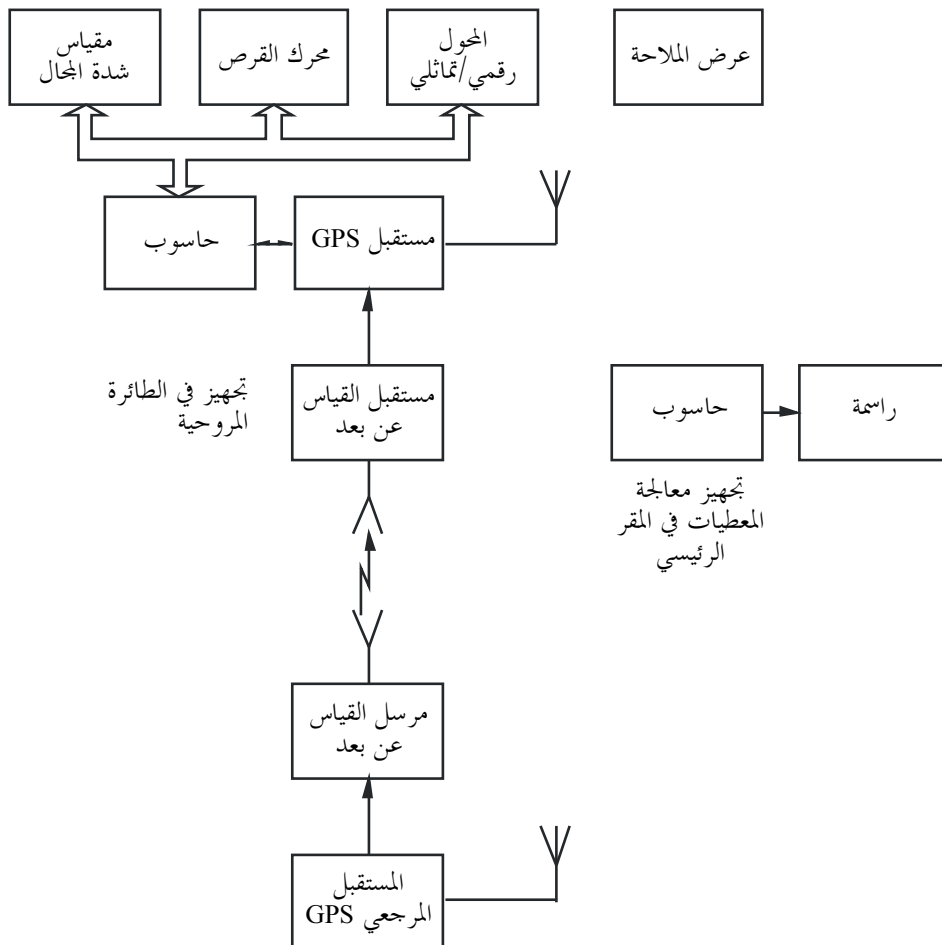
## 3.2.3 تجهيز قياس الهوائي المرجعي

يمكن لهذا التجهيز أن يشمل المكونات التالية:

- مستقبل اختبار واحد أو أكثر، حسب إجراء القياس المطلوب، مع:
  - مدى دينامي مرتفع،
  - ملائمة كهرمغناطيسية جيدة (EMC)،
  - متانة واستقرار كبيران (عند وجود تذبذبات وتغيرات في درجة الحرارة في الشاحنة)،
- هوائي استقبال مركب على سطح الشاحنة (هوائي لوغاريتم دوري أو هوائي دوار، حسب الإجراء المختار)،
- حاسوب مراقبة مع تجهيزات محيطية لمعالجة المعطيات مركبة في الشاحنة،
- نظام لتحديد الموقع،
- هوائي مرجعي مع مخطط إشعاع معاير،
- مقياس لشدة المجال يُحمل ويُشغل بالبطاريات.

## الشكل 39

## مخطط إجمالي لتجهيز القياس





## 3.3 إجراء القياس

## 1.3.3 إجراء القياس بالسبر العمودي

هناك حاجة إلى إجراء مدخل معطيات هوائي أولي للإرسال والاستقبال قبل القيام بالقياسات الفعلية.

يجب إدخال المعطيات التالية لهوائي الإرسال:

- اسم وموقع محطة الإرسال،
- الإحداثيات الجغرافية،
- تردد واستقطاب البث،
- القدرة e.r.p. القصوى (dBK)،
- ارتفاع الهوائي فوق مستوى البحر،
- المخطط العمودي النظري (الذي قد يتم تصحيحه بالمقارنة مع المخطط العمودي المقيس).

يجب إدخال المعطيات التالية لهوائي الاستقبال:

- الكسب،
- توهين الكبل.

بعد اختيار نقطة قياس مناسبة، يتم إدخال المعطيات الجغرافية ذات الصلة مثل اسم الموقع والارتفاع فوق مستوى البحر والإحداثيات المصاحبة (التي يُحتمل أن يكون النظام GPS قد اكتسبها).

تُعالج المعطيات السابقة بطريقة مناسبة للحصول على المسافة والسمت والزوايا السمتية لنقطة القياس المنتقاة بالنسبة للمرسل، والقيمة المقابلة لمخطط الإشعاع العمودي النظري للاتساعات النسبية.

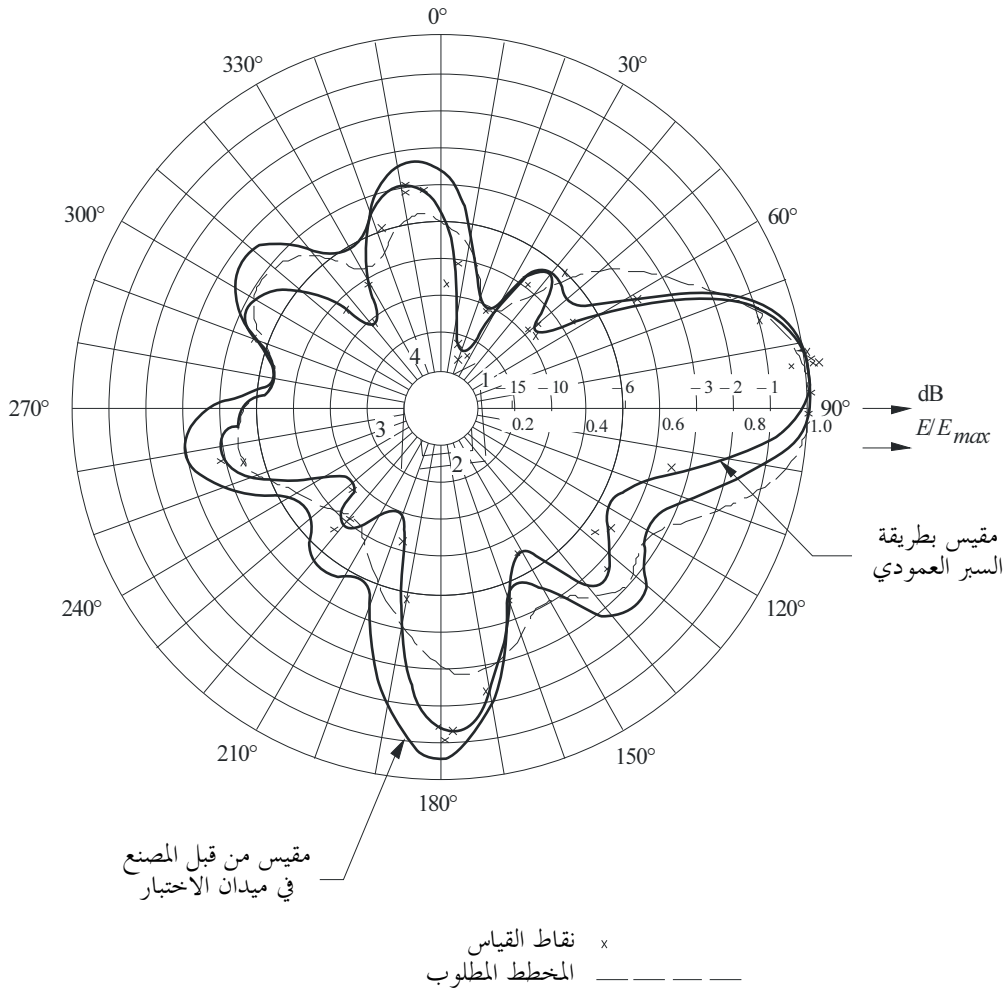
بعد توجيه هوائي الاستقبال بطريقة صحيحة في اتجاه المرسل، تُرفع السارية وتُقاس عينات توتر مستقبلية على مراحل ارتفاع منتظمة (نمطياً 20 cm). بعدئذ يتم تخزين كل قيم معطيات التوتر كما يجب ومعالجتها للحصول على مخطط التداخل النمطي. وفي وقت لاحق يتم تحليل هذا المخطط لحساب المجال المباشر.

