

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M.1177-4
(2011/04)

تقنيات لقياس البث غير المطلوب
لأنظمة الرادار

السلسلة M

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

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
الخدمة الثابتة الساتلية	RS
أنظمة الاستشعار عن بُعد	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، 2011

© ITU 2011

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

التوصية ITU-R M.1177-4 *

تقنيات لقياس البث غير المطلوب لأنظمة الرادار

(المسألة 202/5 ITU-R)

(1995-1997-2000-2003-2011)

مجال التطبيق

توفر هذه التوصية تقنيتين لقياس البث المشع غير المطلوب لأنظمة الرادار. وينبغي استخدامها لقياس بث الميدان الهامشي وللتحقق من قدرة البث قياساً بالحدود المحددة في التذييل 3 (القسم II) للوائح الراديو، أو لقياس مستوى البث غير المطلوب الذي يقع في ميدان خارج النطاق.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن كلاً من محطات الرادار الثابتة والمتنقلة في خدمة الاستدلال الراديوي منفذة بشكل واسع في نطاقات مجاورة لخدمات أخرى أو على علاقة توافقية معها؛

(ب) أن المحطات في خدمات أخرى عرضة للتداخل من محطات رادارية ذات بث غير مطلوب مع مستويات قدرة ذروة مرتفعة؛

(ج) أن العديد من الخدمات قد اعتمد أو يخطط لاعتماد أنظمة تشكيل رقمية أكثر عرضة للتداخل من بث غير مطلوب للرادارات؛

(د) أنه بمقتضى الشروط المشار إليها في فقرة إذ تضع في اعتبارها من أ) إلى ج)، من الممكن أن تتسبب محطة رادار ذات بث غير مطلوب مع مستويات قدرة ذروة مرتفعة بالتداخل على خدمات أخرى؛

(هـ) أن التوصية ITU-R SM.329 تحدد القيم القصوى للبث غير المطلوب في ميدان البث الهامشي من المرسلات الراديوية؛

(و) أن التوصية ITU-R SM.1541 تحدد الحدود العمومية للبث غير المطلوب الذي يقع في ميدان خارج النطاق.

توصي

1 باستخدام تقنيات القياس عملاً بالوصف الذي ورد في الملحق 1 لتقدم إرشاداً بشأن تحديد كمية سويات البث المشع غير المطلوب من المحطات الرادارية العاملة فوق 400 MHz.

2 باستخدام تقنيات القياس التي يرد وصفها في الملحق 1 أو الملحق 2، حسب الاقتضاء، على أساس تصميم الرادار لتقدم إرشاداً بشأن قياس سويات البث المشع غير المطلوب من المحطات الرادارية العاملة بين 50 MHz و 400 MHz؛

3 باستخدام تقنيات القياس التي يرد وصفها في الملحق 2 لتقدم إرشاداً بشأن تحديد كمية سويات البث المشع غير المطلوب من المحطات الرادارية العاملة دون 50 MHz.

* ينبغي أن ترفع هذه التوصية إلى عناية المنظمة البحرية الدولية (IMO) ومنظمة الطيران المدني الدولي (ICAO) واللجنة الراديوية البحرية الدولية (CIRM) والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) ولجنتي الدراسات 1 و 4 التابعتين لقطاع الاتصالات الراديوية.

الملحق 1

قياس البث غير المطلوب لأنظمة الرادار على النحو المفصّل
في الفقرتين 1 و 2 من توصي

1 مقدمة

يرد وصف تقنيتين تعرفان على أهما الطريقتين المباشرة وغير المباشرة.

ويوصى باستخدام طريقة القياس المباشرة التي تقيس البث غير المطلوب من جميع الرادارات بما فيها تلك التي تستبعد القياسات في نقاط متوسطة ضمن مرسلات الرادار. وتتضمن مثل هذه الرادارات تلك التي تستعمل صفائف ذات مرسلات موزعة تبني في (أو تتضمن فعلياً) بنية الهوائي.

وتكون الطريقة غير المباشرة هي الطريقة التي تقاس فيها مكونات نظام الرادار بشكل منفصل وتدمج النتائج بعد ذلك. ويتمثل التقسيم الموصى به للرادار في فصل النظام بعد المفصل الدوار (Ro-Jo) مما يسمح بقياس طيف خرج المرسل لدى منفذ خرج المفصل Ro-Jo ودمجه مع خصائص كسب الهوائي المقيس.

2 عرض النطاق المرجعي

في أنظمة الرادار، ينبغي حساب عرض النطاق المرجعي، B_{ref} ، المستخدم لتحديد حدود البث غير المطلوب (التوصيتان ITU-R SM.1541 و ITU-R SM.329 والتذييل 3 للوائح الراديو) لكل نظام رادار. وفي أربعة أنماط عامة للتشكيل النبضي الراداري المستخدمة للملاحة الراديوية والتحديد الراديوي للموقع والحيازة والتتبع وغير ذلك من وظائف الاستدلال الراديوي، تحدّد قيم عرض النطاق المرجعي باستخدام الصيغ التالية:

- لرادار ذي تردد ثابت مشفر بشفرة غير نبضية: واحد مقسوماً بطول النبضة. (مثلاً إذا كان طول نبضة الرادار $1 \mu s$ يبلغ عرض النطاق المرجعي $1/1 \mu s = 1 \text{ MHz}$).
- ولرادار ذي تردد ثابت نبضي مشفر بالطور، واحد مقسوماً بطول شريحة الطور (مثلاً إذا كان طول الشريحة المشفرة بالطور $2 \mu s$ ، يبلغ عرض النطاق المرجعي $1/2 \mu s = 500 \text{ kHz}$)؛
- ولرادار بتشكيل ترددي (FM) أو رادار زرققي، يتم الحصول على كم الجذر التربيعي بتقسيم عرض نطاق النبضة (MHz) على طول النبضة (μs) (فمثلاً إذا امتد عرض نطاق التشكيل الترددي، FM، من 1 MHz إلى 1 MHz أو بمقدار 30 MHz خلال نبضة طولها $10 \mu s$ ، يكون عرض النطاق المرجعي $(30 \text{ MHz}/10 \mu s)^{1/2}$ = $1,73 \text{ MHz}$)؛
- وفي الرادارات العاملة بأشكال موجة متعددة، يحدد عرض النطاق المرجعي تجريبياً من خلال مراقبة البث الراداري. وتجري المراقبة التجريبية على النحو التالي: يولّف مستقبل نظام القياس على أحد الترددات الأساسية للرادار، أو يولّف على تردد المركز ضمن مدى الزقزقة للرادار. وتُسند أعرض قيمة متاحة لعرض نطاق نظام القياس، ويُسجل مستوى القدرة المستقبلية من الرادار في عرض النطاق هذا. ثم يُضيق عرض نطاق نظام القياس تدريجياً، ويُسجل مستوى القدرة المستقبلية كدالة لعرض النطاق. والنتيجة النهائية هي مخطط أو جدول يظهر القدرة المقيسة كدالة لعرض نطاق القياس. ويكون عرض النطاق المطلوب أصغر عرض نطاق يُرصد فيه كامل مستوى القدرة، ويمكن حساب عرض النطاق المرجعي من معرفة الاستجابة النبضية لمستقبل القياس باستخدام عامل نسبة عرض نطاق القياس (MBR)، على النحو الموصوف أدناه. وفي حال ملاحظة انخفاض فوري في مستوى القدرة، ينبغي استخدام أعرض عرض نطاق متاح.

وفي جميع الحالات، حيثما تزيد عروض النطاق عن 1 MHz ينبغي استخدام عرض نطاق مرجعي B_{ref} بقيمة 1 MHz.