## 1.1.3.3 معالجة المعطيات

بعد القيام بإجراء مناسب لإقرار صلاحية معطيات الدخل، تُجرى معالجة إضافية للقيم المقبولة للحصول على سلسلة من القيم النسبية  $E/E_{max}$ ، حيث  $E_{max}$  هي القيمة القصوى المقيسة في مقابل الفص الرئيسي. بعد ذلك تُرسم هذه المعطيات على مخطط قطبي وتُقارن مع المخطط العمودي النظري (انظر الشكل 40).

## الشكل 40

## المخططات الأفقية المحسوبة والمقيسة



BS.1195-40

## 2.1.3.3 اعتبارات بشأن التنفيذ العملي لطريقة السبر العمودي

قبل إمكانية إجراء القياسات الفعلية، يجب القيام بتحليل مناسب للمحيط المجاور للهوائي قيد الاختبار، مع الاحتفاظ في الذهن بأن كل نقاط القياس يجب أن تُنتقى على طول الطرق التي يمكن أن تنفذ إليها شاحنة الاختبار.

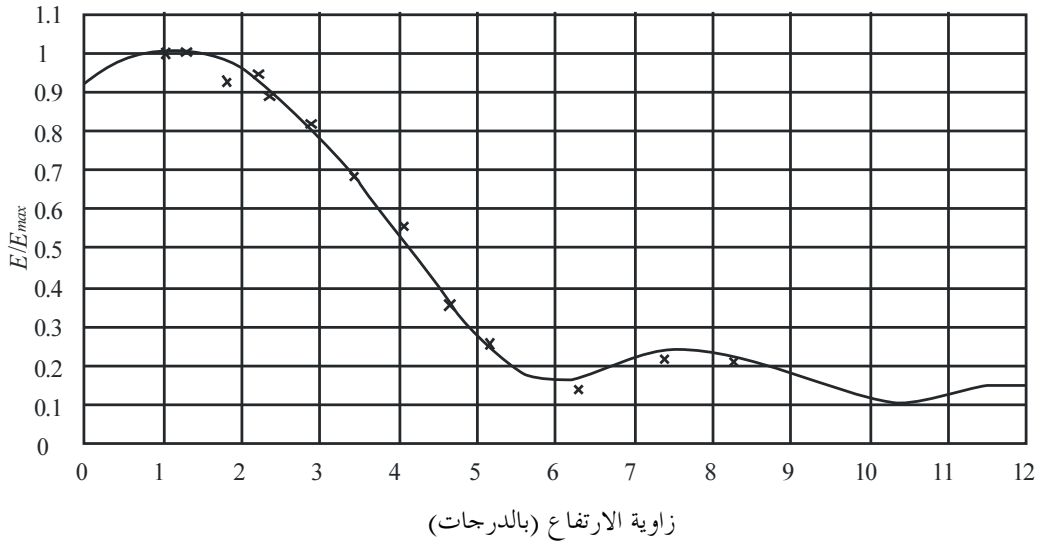
يوصى بوضع خريطة رقمية للأرض (DTM) على أساس إجراء حاسوبي مناسب، لتحديد المظهر الجانبي للأرض بين موقع الهوائي ونقطة القياس. يسمح هذا المظهر الجانبي بتقييم أفضل لظروف الانتشار في خط البصر عند نقطة القياس المختارة انطلاقاً من هوائي الإرسال.

بما أن قيم المخطط الأفقي المقيس يجب أن تُحال إلى القيمة القصوى المقيسة للمخطط العمودي، فإن هذا المخطط الأخير يجب أن يُحدد أولاً.

تُمثل حالة نمطية بنظام هوائي على بنية دعم ذات قسم مربع لها هوائيات فردية مختلفة مركبة على كل جانب. يتطلب هذا الترتيب القيام بسلسلة من القياسات المختلفة في نقاط منتقاة في كل قطاع زاوي مغطى من طرف الهوائي الفردي. في هذه الحالة يتم انتقاء نقطة مناسبة أولى في القطاع ذي الصلة. يتم تدميث قياس المخطط العمودي من هذه النقطة للحصول على مخطط يظهر التغير النسبي للمجال الكهرمغناطيسي بالنسبة لقيمته القصوى. يتعلق مخطط الشكل 41 بحالة نمطية حيث يكون هوائي الإرسال مركباً على قمة هضبة فوق منطقة الخدمة.

## الشكل 41

## المخططات العمودية المحسوبة والمقاسة



————— مخطط محسوب  
x مخطط مقيس

BS.1195-41

يُجرى قياس مخطط الإشعاع الأفقي بعد المخطط العمودي. وبما أن ارتفاع القيمة القصوى الأولى للمجال المستقبل يُعطى في مخطط التداخل بواسطة  $(h = \lambda d / 4H)$  (انظر الفقرة 1.1.3)، فإن الارتفاع القابل للانكماش  $h$  للسارية يجب أن يُنتقى بعناية. ويجب أن تنتج القيمة الحقيقية عن حل وسط مناسب بين بعدين: القيمة القصوى محددة على أساس اعتبارات ميكانيكية والقيمة الدنيا محددة بدلالة زاوية الميل التي يمكن أن تؤثر في القيمة القصوى التي تُحال إليها القيم النسبية للمخطط العمودي.

قد يكون من الصعب الحصول على قيمة وسط جيدة في الموجات VHF لأن تغيرات المخطط العمودي يمكن أن تؤثر كثيراً في قياسات المخطط الأفقي.

إضافة إلى ذلك فإنه، في الاتجاهات التي تنتج فيها القيمة المقاسة عن إشعاع هوائين فردين بمخططين عموديين مختلفين، كما هو الحال في الاتجاهات القطرية، لا يمكن تعرف هوية المساهمة المهيمنة بسهولة. في هذه الحالات قد تتمثل إحدى الحلول الممكنة في انتقاء نقطة قياس عند مسافة  $d$  حيث تعطي الزاوية السالبة تقريباً نفس القيمة لكلا مخططي الإشعاع العموديين. على أي حال، يعود تقييم المجال الكهرمغناطيسي المباشر في نهاية الأمر إلى المشغل: بتفحص شكل مخطط التداخل، يجب عليه أن يحدد قيم القياس التي تشتمل على فوارق هامة بالنسبة للدالة النظرية.

### 2.3.3 إجراء القياس بالطريقة المحملة جواً

على العموم، تتكون مجموعة من مخططات الإشعاع المقاسة من مخطط إشعاع أفقي (HRP) مقيس عند زاوية ارتفاع الإشعاع الأقصى وخمس مخططات إشعاع عمودية (VRP) مقاسة عند كل تردد في اتجاهات محددة عند زاوية ارتفاع تتراوح بين  $-15^\circ$  و  $+3^\circ$ .

هناك حاجة إلى إعداد دقيق قبل القيام بالقياسات الفعلية. يجب مراقبة كل من التجهيزات المحملة جواً وعلى الأرض للتحقق من تشغيلها السليم. ويجب ضبط مولد إشارة الاختبار (أو المرسل العادي) الذي يغذي الهوائي قيد الاختبار على قيمة قدرته المعيارية.

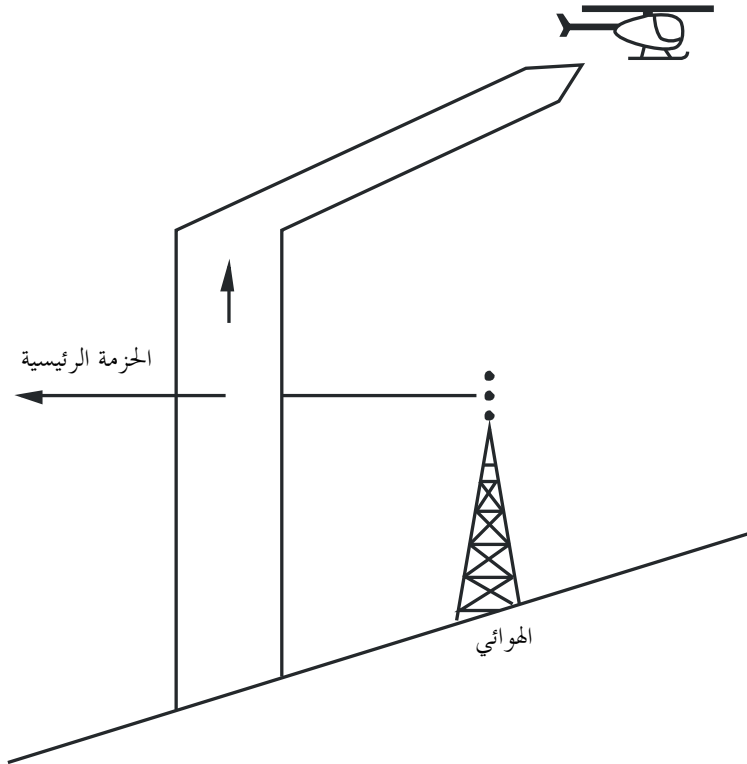
بعد إقلاع الطائرة، تتم مراقبة تشغيل تجهيز تحديد الموقع (GPS)، وعند الحاجة يتم تحديد إحداثيات الهوائي قيد الاختبار وإدخالها في الحاسوب كأصل لنظام الإحداثيات المقيسة.

خلال رحلة القياس يجب على الطائرة المروحية أن تتبع طرقاً محددة مسبقاً، كما هو موصوف أدناه. تُسجل مسيرات الرحلة الفعلية باستعمال خرج من النظام GPS الذي يعطي، بواسطة معالجة حاسوبية مناسبة، الموقع الفعلي للطائرة المروحية بالنسبة للهوائي الذي يجري قياسه. وتُقدم المعلومات المتعلقة بموقع الطائرة المروحية كذلك في الوقت الفعلي إلى الطيار، مما يساعد على المحافظة على مسار صحيح للرحلة.

تُجرى القياسات العمودية بتركيبة من الصعود العمودي وطيران الاقتراب. وتبدأ الطائرة المروحية القياسات بالقرب من الأرض عند مسافة مناسبة، حسب نمط الهوائي قيد الاختبار. بعد ذلك تصعد إلى ارتفاع يقابل زاوية الارتفاع القصوى المطلوبة. إذا كان المخطط العمودي الكامل حتى السمات ذا أهمية، فإن الطائرة المروحية تقوم بطيران اقترابي فوق الهوائي بعد بلوغ ارتفاع 1 000 m تقريباً (20°) (انظر الشكل 42).

الشكل 42

## مسير الطيران في المستوي العمودي



BS.1195-42

تشمل نتائج القياسات العمودية قيمة زاوية الارتفاع عند الكسب الأقصى (أي أقصى الفص الرئيسي) الذي يجب أن يُقاس عنده المخطط الأفقي. عند زاوية الارتفاع هذه تحلق الطائرة المروحية لتشكل دائرة حول الهوائي يتوقف نصف قطرها على نمط الهوائي قيد الدراسة (انظر الشكل 43). بالنسبة لطريق الطيران هذا من المهم جداً الاحتفاظ بزاوية ارتفاع صحيحة لأن من الصعب تعويض أي انحراف.

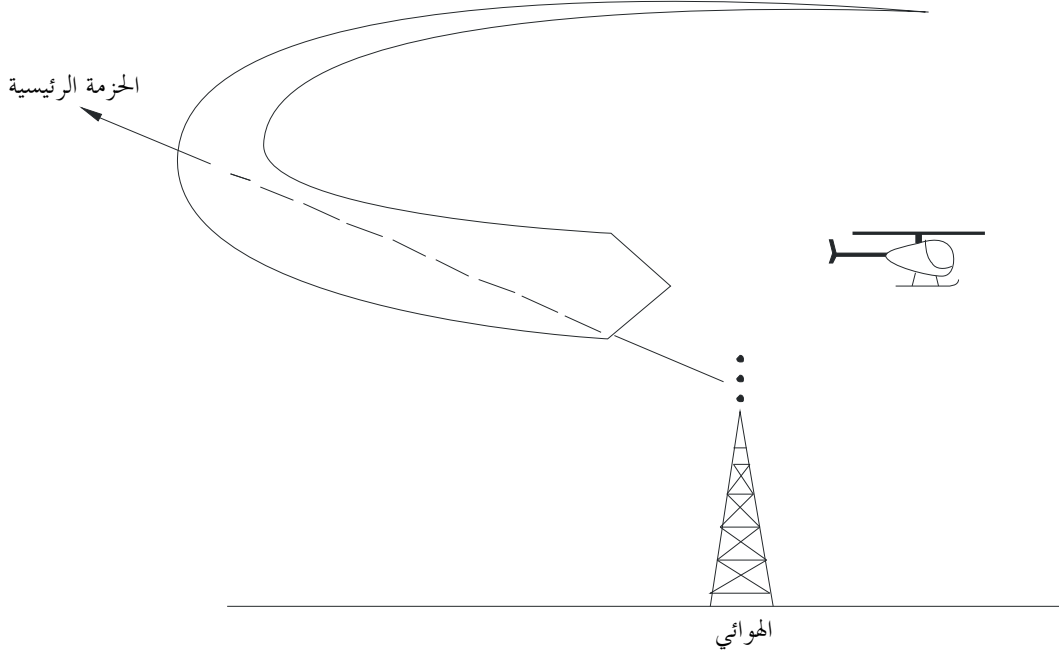
يجب أن تُحدد المسافات لكل من القياسات VRP و HRP قبل كل قياس (انظر الفقرة 2.2.3.3).

تُقاس شدة المجال المستقبل بواسطة مستقبل الاختبار المحمول (أو مقياس شدة المجال). في الوقت نفسه يستقبل الحاسوب المحمول جواً تحيينات الموقع من النظام GPS. عندئذ تُستعمل معطيات الموقع لتحويل سويات إشارة الدخل المقيس إلى قيم لشدة المجال عند مسافة مقيسة مع أخذ خصائص هوائي الاستقبال في الحسبان.

يجب أن يقوم مستقبل الاختبار بقياسات بأسلوب تقريبي، أي أن كل عينة مستوي إشارة سوف تتكون من متوسط للإشارات المستقبلية في فاصل زمني يبلغ 100 ms لحذف آثار التشكيل. يجب أن يكون مستقبل الاختبار قادراً على الاشتغال بأسلوب المسح لتسهيل القياسات على الأقل على ثلاثة ترددات في نفس طريق رحلة القياس. إضافة إلى ذلك، يجب أن يسمح نظام القياس بالحصول على الأقل على عينتين لكل درجة في المستوي الأفقي وعلى الأقل خمس عينات لكل درجة في المستوي العمودي. هذه العينات يجب أن تُخزن معاً بصحبة معطيات الموقع المقابلة.

### الشكل 43

#### مسير الطيران في المستوي الأفقي



BS.1195-43

تُعرض القيم المقيسة على شاشة على شكل مخطط هوائي للسماح للمشغل على المتن بالتحقق من التشغيل الجيد لنظام القياس خلال الطيران.

### 1.2.3.3 معالجة المعطيات المقيسة

بعد إنهاء القياسات المحمولة جواً، تُحلل المعطيات المقيسة وتُحسب المخططات وتُرسم. في هذا التحليل، تُحول عينات سوية الإشارة إلى قيم لشدة المجال عند مسافة مقيسة مع أخذ خصائص هوائي الاستقبال ومعلومات الموقع في الحسبان. تُستبعد كل العينات الخاطئة بالبداية.

عندئذ تُحسب القدرة e.r.p. في اتجاه معين انطلاقاً من شدة المجال ومسافته المقابلة. عادة ما يُعبر عن المخططات المرسومة بالنسبة للقدرة e.r.p. في اتجاه الإشعاع الأقصى.

يُحسب كسب الهوائي كالنسبة:

$$G_d = \frac{e.r.p.}{P_{in}}$$

حيث  $P_{in}$  هي القدرة المغذاة للهوائي.

### 2.2.3.3 شروط استعمال الطريقة المحمولة جواً (الطائرة المروحية)

عند قياس الهوائيات VHF/UHF، يجب تخفيض الآثار الناتجة عن الأرض إلى أدنى حد.

يبين الشكل 44 كيفية انتقاء مسافة القياس لتخفيض الانعكاسات إلى أقصى حد عند ارتفاع معين للهوائي. تؤدي المسافات الأقصر إلى زوايا أوسع عند نقطة الانعكاس، مما يؤدي إلى تخفيض الطاقة المنعكسة. لذلك فإن المسافة المنتقاة يجب أن تكون أقصر ما يمكن لكن كافية لتكون في ظروف المجال البعيد. علاوة على ذلك، يجب أن يكون هوائي الاستقبال اتجاهياً وقابلاً للتوجيه ليكون موجهاً باستمرار نحو الهوائي قيد الاختبار.

هناك معادلة تُستعمل على العموم لحساب مسافة القياس الدنيا بما يكفي من الدقة لتكون في المجال البعيد وهي تتمثل في:

$$d = \frac{2h^2}{\lambda}$$

حيث:

$d$ : مسافة القياس (m)

$h$ : فتحة الهوائي (m)

$\lambda$ : طول الموجة (m).

عملياً تُستعمل على العموم مسافة قياس نمطية تبلغ من 2 000 إلى 2 500 m.