3 عرض نطاق القياس ومعلومات الكاشف

يُعرَّف عرض نطاق القياس B_m على أنه عرض نطاق نبضة المستقبل وهو أعرض من عرض نطاق التردد المتوسط (IF)، B_{if} ، (الذي يشار إليه أحياناً بعرض نطاق الاستبانة في محلات الطيف). ويمكن اشتقاق عرض نطاق القياس من المعادلة التالية:

$$B_m = B_{if} \times MBR$$

وتدعو الحاجة لتحديد نسبة عرض نطاق القياس (MBR) لمستقبل القياس قيد الاستخدام. وتكاد تبلغ هذه النسبة 3/2 لمرشاح غوسي بعرض نطاق -3 dB للتردد المتوسط كالذي يُستخدم عادة في العديد من مستقبلات محلل الطيف التجارية (يُعرَّف عرض نطاق التردد المتوسط (IF) عند النقطة -6 dB في بعض الأجهزة).

وينبغي اختيار ما يناسب من عرض نطاق التردد المتوسط في المستقبل لإنتاج أحد عروض نطاق القياس الموصى بها التالية.

عرض النطاق القياس $B_m \geq (T/1)$ لرادارات ذات تردد ثابت مشفرة بشفرة غير نبضية حيث يكون T : طول النبضة. (مثلاً إذا كان طول نبضة الرادار 1 μs فينبغي أن يكون عرض نطاق التردد المتوسط (IF) للقياس $1 \geq (1 \mu s) = 1$ MHz).

$(t/1)$ لرادارات ذات تردد ثابت بشفرة نبضية مشفرة بالطور حيث يكون t : طول شريحة الطور. (مثلاً إذا ما أرسل الرادار نبضات تبلغ 26 μs وتتألف كل نبضة من 13 شريحة مشفرة بالطور يبلغ طولها 2 μs فينبغي أن يكون عرض نطاق التردد المتوسط (IF) للقياس $1 \geq (2 \mu s) = 500$ kHz).

$(B/T)^{1/2}$ لرادارات تردد مكس (FM أو زقزقي) حيث يكون B_c : مدى كس التردد خلال كل نبضة ويكون T : طول النبضة. (مثلاً إذا ما كان كس الرادار (زقزقيات) في مدى تردد من 1250 إلى 1280 MHz (= 30 MHz من الطيف) خلال كل نبضة وإذا ما كان طول النبضة 10 μs فينبغي أن يكون عرض نطاق التردد المتوسط (IF) للقياس: $(10 \mu s / (30 \text{ MHz}))^{1/2} = \sqrt{3} \approx 1.73$ MHz). ووفقاً للحاشية 1، ينبغي في هذا المثال استخدام عرض نطاق قياس أقل بقليل من قيمة 1 MHz أو يساويها.

\geq تُحسب نتيجة القياس على النحو التالي: في الرادارات العاملة بأشكال موجة متعددة، يحدد عرض النطاق المرجعي تجريبياً من خلال مراقبة البث الراداري. وتجري المراقبة التجريبية على النحو التالي: يولف مستقبل نظام القياس على أحد الترددات الأساسية للرادار، أو يولف على تردد المركز ضمن مدى الزقزقة للرادار. وتُسند أعرض قيمة متاحة لعرض نطاق نظام القياس، ويُسجل مستوى القدرة المستقبلية من الرادار في عرض النطاق هذا. ثم يُضيق عرض نطاق نظام القياس تدريجياً، ويُسجل مستوى القدرة المستقبلية كدالة لعرض النطاق. والنتيجة النهائية هي مخطط أو جدول يظهر القدرة المقاسة كدالة لعرض نطاق القياس. ويكون عرض النطاق المطلوب أصغر عرض نطاق يُرصد فيه كامل مستوى القدرة، ويمكن حساب عرض النطاق المرجعي من معرفة الاستجابة النبضية لمستقبل القياس باستخدام عامل نسبة عرض نطاق القياس (MBR)، على النحو الموصوف أدناه. وفي حال ملاحظة انخفاض فوري في مستوى القدرة، ينبغي استخدام أعرض عرض نطاق متاح.

عرض نطاق فيديوي: \leq عرض نطاق تردد IF نظام القياس
الكاشف: ذروة إيجابية

¹ في جميع الحالات، إذا كان عرض نطاق القياس المشتق أعلاه أكبر من 1 MHz ينبغي استخدام التصحيحات التي يرد وصفها في الفقرة 2.3.

1.3 القياسات ضمن ميدان خارج النطاق

تحدّد الحدود الواردة في التوصية ITU-R SM.1541 بوحدة dBpp ضمن ميدان خارج النطاق (OoB). وهذا قياس نسبي للقدرة، وينبغي استخدام عرض نطاق التردد المتوسط المؤدي لعرض نطاق قياس يقل عن عرض النطاق المرجعي. وفي هذه الحالة، لا حاجة للتصحيح لأن ذروة الطيف ونقاط البيانات ضمن ميدان خارج النطاق تقاس باستخدام نفس عرض نطاق القياس (B_m).

وبوجه عام ينبغي إجراء قياسات باستخدام عرض نطاق يقل قليلاً عن عرض النطاق المرجعي الموصّف. وإذا يقصّر هذا النهج إلى أدنى حد من وقت القياس فهو يوسع أيضاً بعض الشيء من الطيف المقيس. ومن ثم في حالات هامشية حيث يكون قياس الشكل الحقيقي المقرب لطيف الإطباق على الهدف مهماً، يوصى بإعادة قياس منطقة الإطباق على الهدف ضمن ميدان خارج النطاق باستخدام عرض النطاق الأقصى بقيمة $0,2/T$ أو $0,2/t$ حسب الاقتضاء.

2.3 قياسات ضمن الميدان الهامشي

1.2.3 تصحيح القياس ضمن الميدان الهامشي

حيثما يختلف عرض نطاق القياس B_m عن عرض النطاق المرجعي B_{ref} ، يتعين تطبيق عامل تصحيح على القياسات الجارية ضمن الميدان الهامشي للتعبير عن النتائج في عرض النطاق المرجعي. وينبغي عندئذ تطبيق عامل التصحيح التالي:

$$\text{المستوى الهامشي، } B_{ref} = \text{المستوى الهامشي (المقيس في } B_m) + 10 \log(B_{ref}/B_m)$$

الملاحظة 1 - ينبغي استخدام عامل التصحيح هذا، إلا إذا عُلم أن الهامشي لا يشبه الضوضاء. حينها يمكن تطبيق عامل بين $10 \log(B_{ref}/B_m)$ و $20 \log(B_{ref}/B_m)$ ويمكن اشتقاقه بالقياسات في أكثر من عرض نطاق واحد. وفي جميع الحالات تُحصل النتيجة الأدق باستخدام عرض نطاق قياس (B_m) مساو لعرض النطاق المرجعي. وفي الرادارات العاملة فوق 1 GHz يكون عرض النطاق المرجعي 1 MHz (B_{ref}).

2.2.3 تصحيح بيانات القياس لقدرة غلاف الذروة (PEP)

ضمن الميدان الهامشي، تحدّد الحدود الواردة في التذييل 3 للوائح الراديو في عرض نطاق مرجعي (B_{ref}) بالنسبة إلى قدرة غلاف الذروة (PEP). ويجب أن تحيل البيانات المسجلة بوحدة dBpp ضمن الميدان الهامشي إلى قدرة غلاف الذروة (لا إلى ذروة الطيف المرصودة بوحدة dBpp).