تتوقف دقة النتائج على أداء التجهيزات المستعملة لقياس شدة المجال والموقع. لذلك يجب إضفاء أهمية خاصة على العوامل التالية:

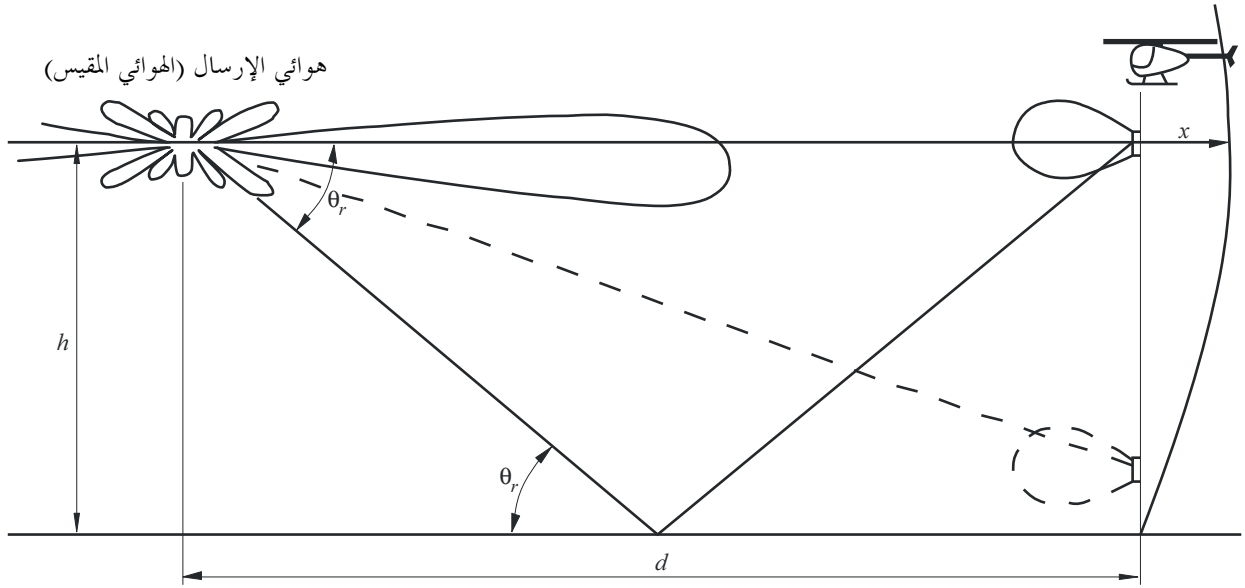
- خصائص هوائي الاستقبال وتركيبه على الطائرة المروحية؛
- مستقبل الاختبار (مقياس شدة المجال)، بما في ذلك الكبلات؛
- نظام تحديد الموقع المستعمل للحصول على الإحداثيات ثلاثية الأبعاد الحقيقية ومساعدة الطيار.

عند استعمال النظام GPS، يكون الخطأ في الموقع ثنائي الأبعاد المسجل للطائرة المروحية حوالي 5 m. وسوف يؤدي هذا الخطأ إلى خطأ في الموقع يقل عن 0,5 dB.

هناك مشكلة مهمة تتمثل في الاحتفاظ بالارتفاع الصحيح في مسير الطيران الأفقي. فعند قياس هوائي UHF ذي كسب عال، يمكن لانحراف في الزاوية العمودية يبلغ 0,3° (كما يمكن رؤية ذلك من الهوائي قيد الاختبار) أن يسفر عن خطأ 0,5 dB. لذلك سيكون أكثر صعوبة عند مسافات أقصر الاحتفاظ بالارتفاع الصحيح. للحصول على اعتمادية جيدة لقياسات مسير الطيران الأفقي، يجب قياس المخطط HRP على الأقل مرتين للحصول على نتائج ذات دلالة.

## الشكل 44

## تمثيل مسير الطيران



BS.1195-44

## 3.3.3 إجراء قياس الهوائي المرجعي

يجب إجراء قياس المخطط الأفقي بهوائي مرجعي ابتداءً من أقصى المخطط الأفقي. لا يمكن القيام بقياس المخطط الأفقي إلا ابتداءً من أقصى المخطط العمودي. يمكن لعدد من العوامل البيئية مثل غابة كثيفة أو الغطاء النباتي أن تؤثر في القياسات التي تتم بواسطة مقياس شدة مجال عادي إذ إنها تؤدي إلى تقلب زمني لشدة المجال المقيس. للحصول على نتائج ذات دلالة، يجب إن أمكن إدماج المعطيات المقيسة خلال فاصل زمني يبلغ بضع دقائق.

يمكن تنفيذ إجراءي قياس مختلفين:

- قياسات شدة المجال من نقطة إلى نقطة بمقياس لشدة المجال وهوائي قياس لوجاريتمي دوري مركب على ارتفاع cm 50 فوق الأرض؛
  - تسجيل متآون ومتواصل لكلا شديتي المجال مع مقياسين لشدة المجال موصولين بجهاز تسجيل في شاحنة الاختبار. يُستعمل هوائي دوار نمطي يبلغ m 0,7 مركب على سطح المركبة وموضوع m 3,2 فوق الأرض.
- تؤمن القياسات من طرف إلى طرف بواسطة هوائي مرجعي بتسجيل مستمر لشدة المجال، على العموم، نتائج جيدة حتى عندما لا يكون المرسل في خط البصر.

تتطلب قياسات المسافة بعض الوقت لتحويل قيم شدة المجال المسجلة إلى نظام الإحداثيات المنتقى (أي لتحديد زاوية الارتفاع بدلالة المسافة إلى المرسل والارتفاع فوق مستوى البحر). إضافة إلى ذلك، قد يتبين أن من المستحيل تقريباً الاحتفاظ بتفاوت  $\pm 3^\circ$  في الاتجاه نصف القطري انطلاقاً من المرسل عند المرور في طرق يمكن لشاحنة الاختبار النفاذ إليها.

على الرغم من أن القياسات أقل تطوراً، فإنها لا توفر نتائج شبيهة بنتائج القياسات من طرف إلى طرف إلا في ظروف الانتشار في خط البصر والانفاسح الأرضي. في هذه الظروف يمكن بواسطة مقياس شدة مجال بسيط يُحمل ويُشغل بالبطاريات التنقل بحرية في منطقة القياس دون الاعتماد على طرق موجودة ومتيسرة.

بما أن القدرة المشعة عند زوايا ارتفاع أصغر لا تصل إلى الأرض، من الممكن على العموم انتقاء مسافة نقطة القياس التي تتسبب في مخطط "نظيف". على الرغم من أنه سوف يتوجب استبعاد بعض نقاط القياس نظراً لظروف الأرض غير المؤاتية (الغطاء النباتي أو الأرض غير القابلة للنفوذ)، فإن يمكن على العموم تحديد موقع وعمق القيم الدنيا بدقة كافية.

### 1.3.3.3 معالجة المعطيات المقيسة

يمكن رسم المنحنيات التي تمثل المخططات المقيسة على أساس قيم المجال المسجلة بصورة مستمرة أو من نقطة إلى نقطة. إن مخططات الإشعاع المرسومة على هذا النحو هي المنحنيات المطلقة التي تعطي القدرة المشعة الفعلية كدالة لزوايا الارتفاع، إذا كانت القدرة المشعة للمشعاع المرجعي معروفة بدقة.

عند استعمال تقنية قياس من طرف إلى طرف، مع استبانة مسافة تبلغ حوالي 200 m وتسوية حسب القانون ثنائي الحدود قائمة على متوسطات متحركة، تُحذف التقلبات العشوائية ويصبح الشكل الحقيقي للمخطط العمودي بديهياً. نظراً للعدد الكبير من القيم المقيسة، فإن الدقة عند زوايا الارتفاع الصغرى تكون أكبر منها عند الزوايا الكبيرة. لذلك، فإن القياسات عند زوايا ارتفاع  $< 3^\circ$  يجب أن تُجرى باستبانة مسافة أصغر من 200 m للحصول على عدد كافٍ من نقاط الاختبار.

أظهرت التجربة المكتسبة من القياسات من نقطة إلى نقطة على شاحنات الاختبار أن قياسات المخطط الموثوقة بواسطة هوائي مرجعي تتطلب مجموعة كبيرة من القيم المقيسة لإجراء تقييم إحصائي مناسب وتحقيق تنعيم كافٍ للمخطط الإشعاع.

عندما تحدث مغايرة واسعة، بسبب الانعكاسات القوية، ولا يمكن العثور على قيمة متوسطة ثابتة، فإن نقطة الاختبار تصبح دون فائدة. تُعرف هوية هذه النقاط بواسطة إشارة منعكسة قادمة من مختلف الاتجاهات التي لا تقابل اتجاه المرسل.

يمكن لنقاط الاختبار الفردية عند كل زاوية ارتفاع أن تكون لها مسافات تتراوح بين بضعة أمتار وما يصل حتى حوالي 100 m حسب الظروف المحلية. لذلك فمن المهم تحديد زاوية الارتفاع بتفاوت أصغر من حوالي  $+0,05^\circ$  وسمت حوالي  $+0,5^\circ$ .

إن تقييم النتائج المقيسة، أي تحديد القيمة المتوسطة، لزوايا الارتفاع المقابلة ورسم المخطط يجب أن يتم عند موقع القياس. ولا يمكن إلا بهذه الطريقة تقييم ما إذا كانت قيم القياس كافية لرسم المخطط أو هناك حاجة لنقاط اختبار إضافية.