وتقرّب قدرة غلاف الذروة (PEP) باستخدام صيغة التصحيح التالية:

للموجة المستمرة (CW) والنبضات المشفرة بالطور:

$$PEP = P_{meas} + 20 \times \log(B_{pep}/B_m) \quad \text{for } B_{pep} > B_m$$

وللرادارات النبضية بتردد مكس (FM أو زقزقي):

$$PEP = P_{mes} + 10 \times \log(B_c / (B_m^2 \times T)) \quad \text{for } (B_m^2 T) / B_c < 1$$

حيث:

PEP : قدرة غلاف الذروة؛

P_{meas} : قدرة ذروة الطيف (B_m)؛

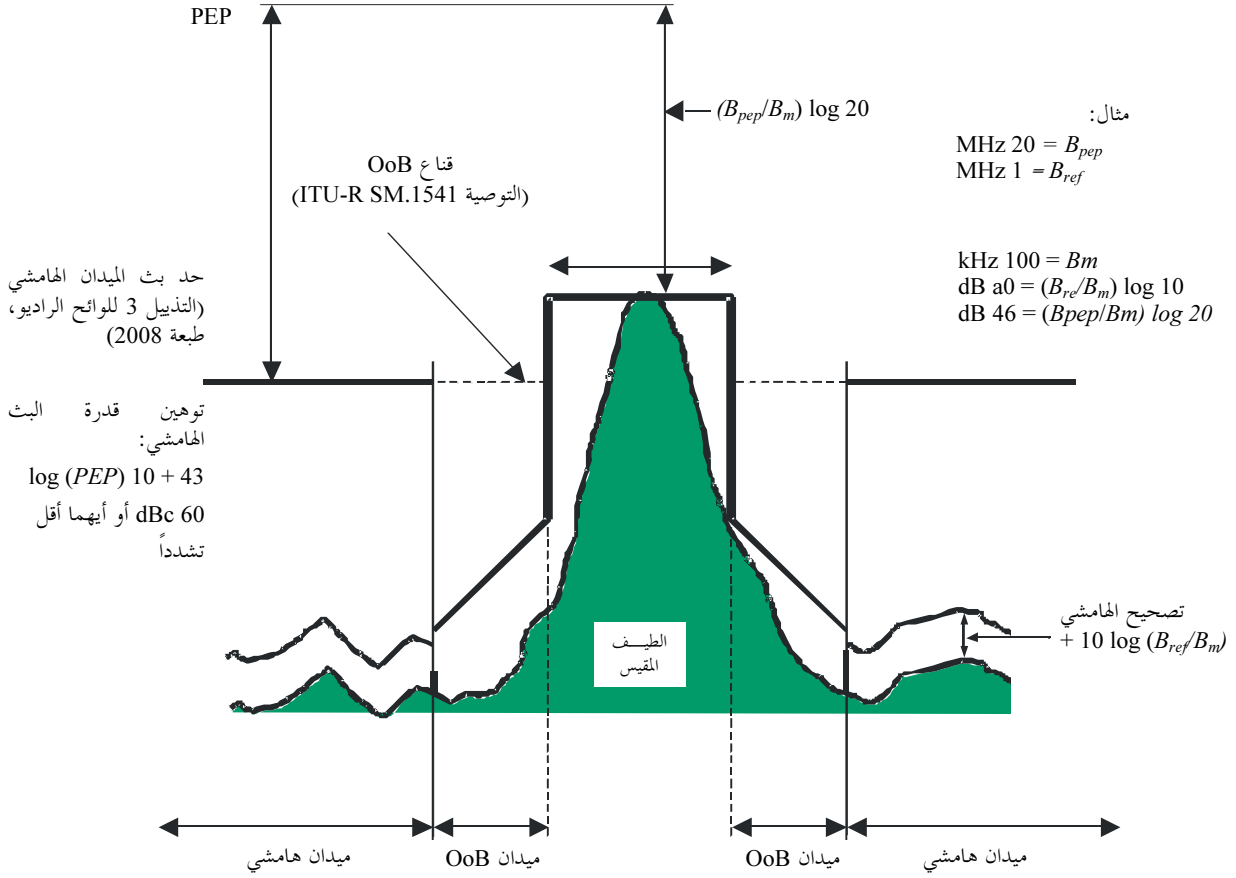
B_{pep} : عرض النطاق المحسوب وفق ما يلي:

- رادار ذي تردد ثابت مشفر بشفرة غير نبضية: واحد مقسوماً بطول (أطوال) النبضة. (مثلاً إذا كان طول نبضة الرادار 1 μs يبلغ عرض النطاق المرجعي $1 \text{ MHz} = 1/\mu\text{s}$)؛

- ولرادار ذي تردد ثابت نبضي مشفر بالطور، واحد مقسوماً بطول (أطوال) شريحة الطور (مثلاً إذا كان طول الشريحة المشفرة بالطور 2 μs ، يبلغ عرض النطاق المرجعي $1/2 \mu\text{s} = 500 \text{ kHz}$)؛
 - ولرادار بتشكيل ترددي (FM) أو رادار زققي، يتم الحصول على كم الجذر التربيعي بتقسيم عرض نطاق النبضة بوحدة MHz على طول النبضة (μs) (فمثلاً إذا امتد عرض نطاق التشكيل الترددي، FM، من MHz 1 250 إلى MHz 1 280 أو بمقدار 30 MHz خلال نبضة طولها 10 μs ، يكون عرض النطاق المرجعي $(30 \text{ MHz}/10 \mu\text{s})^{1/2} = 1,73 \text{ MHz}$)؛
 - وفي الرادارات العاملة بأشكال موجة متعددة، يحدد عرض النطاق B_{pep} تجريبياً من خلال مراقبة البث الراداري. وتجري المراقبة التجريبية على النحو التالي: يولّف مستقبل نظام القياس على أحد الترددات الأساسية للرادار، أو يولّف على تردد المركز ضمن مدى الزققة للرادار. وتُسند أعرض قيمة متاحة لعرض نطاق نظام القياس، ويُسجل مستوى القدرة المستقبلية من الرادار في عرض النطاق هذا. ثم يُضيق عرض نطاق نظام القياس تدريجياً، ويُسجل مستوى القدرة المستقبلية كدالة لعرض النطاق. والنتيجة النهائية هي مخطط أو جدول يظهر القدرة المقيسة كدالة لعرض نطاق القياس. ويكون عرض النطاق المطلوب أصغر عرض نطاق يُرصد فيه كامل مستوى القدرة، ويمكن حساب عرض النطاق B_{pep} من معرفة الاستجابة النبضية لمستقبل القياس باستخدام عامل نسبة عرض نطاق القياس (MBR)، على النحو الموصوف أدناه. وفي حال ملاحظة انخفاض فوري في مستوى القدرة، ينبغي استخدام أعرض عرض نطاق متاح. وتبيّن التصحيحات الموصوفة في الفقرة 2.3 بيانياً في الشكل 1.
- كما يُرى في الشكل 1، أحيل غلاف ميدان خارج النطاق (OoB) والطيف المقيس إلى مستوى قدرة غلاف الذروة (PEP) باستخدام العامل $20 \log(B_{pep}/B_m)$. ويظهر الشكل انزياح الهامشي المقيس نحو الأعلى بمقادير يساوي عامل التصحيح المذكور في الفقرة 1.2.3 (المأخوذ هنا بصيغة $10 \log(B_{ref}/B_m)$). وفي هذا المثال، اختير عرض نطاق القياس بمقدار 100 kHz لأغراض البيان فحسب، رغم أن عرض النطاق القريب من 1 MHz يوصى به في هذه الحالة. ولأغراض البيان كذلك، يظهر القناع متخالفًا ترددياً على النحو المسموح به في التوصية ITU-R SM.1541.

الشكل 1

توضيح بياني للتصحیحات الموصوفة في الفقرة 2.3



M.1177-01

4 القياسات في الرادارات متعددة النبضات أو متعددة الأساليب

في الرادارات التي تتعدد فيها أشكال الموجة النبضية، ينبغي حساب عرض نطاق B_{-40} dB لكل نمط نبضي على حدة، ويتعين استخدام عرض نطاق B_{-40} dB الأعرض لرسم شكل قناع البث (انظر التوصية ITU-R SM.1541، الملحق 8).