### 2.3.3.3 شروط استعمال طريقة الهوائي المرجعي

يوصى ببعض الحذر عند تحديد زاوية ارتفاع نقطة الاختبار بواسطة مسافتها وارتفاعها النسبي. فبينما يمكن تحديد المسافة من المرسل بدقة انطلاقاً من الخرائط، فإن الارتفاع فوق مستوى البحر غالباً ما لا يمكن تحديده بدقة، خاصة في أرض مرتفعة. بالنسبة للمسافات القصيرة بين نقطة القياس والمرسل، يمكن أن تتسم القياسات بأخطاء زاوية كبيرة. ويمكن تحسين الأمور باستعمال مقياس ارتفاع بارومتري. إذا كان المرسل في موقع مرئي، من الممكن القيام بقياس مباشر لزوايا الارتفاع بواسطة مزواة.

يمكن كذلك الحصول على معلومات إضافية من نتائج إجراءات القياس باستعمال هوائي مرجعي. فالواقع أن خصائص الإشعاع في الفضاء الحر ليست المعلومات الوحيدة المهمة؛ إذ تجدر كذلك معرفة التحسن الذي يمكن الحصول عليه للمجال المستقبل عند استعمال هوائي إرسال اتجاهي.

هذا الكسب المزيد، الذي يسمى في بعض الأحيان الكسب التشغيلي، يدل على زيادة الطاقة المستقبلية عند أي موقع استقبال عندما يُستعمل هوائي ذو اتجاهية أعلى من الهوائي المرجعي. تم إظهار أن متوسط الخسارة التشغيلية يختلف بحوالي  $+1$  dB بالنسبة للكسب في الفضاء الحر وحوالي  $+2$  dB على أرض منتظمة. للهوائيات ذات ارتفاع مركزي منخفض، المركبة على الجبال، كسب تشغيلي يقل بأكثر من 2 dB عنه في الفضاء الحر.

هكذا فإن القياس بواسطة المشعاع المرجعي يوفر خصائص إشعاع نظام هوائيات الإرسال باعتبار خصائص الأرض لمنطقة الخدمة. على خلاف الحالة خلال قياسات الطائفة المروحية يتم هنا قياس مخطط في الفضاء الحر.



## 4.3 تقديم المعطيات

مع أخذ المستوي السمتي كمرجع، يُقترح تقديم مخطط الاتساع الأفقي في الشكل القطبي ومخطط الاتساع العمودي في الشكل الديكارتي.

## 4 الاختلافات التي يجب توقعها عملياً بين أداء الهوائيات VHF و UHF المحسوب والمقيس ميدانياً

تسمح مقارنة مخططات الإشعاع المحسوبة والمقيسة بإبراز تأثير العوامل التي لا تُؤخذ في الاعتبار في الحساب. توصف فيما يلي بعض العوامل ذات الدلالة.

## 1.4 العوامل التي تؤثر في الهوائي الفردي وأداء نظام الهوائي الإجمالي

## 1.1.4 بنية الدعم

سوف تؤثر العوامل التالية في أداء نظام الهوائي:

- الاقتران المتبادل بين الهوائيات الفردية سوف يغير اتساع وطور تيار تغذيتها. ومن ثم سيكون مخطط الإشعاع الناتج مختلفاً عن المخطط المحسوب؛
- من المرجح أن تشغل بنية الدعم الشبكية المعدنية كهوائي ذي شق طفيلي، خاصة إذا كانت الأبعاد قريبة من الطنين؛
- إن التخالف الجانبي مفيد للحصول على أداء مستقر بالنسبة للمواءمة. غير أنه يجب الحد من هذا التخالف إذا كان يسبب غرلة للهوائيات الفردية المجاورة؛
- بما أن عاكس معظم الهوائيات الفردية الاتجاهية له قد محدود، فإن بنية الدعم التي توجد خلف الهوائي الفردي سوف تقوم إلى حد ما بدور عاكس ثانوي.
- في حالة التخالف على طول جانب بنية الدعم، سيكون هذا العاكس الثانوي لا تناظرياً بالنسبة للمشعاع وسيكون المخطط منحرفاً.
- سوف تحدث آثار مماثلة في كل حالات التركيب اللاتناظري على برج ما.
- يمكن للأداء أن يتأثر كذلك بظروف أخرى: تركيب أنظمة هوائيات أخرى على نفس البرج، المنصات، الأوتقة، السلام، تخطيط سيء لتوزيع كبلات التغذية، إلخ، غالباً بطريقة غير متوقعة.

## 2.1.4 البنى الهامة بالقرب من برج الهوائي

- يمكن أن تنتج العوامل المؤثرة في أنظمة الهوائي عن بيئة طبيعية وبنى من صنع الإنسان.
- تؤثر البيئة في قالب المخطط بطريقة دائمة ومنتظمة وفقاً للخصائص الطبيعية للموقع.
- أما البنى القريبة من برج الهوائي فتغير مخطط الإشعاع في اتجاهات معينة، حسب المسافة وخصائصها المادية. يمكن أن يكون الأثر الناتج ذا أهمية كبيرة وفقاً لعدد وقد البنى المجاورة.
- يمكن للعوامل سابقة الذكر أن تؤثر بطريقة مختلفة في أداء الهوائيات الفردية وأنظمة الهوائيات الأكثر تعقيداً. وهذا الاختلاف ناتج عن آثار الاقتران والتوهين، وعلى العموم على تركيبة من الاثنين. وحسب هيمنة هذا التأثير أو ذلك، يمكن أن يكون الأداء مختلفاً جداً عند النطاقين VHF و UHF.

## 3.1.4 العوامل المناخية

سوف تؤدي التدفئة بالشمس إلى ثني بنية الدعم وتغير الميل الإجمالي للحزمة.

إن هوائيات ياغي حساسة جداً لآثار الجليد. يمكن لهذه الظاهرة أن تؤدي في الحالات القصوى إلى عكس نسب الإشعاع الأمامي إلى الإشعاع الخلفي. وسوف يزيد عدم موازنة المعاوقة بالنسبة لكل أنماط الهوائيات خلال ظروف الجليد.

## 2.4 مقارنة خصائص الهوائي ومخططات الإشعاع المحسوبة والمقيسة

يمكن أن يتراوح الاختلاف بين مخططات الإشعاع المحسوبة والمقيسة بين بضعة أعشار الديسبل وبضعة عشرات الديسبل.

يمكن أن يكون هذا الفرق مهماً خاصة بجوار أصفار المخطط والفصوص الجانبية. عندما تهيمن آثار الاقتران، يمكن توقع اختلافات أكبر عند الموجات VHF منه عند الموجات UHF. على عكس ذلك، إذا هيمنت آثار التوهين، يجب توقع آثار أكبر عند الموجات UHF. إضافة إلى ذلك فإن أثر هذه التغيرات سيتوقف كذلك على تعقيد نظام الهوائي.

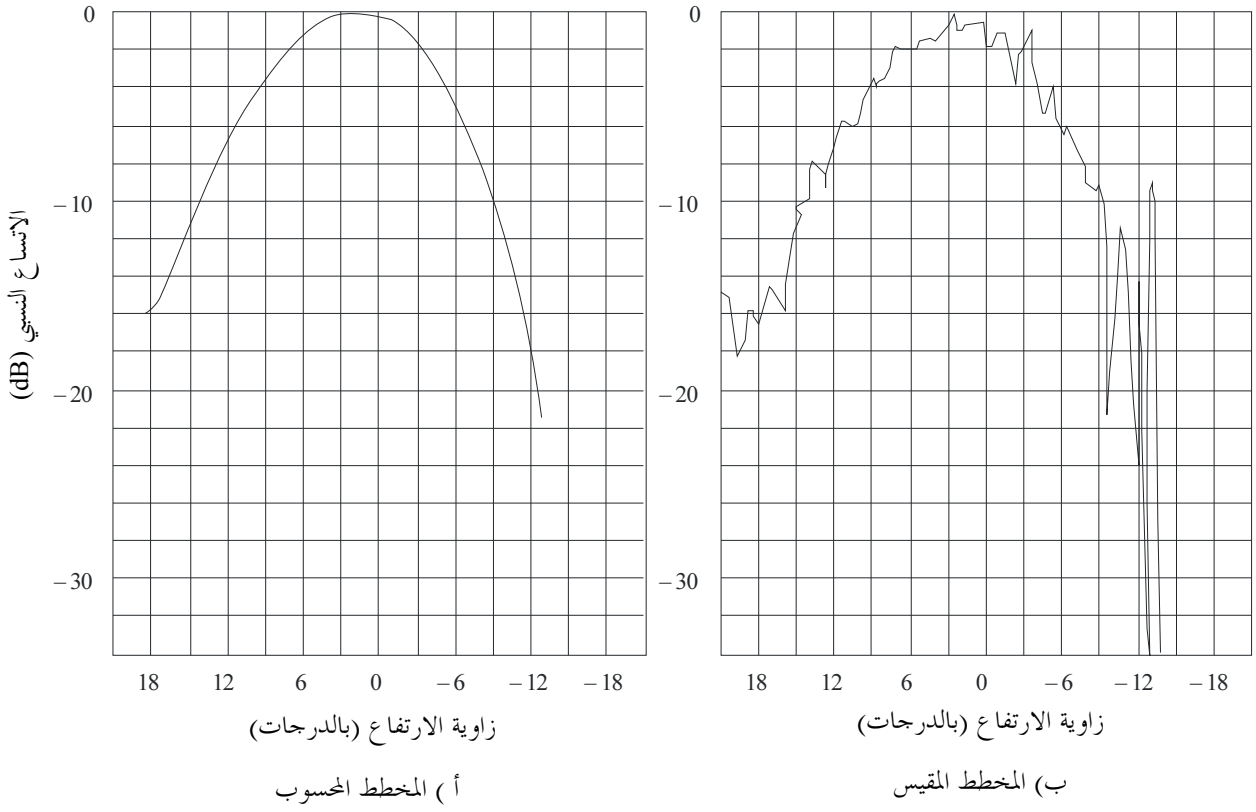
غالباً ما يكون الفرق بين الأداء المحسوب والمقيس أصغر بالنسبة لعنصر نظام الهوائيات الفردية نظراً لسهولة تسوية المعلمات في كل من الموجات VHF و UHF.