وفي الرادارات التي تتعدد فيها إعدادات عرض النبضة ويمكن انتقاء كل منها على حدة، ينبغي استخدام الإعداد الذي يُنتج عرض نطاق B_{-40} dB الأعرض (انظر التوصية ITU-R SM.1541، الملحق 8). ولا حاجة لإجراء قياسات البث إلا لهذا الإعداد.

وفي الرادارات التي تستخدم قياسات مسح حزمة الارتفاع، لا حاجة عادةً لإجراء قياسات إلا في مستوي السمات.

5 المدى الدينامي لنظام القياس

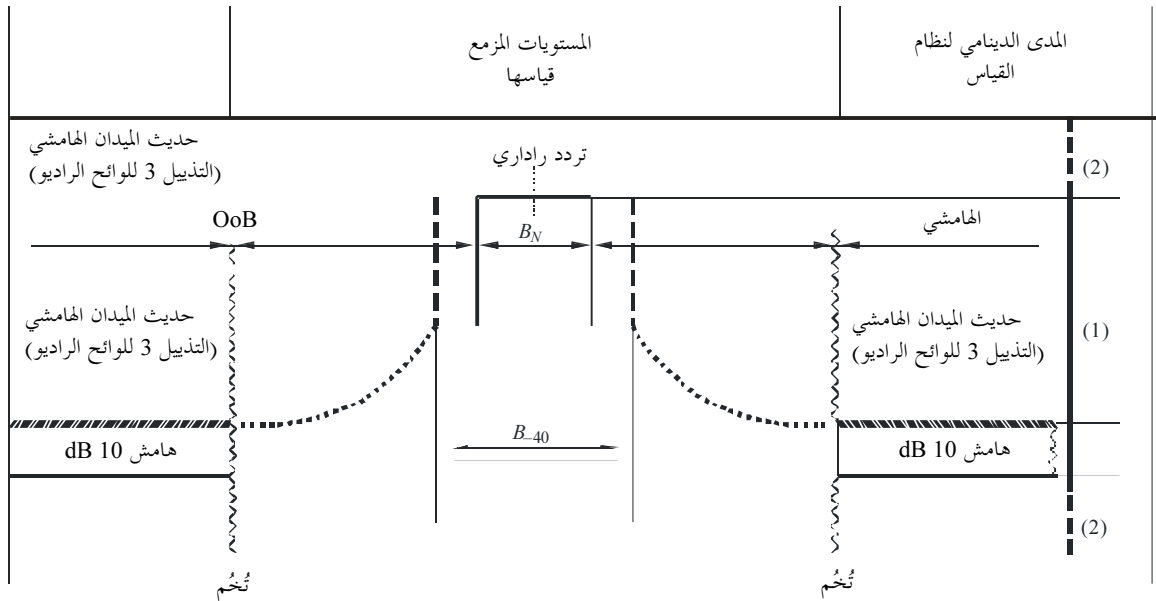
ينبغي أن يكون نظام القياس قادراً على قياس مستويات البث غير المطلوب على النحو المذكور في التذييل 3 للوائح الراديو. وللحصول على كامل صورة الطيف، وبخاصة في ميدان البث الهامشي، يوصى بأن يكون نظام القياس قادراً على قياس مستويات بث تقل بمقدار 10 dB دون المستويات الواردة في التذييل 3 للوائح الراديو.

وتوخياً لمستوى عالٍ من الثقة في النتائج، ينبغي أن يكون المدى الدينامي للقياس أعلى بكثير من مدى القياس المطلوب (الهامش (2)، في الشكل 2).

وترد الرابطة بين مدى القياس المطلوب والمدى الدينامي الموصى به لنظام القياس في الشكل 2.

الشكل 2

العلاقة بين مدى القياس المطلوب والمدى الدينامي الموصى به لنظام القياس



(1): مدى القياس الموصى به

(2): هامش

M.1177-02

الملاحظة 1 – من الجدير بالانتباه أن التوصية ITU-R SM.329 توصي، في إطار قيود الفئة B، بحدود أكثر تشدداً من تلك الواردة في التذييل 3 للوائح الراديو في بعض الحالات. وينبغي مراعاة ذلك عند تقييم مدى القياس المطلوب والمدى الدينامي الموصى به لنظام القياس.

6 الطرائق المباشرة

يمكن استخدام طريقتين موصوفتين أدناه لقياس البث غير المطلوب (في ميدان خارج النطاق (OOB) والهامشي) من أنظمة الرادار. ويكون التحكم يدوياً في الطريقة الأولى وتلقائياً في الثانية. وقد استُخدمت هاتان الطريقتان لقياس خصائص أنظمة الرادار العاملة في ترددات تصل إلى 24 GHz وبقدرات خرج للمرسل تبلغ بضعة ميغا واط ومستويات قدرة مشعة مكافئة متناحية (e.i.r.p) في مدى الغيغاواط. ويمكن تنفيذ هاتين الطريقتين في غرفة كاتمة للصدى مع مراعاة جوانب السلامة.

1.6 شروط بيئة القياس

يمكن إجراء قياسات الميدان القريب أو الميدان البعيد فيما يتعلق بمسافة القياس. وينبغي إبقاء التغير في ذروة الإشارة المستقبلية دون 3 dB باستخدام مخمّد عند تحريك هوائي الاستقبال أفقياً أو رأسياً بمسافة $\lambda D/2H$ بعيداً عن نقطة استقبال الإشارة القصوى (H: ارتفاع نقطة الإرسال؛ D: مسافة القياس؛ λ : طول موجة الإرسال).

وفيما يتعلق بموقع القياس، يفضل وضع هوائي الإرسال والاستقبال في موضع مرتفع كالأبراج؛ علماً بأن الارتفاع ينبغي تحديده بأخذ عرض الحزمة الرأسية للرادار وهوائيات القياس في الاعتبار؛ وينبغي ألا تبرز أجسام عاكسة ما بين الهوائيين.

2.6 عتاد القياس وبرمجياته

يظهر المخطط الوظيفي لنمط نظام القياس اللازم للطريقتين المباشرتين في الشكل 3 (الطريقة اليدوية) والشكل 4 (الطريقة التلقائية). والعنصر الأول الذي يتعين تدبره في هذا النظام هو هوائي الاستقبال الذي ينبغي أن تكون استجابته الترددية عريضة النطاق، على الأقل بعرض المدى الترددي المزمع قياسه. وعادة ما يكون من المستحسن أيضاً أن تكون له استجابة كسب عال (كالتى تتحقق بعاكس مكافئ). إذ تسمح قيمة الكسب العالي بمدى دينامياً أوسع في القياس. ويتيح ضيق عرض حزمة الهوائي تمييزاً ضد إشارات أخرى في المنطقة ويقلل إلى أدنى حد من مشاكل الانتشار متعدد المسيرات من الرادار في إطار القياس. ولا تتطلب بيانات الطيف التي تُجمع بهوائي مكافئ إلا حداً أدنى من تصحيح ما بعد القياس، كما يأتي بحثه في الفقرة التالية. ويُختار استقطاب تغذية الهوائي لتعظيم الاستجابة لإشارة الرادار. ويعد الاستقطاب الدائري للتغذية خياراً سديداً في الحالات التي لا يعرف فيها بدهاة استقطاب الرادار. ويمكن اختبار استقطاب الهوائي عن طريق تناوب التغذية (إذا استخدم الاستقطاب الخطي) أو عن طريق تبادل التغذيةات المستقطبة بمنة ويسرة إذا ما استخدم الاستقطاب دائري.

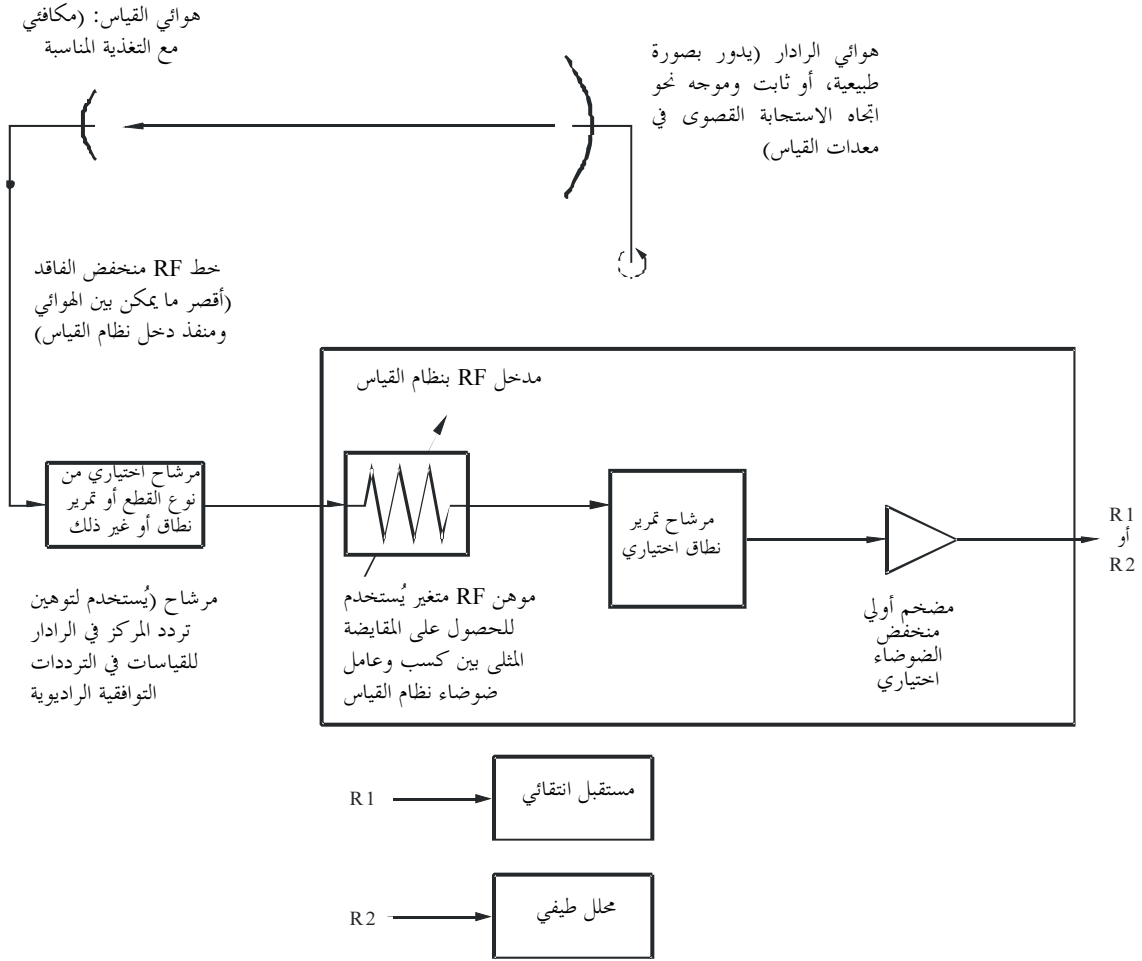
وينبغي النظر في تصحيحات لكسب الهوائي المتغير كدالة للتردد. وعادة ما تحدد مستويات كسب الهوائي نسبةً لهوائي متناح مثالي من الناحية النظرية (dBi). وتتضاءل الفتحة الفعالة للهوائي المتناحي بعامل $20 \log(f)$ حيث f هو التردد الذي يتم قياسه. وهذا يعني أنه إذا كان لهوائي القياس فتحة فعالة ثابتة (أي له كسب متناح يزداد بعامل $20 \log(f)$)، ولا حاجة لإجراء أي تصحيحات لكسب هوائي المتغير. ويتحقق هذا الشرط بهوائي عاكس مكافئ مثالي من الناحية النظرية، وذلك هو أحد أسباب تفضيل مثل هذا الهوائي لقياس طيف الرادار واسع النطاق.

وعلى العكس من ذلك، فبالقدر الذي ينحرف فيه كسب الهوائي عن منحني $20 \log(f)$ (بما في ذلك الهوائي المكافئ الأقل من مثالي)، لا بد من تصحيح انحراف من هذا القبيل في القياسات الناتجة.

وينبغي أيضاً النظر في الكبل الواصل بين هوائي القياس ونظام القياس. فثمة طول معين من كبل ترددات راديوية (RF) منخفض الفاقد يوصل الهوائي إلى مدخل نظام القياس المهيأ للترددات الراديوية (ويختلف هذا الطول تبعاً لظروف هندسة نظام القياس في كل موقع رادار قياس). وإذ تتسبب مفايد هذا الخط في توهين إشارة الرادار المستقبلية، يُستحسن تقصيره وجعله منخفض الفاقد قدر الإمكان.