في حالة نظام معقد، يكون الفرق ناتجاً أساساً عن الأثر المركب للتجميع الميكانيكي والكهربائي وعن البيئة (البنى المجاورة). إضافة إلى ذلك، يمكن لوجود البنايات أن يسبب فرقاً كبيراً خاصة في جوار القيم الدنيا، كما هو مبين في الشكل 45.

يبين هذا الشكل المخطط المحسوب والمقيس لنظام هوائي لوشي يشغل بالموجات VHF. ويصبح الفرق بديهياً مثلاً عند زاوية سالبة تبلغ حوالي 10°، حيث تم حساب قيمة 10 dB وقياس قيمة حوالي 20 dB. تساهم الانعكاسات من الأرض والسطوح كثيراً في تحديد شكل المخطط.

## الشكل 45

المخططات العمودية المحسوبة والمقاسة



## الجزء 3

## من الملحق 1

## برمجيات حساب هوائي الإذاعة بالموجات VHF و UHF

## 1 مقدمة

يصف هذا الجزء تنفيذاً عملياً لبرنامج حاسوب يجب استعماله لحساب مخطط إشعاع نظام الهوائي وفقاً للمعادلات الواردة في الفقرة 2.7 من الجزء 1.

يشمل التذييل 1 من هذا الجزء 3 تعداد البرامج الأساسية التي يجب استعمالها في زمرة برامجيات يمكن أن تُكيف مع المتطلبات الخاصة للمستعمل، أي لتخطيط التردد، تصميم نظام الهوائي، إلخ.

ستتوقف متطلبات العتاد بشكل واسع على تطبيق البرامجيات ويمكن أن تُؤثر بطرق مختلفة في تشغيل العتاد الأدنى الذي يمكن أن يتراوح بين حواسيب جيبيّة بسيطة قابلة للبرمجة والحواسيب الكبيرة المستعملة لإدارة الطيف.

## 2 معمارية البرنامج

يتطلب تطبيق المعادلات المعددة في الفقرة 2.7 من الجزء 1 لحساب مخطط إشعاع نظام هوائي ما تيسرية عدد من معلمات الدخل لتحديد ظروف الحساب بطريقة مناسبة. يمكن أن تكون هذه المعلمات ذات طبيعة عامة مثل:

- تردد الموجة الحاملة للصورة (TV) أو تردد القناة (FM)؛

- تردد تشغيل نصف النطاق لنظام الهوائي؛

- عدد وأنماط الهوائيات الفردية التي تكوّن نظام الهوائي؛

- قسم عرضي للسارية وطول أضلع هذا القسم؛

وكذلك خاصة بكل من هذه الهوائيات مثل:

- النسبة المثوية لقدرة المرسل المطبقة،

- طور توتر التغذية،

- زاوية الميل،

- التخالف على طول جانب البرج،

- المباعدة العمودية بين العناصر.

بمجرد معرفة نمط الهوائيات المنتقاة لتكوين نظام الهوائي، يمكن استرجاع مخططات إشعاع اتساعها وطورها.

يجب أن تُخزن هذه المخططات مسبقاً بواسطة برنامج دخل خاص للرمزة التي تتمثل مهمتها في إنشاء ملف مناسب يحتوي على تمثيل مرقم لمخططات إشعاع الاتساع والطور للهوائيات المنتقاة. يجب أن يسمح البرنامج البسيط بإدخال قيم اتساع وطور مخططات الإشعاع الأفقية والعمودية (عند الكسب الأقصى، انظر الفقرة 3.6) التي يعطيها المصنع، مع الاستبانة الزاوية المطلوبة. سوف يُستعمل فيما بعد استكمال داخلي لاشتقاق قيم المخطط في اتجاهات لا تتصادف مع تلك المستعملة في عملية الاعتيان.

بتحويل مناسب، يمكن لكل المعلمات السابقة الذكر أن تحدد الدخل الضروري للبرنامج الأساسي لحساب المخططات (انظر التذييل 1). وخرج هذا البرنامج هو القيمة e.r.p. في الاتجاه الزاوي المطلوب المحدد بواسطة زاويتي السمات والارتفاع.

## التذييل 1

### من الجزء 3

## برنامج فرعي أساسي لحساب مخططات الهوائي

### 1 مقدمة

تسمح إحدى الوظائف المتيسرة في الإجراء بحساب مخطط إشعاع نظام الهوائي المكون من مصادر الإشعاع الأولية الواقعة عشوائياً في فضاء ثلاثي الأبعاد.

سوف تُحلل في هذا القسم كل من الجوانب النظرية وطرق تنفيذ الوظيفة المذكورة أعلاه. يتمثل الدخل الضروري في:

- المخطط الأفقي والعمودي لكل مصدر أولي مستعمل في نظام الهوائي،
- الوصف الهندسي لنظام الهوائي، أي اتجاه الموقع ونقطة التسديد لكل مصدر أولي،
- وصف تغذية القدرة لكل مصدر.

تتمثل المعلومات المخرجة التي يمكن الحصول عليها في:

- مخططات الإشعاع الأفقية عند أي زاوية ارتفاع،
- مخططات الإشعاع العمودية عند أي سمت،
- كسب نظام الهوائي.

إضافة إلى ذلك، يمكن، بواسطة تمثيل جغرافي، تركيب بعض أقسام مخطط ثلاثي الأبعاد للسماح بمقارنة فورية للمخطط في مختلف الاتجاهات في الفضاء.

يوصف فيما يلي الأساس النظري لحساب مخططات الإشعاع، وكذلك التحويل إلى لغة برمجة عالية المستوى.

### 2 الأساس النظري

لنفترض أن لدينا  $N$  من المصادر المشعة في نظام إحداثيات ديكارتية  $x$ - $y$ - $z$  (انظر الشكل 46) حيث:

- المستوى  $x$ - $y$  هو المستوى الأفقي،
- المحور  $y$  هو اتجاه الشمال في المستوى الأفقي،
- المحور  $z$  هو المستوى العمودي المحلي.

يُعطى موقع مصدر الإشعاع من الرتبة  $n$  بواسطة إحداثياته الديكارتية  $(x_n, y_n, z_n)$  أو تماثلياً، بمتجهة الموقع:

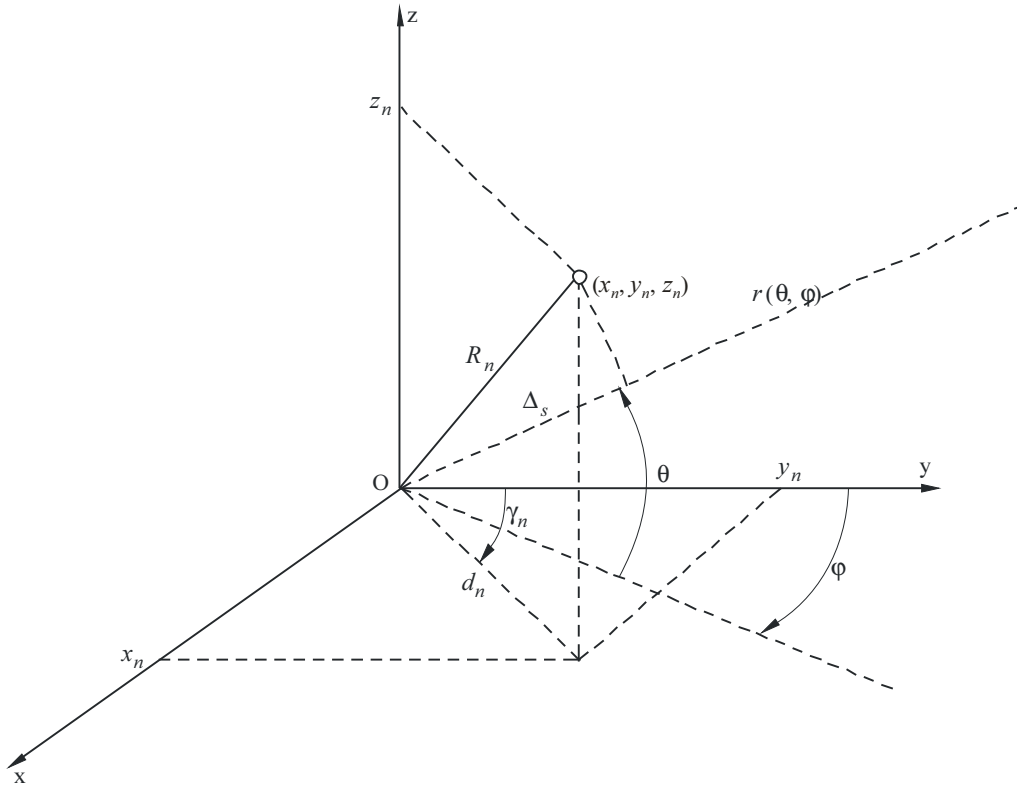
(32)