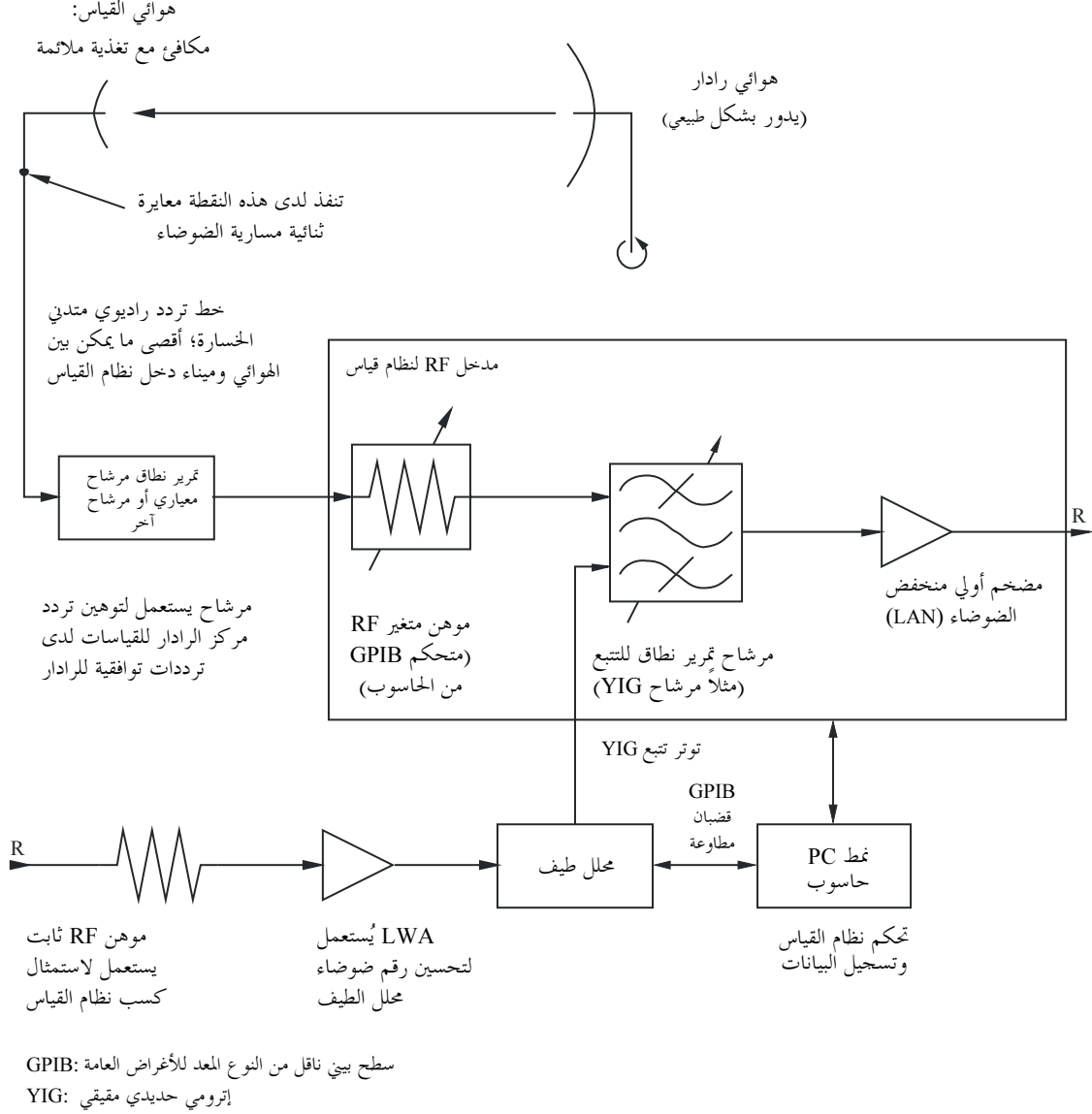
الشكل 3

المخطط الوظيفي لقياس البث المشع غير المطلوب من رادارات تستخدم الطريقة المباشرة ذات التحكم اليدوي



الشكل 4

المخطط الوظيفي لقياس البث المشع غير المطلوب من رادارات تستخدم الطريقة المباشرة ذات التحكم التلقائي



M.1177-04

يُعد المدخل المهيأ للترددات الراديوية أحد الأجزاء الأكثر أهمية في نظام القياس بأكمله. فهو يؤدي ثلاث وظائف حيوية. الأولى منها هي التحكم وتوسيع المدى الدينامي لنظام القياس من خلال استخدام التوهين المتغير المهيأ للترددات الراديوية. والثانية هي اصطفاء تمرير النطاق (الاختيار الأولي) لمنع الحمولة الزائدة على المضخمات بإشارات عالية الاتساع خارج التردد المولف لنظام القياس. والثالثة هي التضخيم الأولي منخفض الضوضاء لتوفير أقصى قدر من الحساسية للبث الذي يمكن أن يتدنى بمقدار 130 dB دون ذروة المستوى المقيس عند تردد الرادار الأساسي.

ويُنظر أدناه في كل من هذه الأقسام في المدخل المهيأ للترددات الراديوية.

ويعد الموهن المهيأ للترددات الراديوية العنصر الأول في المدخل. ويوفر الموهن توهيناً متغيراً (مثلاً 0-70 dB) في تزايدات ثابتة (مثلاً 10 dB/خطوة الموهن). ويوسع استعمال هذا الموهن خلال القياس المدى الدينامي الآتي لنظام القياس حتى الكمية القصوى للتوهين المتيسر (مثلاً 70 dB لموهن 0-70 dB).

1.2.6 نظام القياس المتحكم فيه يدوياً

يتألف القياس المتحكم فيه يدوياً من الكنس عبر الطيف في تزايدات ثابتة (تساوي قيمة الامتداد). وفي كل كنسة ترددية، يُضبط الموهن لإبقاء ذروة قدرة الرادار ضمن المدى الدينامي للعناصر الأخرى في نظام القياس (غالباً ما يكون مضخم المدخل والمضخم اللوغاريتمي لمحلل الطيف عنصري التقييد). ويضبط الموهن المهيأ للترددات الراديوية للمدخل على الوجه الصحيح في كل كنسة، يجري قياس قدرة الرادار في ذلك التردد.

ويمكن استخدام مرشاح تمرير نطاق في هذه النقطة لتفادي الإفراط في حمولة المضخم الأولي (وبالتالي التسبب بضغط الكسب)، إذا دعت الضرورة لقياس البث الهامشي المنخفض جداً (أي البث الأساسي - مستوى البث الهامشي < المدى الدينامي للقياس الآني).

والعنصر الأخير في المدخل المهيأ للترددات الراديوية هو المضخم منخفض الضوضاء (LNA) المركب بوصفه العنصر التالي في مسير الإشارة بعد المنتقي الأولي. وتوفر خاصية الدخل منخفض الضوضاء لهذا المضخم حساسية عالية لبث الرادار الهامشي منخفض الاتساع. ويحدد كسب هذا المضخم عامل الضوضاء لسائر نظام القياس (مثل طول خط الإرسال ومحلل الطيف).

وتُهيأ حساسية نظام القياس ومداه الدينامي على النحو الأمثل عن طريق الانتقاء السليم لكسب المضخم منخفض الضوضاء (LNA) وخصائص عامل الضوضاء. ومن المستحسن تقليل عامل الضوضاء إلى أدنى حد مع توفير ما يكفي من الكسب لجميع دارات القياس التالية للمضخم منخفض الضوضاء (أساساً فاقد خط الترددات الراديوية بعد المدخل، بالإضافة إلى عامل ضوضاء دارات محلل الطيف). ومن الناحية المثالية، ينبغي أن يكون مجموع كسب المضخم منخفض الضوضاء (LNA) وعامل الضوضاء (وهو فائض الضوضاء الناتجة عن المضخم منخفض الضوضاء ذي انتهائية $\Omega 50$ في دخله) مساوياً تقريباً لعامل ضوضاء سائر نظام القياس.

وعوامل الضوضاء النمطية لمحلل الطيف هي 25-45 dB (متفاوتة كدالة للتردد)، وقد تبلغ مفايد خط الإرسال 5-10 dB، وهذا يتوقف على نوعية وطول الخط. ونتيجة تغير عامل ضوضاء نظام القياس كدالة للتردد، قد تلزم مجموعة متنوعة من المضخمات منخفضة الضوضاء تُستخدم في ثمانية ترددية (مثل 1-2 GHz و 2-4 GHz و 4-8 GHz و 8-18 GHz و 18-26 GHz و 26-40 GHz). ويمكن تهيئة كل مضخم منخفض الضوضاء (LNA) على النحو الأمثل من حيث عامل الضوضاء ضمن كل ثمانية ترددية. ويساعد هذا أيضاً على مواءمة هذه المضخمات مع فواصل الثمانيات بين مختلف مرشاح إترومية حديدية مقيمية (مرشاح YIG) (مثل 0,5-2 GHz، 2-18 GHz، وهلم جرّاً). ولعل استخدام مضخم منخفض الضوضاء بعد المنتقي الأولي (وإذا اقتضى الأمر، سلسلة من هذه المضخمات عند دخل محلل الطيف) من شأنه أن يخفف عامل الضوضاء الإجمالي لنظام القياس إلى حوالي 10-15 dB. وقد تبينت كفاية مدى عامل الضوضاء هذا لقياس أطيف بث رادار عريض النطاق تبلغ سعة مداها 130 dB.

ويُتوقع أن يكون سائر نظام القياس المهيأ للترددات الراديوية، في الأساس، محلل طيف متوفر تجارياً أو محلل طيف مع منتق أولي أو مستقبل انتقائي. ويمكن استخدام أي معدات تستطيع استقبال إشارات عبر المدى الترددي في دائرة الاهتمام.

2.2.6 نظام القياس المتحكم فيه تلقائياً

إن مفتاح الاستخدام الفعال لموهن المدخل المهيأ للترددات الراديوية في قياس راداري، كما هو مبين في الشكل 3، يتمثل في توليف نظام القياس بتزايدات ترددية ثابتة (مثل 1 MHz) تسمى الخطوات، بدلاً من الكنس عبر الطيف على النحو الذي يغلب القيام به تقليدياً. بمحلات الطيف المتحكم فيها يدوياً. وفي كل خطوة ثابتة التردد، يُضبط الموهن لإبقاء ذروة قدرة الرادار ضمن المدى الدينامي للعناصر الأخرى في نظام القياس (غالباً ما يكون مضخم المدخل والمضخم اللوغاريتمي لمحلل

الطيف عنصري التقييد). وبضبط الموهن المهيأ للترددات الراديوية للمدخل على الوجه الصحيح في كل خطوة، يجرى قياس قدرة الرادار في ذلك التردد. وهكذا، يتوسع المدى الدينامي الاسمي لنظام القياس البالغ 60 dB بمقدار يصل إلى 70 dB بحيث يبلغ إجمالي المدى الدينامي الناتج 130 dB. ولتقليل من وقت القياس إلى أدنى حد، يمكن التحكم بواسطة حاسوب في هذا الموهن وفي ما يلزم من حوارزمية قياس الترددات المتدرجة على خطوات.

والعنصر التالي في المدخل هو منتق أولي لمرشاح تمرير نطاق قابل للتوليف وهو ضروري إذا ما دعت الحاجة إلى قياس مستويات البث الهامشي منخفض القدرة في ترددات تجاور بئاً أساسياً ذا مستوى أعلى بكثير (ومثالها 130 dB دون مستوى البث الأساسي). فعلى سبيل المثال، قد تقتضي الضرورة قياس بث هامشي من رادار مراقبة الحركة الجوية عند التردد 2 900 MHz وبمستوى -120 dBm في دارات القياس، في حين يبلغ مستوى البث الأساسي +10 dBm ولا يبعد إلا 150 MHz ترددياً (عند التردد 2 750 MHz). فيتطلب نظام القياس مضخماً منخفض الضوضاء (LNA) غير موهن لقياس البث الهامشي عند التردد 2 900 MHz، ولكن ذلك سيؤدي إلى الإفراط في حمولة المضخم (وبالتالي التسبب بضغط الكسب) إذا تعرض لبث أساسي غير موهن عند التردد 2 750 MHz. لذلك، يلزم توهين مرتبط بالتردد في المدخل. بموضع يسبق دخل المضخم منخفض الضوضاء. وفي الممارسة العملية، يستفاد من فعالية تكنولوجيا المكثف فلطي التغير (varactor) (تحت التردد 500 MHz) وتكنولوجيا YIG (فوق التردد 500 MHz) في توفير هذا الاصطفاء الممر لنطاق القابل للتوليف. ويمكن شراء المراشاح المطبقة تجارياً، وينبغي تصميمها لتتبع التردد المولف لنظام القياس تلقائياً.

والعنصر الأخير في المدخل المهيأ للترددات الراديوية هو المضخم منخفض الضوضاء (LNA) المركب بوصفه العنصر التالي في مسير الإشارة بعد المنتقي الأولي. وتوفر خاصية الدخل منخفض الضوضاء لهذا المضخم حساسية عالية لبث الرادار الهامشي منخفض الاتساع. ويحدد كسب هذا المضخم عامل الضوضاء لسائر نظام القياس (مثل طول خط الإرسال ومحلل الطيف).

أما اعتبارات الحساسية والمدى الدينامي لنظام القياس فضلاً عن عوامل ضوضاء محلل الطيف، فهي نفسها كما جاء في الفقرة 1.2.6.

والخيار الآخر لتشكيلة المضخمات منخفضة الضوضاء (LNA) هو خيار توصل فيه هذه المضخمات على التسلسل. فيوضع أول مضخم منها بين مرحلتين ضمن مرشاح YIG أو مرشاح تمرير نطاق بالمكثف فلطي التغير وبمنتق أولي. وينخفض عامل ضوضاء هذا المضخم وإن كان كسبه كافياً ليعوض فاقد الإدراج في المرحلة الثانية من مرشاح YIG. ويوضع مضخم ثانٍ منخفض الضوضاء (ربما أقل أداءً) بعد مرشاح YIG مباشرة. وسوف يوفر هذا الخيار انخفاضاً إلى حد ما في عامل ضوضاء إجمالي النظام، لأن المضخم الأول يحسب حساب المرحلة الثانية من مرشاح YIG. بيد أن هذا الخيار يمكن أن يتطلب تصميمات وتعديلات هندسية لمرشاح المنتقي الأولي أكثر مما قد تعتبره إدارة ما عملياً.

والخيار الثالث لتشكيلة المضخمات منخفضة الضوضاء (LNA) الذي لا يتطلب أي إعادة تصميم أو إعادة تهيئة لمرشاح المنتقي الأولي في المدخل يتمثل في وضع مضخم منخفض الضوضاء ذي كسب أدنى في المدخل ومضخم ثانٍ منخفض الضوضاء في دخل إشارة محلل الطيف. فيُختار المضخم الأول بعامل ضوضاء متدن جداً وبكسب يكفي بالكاد ليعوض فاقد الخط المهيأ للترددات الراديوية وعامل ضوضاء المضخم منخفض الضوضاء في محلل الطيف. وبدوره يُختار المضخم منخفض الضوضاء في محلل الطيف بخاصية كسب تكفي بالكاد للتعويض عن عامل ضوضاء محلل الطيف في المدى الترددي المناسب للقياس الراداري. ولعل الحصول على هذه المجموعة من المضخمين منخفضي الضوضاء المتسلسلين أسهل من الإتيان بمضخم واحد منخفض الضوضاء وعالي الأداء. وعادةً ما تكون هذه المجموعة أقل عرضة للحمولة الزائدة حيث يُتوقع فيها مستوى أعلى من نقاط الضغط المساوية 1 dB مما عليه الحال في المضخمات منخفضة الضوضاء الفردية عالية الأداء.

ويُتوقع أن يكون سائر نظام القياس المهيأ للترددات الراديوية، في الأساس، محلل طيف متوفر تجارياً. ويمكن استخدام أي محلل طيف يستطيع استقبال إشارات عبر المدى الترددي في دائرة الاهتمام ويمكن التحكم فيه حاسوبياً لتنفيذ حوارزمية الترددات المتدرجة على خطوات. وكما ذكر أعلاه، يجب التعويض عن عامل الضوضاء العالي لمحللات الطيف المتوفرة حالياً بتضخيم أولي منخفض الضوضاء إذا كان للقياس أن يحقق الحساسية اللازمة لرصد معظم البث الهامشي.

ويمكن التحكم في نظام القياس بواسطة أي حاسوب بسطح بيبي ناقل (من النوع المعد للأغراض العامة (GPIB) أو ما يعادله) ومتوافق مع وحدة التحكم في الحاسوب وبطاقة (أو بطاقات) السطح البيبي قيد الاستخدام. ومن حيث الذاكرة والسرعة، تُعتبر الحواسيب الشخصية الحديثة وافيةً تماماً بالغرض. ويجب تنفيذ خوارزمية القياس (التي تشمل التدرج الترددي على خطوات في محملات الطيف والمنتقي الأولي والتحكم في الموهن المتغير للمدخل) برمجياً. وقد تقترب بعض البرمجيات المتوفرة تجارياً من سد هذه الحاجة، ولكن يرحح أن تحتاج منظمة القياس لأن تكتب برمجيات القياس الخاصة بها جزئياً على الأقل. وإذا يتطلب وضع البرمجيات إنفاقاً لا بأس به من حيث الموارد، فقد أظهرت الخبرة العملية مع هذه الأنظمة أن مثل هذا الاستثمار مجزٍ في حال إجراء قياسات لبث الرادار على أساس متواتر ومتكرر.