$$R_n = x_n x_0 + y_n y_0 + z_n z_0$$

يمكن كذلك التعبير عن موقع مصدر الإشعاع من الرتبة  $n$  بإحداثيات أسطوانية  $(d_n, \gamma_n, h_n)$  موصولة بالإحداثيات الديكارتية المقابلة  $(x_n, y_n, z_n)$  عبر العلاقات التالية (انظر الشكل 46):

$$(33) \quad \begin{aligned} x_n &= d_n \sin \gamma_n \\ y_n &= d_n \cos \gamma_n \\ z_n &= h_n \end{aligned}$$

الشكل 46



BS.1195-46

يُعبّر عن كسب التوتر الناتج عن تركيبة المجالات الكهرومغناطيسية لعدد  $N$  من المصادر المشعة في اتجاه الرصد  $(\theta, \varphi)$  بالمعادلة التالية:

$$(34) \quad G_{Vtot}(\theta, \varphi) = \left| \sum \sqrt{a_n} G_{Vn}(\theta, \varphi) e^{j\Delta\psi_n(\theta, \varphi)} \right|$$

حيث  $a_n$  هي النسبة المثوية للقدرة المغذية للمشعاع من الرتبة  $n$ ، و  $G_{Vn}(\theta, \varphi)$  هو كسب توترها في الاتجاه  $(\theta, \varphi)$ ، الذي يمكن الحصول عليه من مخطط الاتساع الأفقي والعمودي للمصدر من الرتبة  $n$ ، باعتبار اتجاه نقطة تسديده والدوران حوله.

فيما يخص طور المتجهة في مجموع المعادلة (34)، يمكن التعبير عن اختلاف الطور الإجمالي (rad) للمصدر من الرتبة  $n$  في اتجاه الرصد على النحو التالي:

$$(35) \quad \Delta\psi_n(\theta, \varphi) = \Delta\psi_{n pos}(\theta, \varphi) + \Delta\psi_{n diag}(\theta, \varphi) + \Delta\psi_{n el}$$

حيث  $\Delta\psi_{n\text{pos}}(\theta, \varphi)$  يمثل اختلاف طور الموقع (rad) للمصدر من الرتبة  $n$  في اتجاه الرصد بالنسبة لمصدر موضوع في أصل نظام الإحداثيات (انظر الشكل 46) ويمكن التعبير عنه على النحو التالي:

$$(36) \quad \Delta\psi_{n\text{pos}}(\theta, \varphi) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta s$$

حيث:

$$\Delta s = (R_n \cdot r)$$

$R_n$  تُعطى بواسطة (32) ويمكن التعبير عن  $r$ ، باعتبار أن الإحداثية  $\theta$  في الشكل 46 موجبة في نصف الفضاء  $Z < 0$  على النحو التالي:

$$(37) \quad r = \cos \theta \sin \varphi x_0 + \cos \theta \cos \varphi y_0 - \sin \theta z_0$$

بتطوير الناتج العددي، نحصل على اختلاف طور الموقع للمصدر من الرتبة  $n$ :

$$(38) \quad \Delta\psi_{n\text{pos}}(\theta, \varphi) = \frac{2\pi}{\lambda} \left( \cos \theta \sin \varphi x_n + \cos \theta \cos \varphi y_n - \sin \theta z_n \right)$$

إذا عبرنا عن موقع المصدر من الرتبة  $n$  بالإحداثيات الأسطوانية  $(d_n, \gamma_n, h_n)$  (انظر المعادلة (33))، فإن المعادلة (38) تصبح:

$$(39) \quad \Delta\psi_{n\text{pos}}(\theta, \varphi) = \frac{2\pi}{\lambda} \left( \cos \theta \sin \varphi d_n \sin \gamma_n + \cos \theta \cos \varphi d_n \cos \gamma_n - \sin \theta h_n \right)$$

أو تماثلياً:

$$(40) \quad \Delta\psi_{n\text{pos}}(\theta, \varphi) = \frac{2\pi}{\lambda} \left[ \cos \theta \cos(\gamma_n - \varphi) d_n - h_n \sin \theta \right]$$

يمثل  $\Delta\psi_{n\text{diag}}(\theta, \varphi)$  في المعادلة (35) اختلاف الطور (rad) لمخطط الطور للمصدر من الرتبة  $n$  في الاتجاه  $(\theta, \varphi)$  ويمثل  $\Delta\psi_n$  اختلاف طور التغذية للمصدر من الرتبة  $n$  المستقل عن اتجاه الرصد  $(\theta, \varphi)$ .

بتطوير العبارة (34)، نحصل على:

$$(41) \quad G_{V\text{tot}}(\theta, \varphi) = \left| \sum_n \sqrt{a_n} G_{Vn}(\theta, \varphi) \cos \Delta\psi_n(\theta, \varphi) + j \sum_n \sqrt{a_n} G_{Vn}(\varphi, \theta) \sin \Delta\psi_n(\theta, \varphi) \right| = \\ = \sqrt{\left( \sum_n \sqrt{a_n} G_{Vn}(\theta, \varphi) \cos \Delta\psi_n(\theta, \varphi) \right)^2 + \left( \sum_n \sqrt{a_n} G_{Vn}(\varphi, \theta) \sin \Delta\psi_n(\theta, \varphi) \right)^2}$$

### 3 تحقيق برامجيات الحساب

للحصول على مزيد من المرونة، تم تحقيق الإجراء ببنية وحدوية والتحويل إلى لغة برمجية عالية المستوى في اللغة C. في الأقسام التالية ترد الوحدة المتعلقة بالوظيفة  $G_{V\text{tot}}(\theta, \varphi)$  وكذلك كل الوظائف الأخرى التي ترجع إليها. تُستعمل هذه الوظائف لحساب كسب التوتر الإجمالي لنظام الهوائي المكون من كل المصادر المشعة  $N$  في اتجاه الرصد  $(\theta, \varphi)$ .

## 1.3 المتغيرات الإجمالية

فيما يلي المتغيرات الإجمالية المستعملة بواسطة الوحدات المذكورة أدناه. يرد كذلك وصف قصير للكمية التي تمثلها كل متغيرة.

عدد المصادر المشعة	:NUMS
نمط المصدر المشع من النمط $n$ ؛ إذا كانت كل المصادر متشابهة، $TIPO[n]=1$ لكل $n$	:TIPO[n]
متجهة تتضمن كسب التوتر، مقيسة وفقاً للقيمة القصوى، في المستوي الأفقي بدرجة واحدة	:DIAG_AMPH[]
متجهة تتضمن كسب التوتر، مقيسة وفقاً للقيمة القصوى، في الجانب الأمامي للمستوي العمودي بدرجة واحدة	:AMPV_FRONT[]
متجهة تتضمن كسب التوتر، مقيسة وفقاً للقيمة القصوى، في الجانب الخلفي للمستوي العمودي بدرجة واحدة	:AMPV_BACK[]
كسب التوتر الأقصى للمصدر من الرتبة $n$	:GVMAX[n]
طول الموجة (cm)	:LAMBDA_LAV
سمت وارتفاع (rad) نقطة تسديد المصدر المشع من الرتبة $n$	:FI_O[n],TETA_O[n]
قيمة زاوية الدوران (بالدرجات) للمصدر من الرتبة $n$ بالنسبة لنقطة تسديده	:RIB[n]
الإحداثيات الديكارتية لموقع المصدر من الرتبة $n$ (انظر الشكل 46)	:POSX[n],POSY[n],POSZ[n]
زاوية تغذية الطور للمصدر من الرتبة $n$ (rad)	:FASE_EL[n]
معامل تغذية القدرة للمصدر من الرتبة $n$	:A[n]

## 2.3 وظائف الحساب

## 1.2.3 الوظيفة DIAG

تحسب هذه الوظيفة كسب التوتر للمصادر المشعة "NUMS" في اتجاه الرصد (FI, TETA). وهي تقابل  $G_{tot}(\theta, \varphi)$ ، كما هو موصوف في الأسس النظرية.

```
float DIAG(fi,teta)
double fi ,teta;          /* polar co-ordinates (azimuth,elevation) of the observation
                           direction, expressed in radians */
{
  int n;
  double fase_tot;
  double aux0,reale,imag,aux;
  float amp_rad();
  double fase_rad();
  double fase_pos();
  double faseaux;
  reale=0.0;
  imag=0.0;
  for (n=0; n<NUMS;n++)
  {
    fase_tot = fase_rad (fi,teta,n) + fase_pos (fi,teta,n) + fase_el [n];
    aux0 = sqrt(a[n]) * amp_rad (fi,teta,n);
    reale = reale + aux0 * cos(fase_tot);
    imag = imag + aux0 * sin(fase_tot);
  }
  aux = sqrt((reale*reale) + (imag*imag));
  return(aux);
}
```



## 2.2.3 الوظيفة AMP\_RAD

تُحسب هذه الوظيفة كسب التوتر في اتجاه الرصد (FI, TETA)، للمصدر من الرتبة  $n$ ، باعتبار مخطط اتساعه الأفقي (DIAG\_AMPH[ ]) ومخطط اتساعه العمودي في الجانب الأمامي (AMPV\_FRONT[ ]) وفي الجانب الخلفي (AMPV\_BACK[ ])، واتجاه ودوران المصدر. وهي تقابل  $G_{vm}(\theta, \varphi)$ ، كما هو موصوف في الأسس النظرية.

```

float AMP_RAD(fi,teta,n)
double fi ,teta;          /* polar co-ordinates (azimuth, elevation) of the observation
                           direction, expressed in radians */
int n;                   /* radiating source indicator */
{
  double f2,t2;
  int m;
  int az,abb1,abb2;
  float aux;
  double abb;
  float ampv1,ampv2,ampv;
  m = tipo[n];
  RUOTA_RIB(n,fi,teta,&f2,&t2);
  az = (180./PI)*f2;
  abb = (180./PI)*t2;
  abb1 = abb;
  if (abb1 < 0)
    abb1 += 360;
  abb2 = abb1 + 1;
  if (az1 < 0)
    az1 += 360;
  if ((abb1==90)||(abb1==270))
    az1 = 0;
  /* voltage gain of the n-th source in the direction (φ, θ) */
  if ((az > 90) && (az < 270))
  {
    /*الاستكمال الداخلي لقيمة المخطط العمودي للاتساع الخلفي*/
    ampv1 = ampv_back[m][abb1+90];
    ampv2 = ampv_back[m][abb2+90];
    ampv = ampv1 + (ampv2-ampv1)*(abb-abb1);
    aux = gvmax[m]*diag_amph[m][az]*ampv;
  }
  else
  {
    /*الاستكمال الداخلي لقيمة المخطط العمودي للاتساع الأمامي*/
    ampv1 = ampv_front[m][abb1+90];
    ampv2 = ampv_front[m][abb2+90];
    ampv = ampv1 + (ampv2-ampv1)*(abb-abb1);
    aux = gvmax[m]*diag_amph[m][az]*ampv;
  }
  return(aux);
}

```

## 3.2.3 الوظيفة FASE\_RAD

تحسب هذه الوظيفة طور المجال (rad) في اتجاه الرصد (FI, TETA)، للمصدر من الرتبة  $n$ ، باعتبار مخطط اتساعه الأفقي (DIAG\_FASEH[ ])، ومخطط اتساعه العمودي في الجانب الأمامي (FASEV\_FRONT[ ]) وفي الجانب الخلفي (FASEV\_BACK[ ])، واتجاه ودوران المصدر.

```

double FASE_RAD(fi,teta,n)
    /* الإحداثيات القطبية (السمت، الارتفاع) لاتجاه
    الرصد، معبراً عنه بالراديان /
    مؤشر مصدر الإشعاع */
    double fi ,teta;
    int n;

    ampv1 = ampv_front[m][abb1+90];
    ampv2 = ampv_front[m][abb2+90];
    ampv = ampv1 + (ampv2-ampv1)*(abb-abb1);
    aux = gvmax[m]*diag_amph[m][az]*ampv;
}
return(aux);
}

/* حساب الاتجاه (F2, T2) حيث يمكن قراءة مخطط المصدر من الرتبة n لدراسة
نقطة تسديده [fi_o[n], teta_o[n]] ودورانه حول هذا الاتجاه بـ
rib[n] من الدرجات */

RUOTA_RIB(n,fi,teta,&f2,&t2);
az = (180./PI)*f2;
abb = (180./PI)*t2;
abb1 == abb;
if (abb1 < 0)
    abb1 -= 1;
abb2 = abb1 + 1;
if (az1 < 0)
    az1 += 360;
if ((abb1==90)||((abb1==90)))
    az1 = 0;
aux1 = diag_faseh[m][0];
aux2 = diag_faseh[m][180];
aux3 = fasev_front[m][90];
aux4 = fasev_back[m][90];

/* مخطط طور المصدر من الرتبة n في الاتجاه (φ, θ) */
if ((az1 > 90) && (az1 < 270))
{
    /* الاستكمال الداخلي لقيمة المخطط العمودي للطور الخلفي */
    fasev1 = fasev_back[m][abb1+90];
    fasev2 = fasev_back[m][abb2+90];
    fasev = fasev1 + (fasev2-fasev1)*(abb-abb1);
    aux = (diag_faseh[m][az]-aux2) * cos(t2) + (fasev - aux4) + aux2 - aux1 ;
}
else
{
    /* الاستكمال الداخلي لقيمة المخطط العمودي للطور الأمامي */
    fasev1 = fasev_front[m][abb1+90];
    fasev2 = fasev_front[m][abb2+90];

```

```

fasev = fasev1 + (fasev2-fasev1)*(abb-abb1);
aux = (diag_faseh[m][az]-aux2) * cos(t2) + (fasev - aux4) + aux2 - aux1 ;
}
aux *= (PI/180.);
return(aux);
}

```

**RUOTA\_RIB (n,fi,teta,fout,tout)**

```

/* الإحداثيات القطبية (السمت، الارتفاع) لاتجاه
الرصد، معبراً عنه بالراديان /
مؤشر مصدر الإشعاع *
الإحداثيات القطبية (السمت، الارتفاع) للاتجاه
/ حيث يمكن قراءة مخطط المصدر من الرتبة
لدراسة نقطة تسديده ودورانه n/*
double fi ,teta;
int n;
double fout,tout;
{
float aux;
double trib,fin,tin,arg;
double faux,taux,tgnum,tgden;
int az1,abb1;
/* اتجاه نقطة التسديد (fi_o[n], teta_o[n]) للمصدر المشع من الرتبة n*/
tgnum= cos(teta)*sin(fi-fi_o[n]);
tgden= ( cos(teta)*cos(teta_o[n])*cos(fi-fi_o[n]) + sin(teta)*sin(teta_o[n]) );
fin = atan2(tgnum,tgden);
tin = asin( -cos(teta)*sin(teta_o[n])*cos(fi-fi_o[n]) + sin(teta)*cos(teta_o[n]) );
/*rib[n] درجات الدوران المستمر للمصدر من الرتبة n*/
if (rib[n] != 0)
{
trib = (double) (PI/180.)*rib[n];
faux = atan2( cos(trib)*cos(tin)*sin(fin) - sin(trib)*sin(tin) , cos(tin)*cos(fin) );
arg = sin(trib)*cos(tin)*sin(fin) + cos(trib)*sin(tin);
if (arg >= 1)
arg = 1.0;
if (arg <= -1)
arg = -1.0;
taux = asin(arg );
}
else
{
faux = fin;
taux = tin;
}
if (faux>0)
faux += 0.01;
else
faux -= 0.01;
if (taux>0)
taux += 0.01;
else
taux -= 0.01;
(*fout) = faux;
(*tout) = taux;
}

```

## 4.2.3 الوظيفة FASE\_POS

تُحسب هذه الوظيفة اختلاف الطور في اتجاه الرصد ( $\varphi, \theta$ ) للمصدر المشع من الرتبة  $n$  الموضوع في  $(x_n, y_n, z_n)$  (انظر الشكل 46).

```

double FASE_POS (fi,teta,n)
    /* الإحداثيات القطبية (السمت، الارتفاع) لاتجاه
       الرصد، معبراً عنه بالراديان */
    double fi ,teta;
    /* مؤشر مصدر الإشعاع */
    int n;
{
    double aux;
    double deltas;
    deltas = cos(teta)*sin(fi)*posx[n] + cos(teta)*cos(fi)*posy[n] - sin(teta)*posz[n] ;
    aux = (2*PI/lambda_lav) * deltas;
    return(aux);
}

```

---