ويمكن تسجيل البيانات على القرص الصلب للحاسوب أو على قرص يمكن سحبه. وفي الحالة المثالية، يؤخذ سجل البيانات لكل 100-200 خطوة قياس، لإبقاء حجم ملفات البيانات في إطار يسمح بإدارتها وللحيلولة دون فقدان كمية زائدة من البيانات في حال تعطل حاسوب نظام القياس أو مكونات أخرى فيه خلال القياس.

3.6 معايرة نظام القياس

1.3.6 الطريقة المباشرة اليدوية

تتطلب الطريقة المباشرة اليدوية معايرة إما جميع مكونات القياس كل على حدة أو مجموعة القياس كلها مع بمولد معايير (طريقة الاستعاضة).

2.3.6 الطريقة المباشرة التلقائية

يُعاير نظام القياس عن طريق فصل الهوائي عن سائر النظام وربط ثنائي الضوضاء بالخط المهيأ للترددات الراديوية في تلك النقطة. وينبغي لنسبة فائض الضوضاء (ENR) (حيث $ENR = \text{الحرارة الفعالة (K)}$) لثنائي الضوضاء درجة الحرارة المحيطة (K)) بمقدار 25 dB أن تكون أكثر من كافية لإجراء المعايرة مرضية، على افتراض أن عامل ضوضاء مجمل النظام يقل عن 20 dB. والتقنية هي قياس عامل Y المعياري كما هو موضح في التذييل 2 للملحق 1، مع مقارنة قياسات القدرة على امتداد الطيف، مرةً بتشغيل ثنائي الضوضاء ومرةً بإبطاله.

وتُسفر معايرة ثنائي الضوضاء عن جدول لقيم عامل الضوضاء وتصحيحات الكسب لكامل المدى الطيفي المزمع قياسه. ويمكن تخزين تصحيحات الكسب في جدول مرجع ويصار إلى تطبيقها على البيانات المقيسة حالما يتم جمعها. ويصف التذييل 2 للملحق 1 إجراء المعايرة بتفصيل أكبر.

ولا يعاير هوائي القياس في الميدان. وتُطبَّق عوامل التصحيح للهوائي (إن وجدت) خلال التحليل بعد القياس.

4.6 إجراء القياس

1.4.6 الطريقة اليدوية

يصف التذييل 1 للملحق 1 الطريقة اليدوية بالتفصيل، وتعرض هذه الفقرة ملخصاً للطريقة.

وقبل القياس، يُستخدم محلل الطيف للكشف عن وجود إشارات لا يبثها الرادار فإذا كان هناك بث يفسد القياس، يجب استخدام المراشيع المناسبة.

وظيفة حفظ الذروة

تردد مركز محلل الطيف أذن تردد يتعين قياسه (على سبيل المثال إذا كان تردد مركز الرادار 3 050 MHz، ويتراوح الطيف المزمع قياس بين 2 و 6 GHz، يكون تردد المركز الابتدائي لمحلل الطيف 2 GHz).

امتداد تردد محلل الطيف = 10 أو 20 أو 50 أو 100 أو 500 MHz.

زمن كنس محلل الطيف > زمن كنس تلقائي

الزمن <

تسجيل الإشارة خلال مدة لا تقل عن الفواصل زمنية لثلاث دورات لحزمة الرادار. (على سبيل المثال إذا دار الرادار بسرعة 40 r.p.m أو 1,5 ثانية في الدورة، ينبغي أن تكون المدة $3 \times 1,5$ ثانية، وتعتبر مدة 4,5 s اختياراً معقولاً). وتسجيل الإشارة لفترة كافية ليتشكل لطيف. ويمكن إبقاء هوائي الرادار ساكناً وموجهاً بالاتجاه الذي يوفر الاستجابة القصوى لنظام القياس.

الملاحظة 1 - ينبغي التحقق من إعدادي زمن الكنس ومدة تسجيل الإشارة في محلل الطيف.

فتؤخذ نقطة القياس الثانية بتوليف نظام القياس على النطاق الترددي التالي المزمع قياسه. ويساوي هذا التردد في الحالة المثلى النطاق الترددي الأول المقيس زائداً الامتداد المقيس.

في الحالة التي يكون فيها جهاز القياس مستقبلاً انتقائياً، يجري القياس نقطة بنقطة وفقاً لعرض النطاق الموصى به.

2.4.6 الطريقة التلقائية

يصف التذييل 1 للملحق 1 الطريقة التلقائية بالتفصيل، وتعرض هذه الفقرة ملخصاً للطريقة. وعلاوة على العلامات المدرجة في الفقرة 2، ينبغي إعداد محلل الطيف على النحو التالي:

تردد مركز محلل الطيف = أدنى تردد يتعين قياسه (على سبيل المثال إذا كان تردد مركز الرادار 3 050 MHz، ويتراوح الطيف المزمع قياس بين 2 و 6 GHz، يكون تردد المركز الابتدائي لمحلل الطيف 2 GHz).

امتداد تردد محلل الطيف = 0 Hz (يُشغّل المحلل كجهاز في ميدان الزمن).

الفاصل الزمني لدورة حزمة رادار (على سبيل المثال إذا دار الرادار بسرعة 40 r.p.m أو 1,5 ثانية في الدورة، ينبغي أن يكون زمن الخطوة < 1,5 s، وتعتبر مدة 2 s اختياراً معقولاً). وفي الرادارات المرنة ترددياً أو الرادارات ذات حزم المسح الرأسي في هوائها، يمكن أن تتعدد لزمن الخطوة أدوار دوران الهوائي. وفي أنظمة الرادار الأكثر تعقيداً هذه، ينبغي تحديد زمن الخطوة تجريبياً.

وإذ تقوم حزمة هوائي الرادار بالمسح بشكل طبيعي، ويتم إعداد نظام القياس على النحو الموضح أعلاه، تُجمع نقطة البيانات الأولى. وتتألف نقطة البيانات من زوج من الأرقام: مستوى القدرة المقيس والتردد الذي تم قياس مستوى القدرة فيه. فعلى سبيل المثال، قد يكون نقطة البيانات الأولى للقياس أعلاه -93 dBm عند التردد 2 000 MHz. وتُجمع نقطة البيانات بمراقبة بث الرادار عند التردد الرغوب بامتداد ترددي قدره 0 Hz لفاصل زمني (زمن الخطوة) أطول قليلاً من دور دوران هوائي الرادار، أو لزمن خطوة أطول في أنظمة الرادار المعقدة. وسيُعرض هذا العرض الزمني لدوران حزمة هوائي الرادار على شاشة محلل الطيف. وتمثل أعلى نقطة مرسومة على الشاشة عادةً القدرة المستقبلية عند توجيه حزمة الرادار في اتجاه نظام القياس. وتُستخرج قيمة القصوى لتلك القدرة المستقبلية (عادة عن طريق حاسوب تحكم، رغم إمكانية كتابتها يدوياً)، وتُصحح وفقاً لكسب نظام القياس، وتسجّل (عادة في ملف بيانات على قرص مغنطيسي).

وتؤخذ نقطة القياس الثانية بتوليف نظام القياس على التردد القادم المزمع قياسه. ويساوي هذا التردد في الحالة المثلى التردد الأول المقيس زائداً عرض نطاق القياس (على سبيل المثال إذا جرى القياس الأول في تردد قدره 2 000 MHz وكان عرض نطاق القياس 1 MHz، يكون التردد الثاني المقيس 2 001 MHz). وفي هذا التردد الثاني، يتكرر الإجراء فتقاس القدرة

القصوى المستقبلية خلال الفاصل الزمني لدوران حزمة الرادار، وتُصحح وفقاً لكسب نظام القياس، وتسجل نقطة البيانات الناتجة عن ذلك.

ويتواصل هذا الإجراء الذي يتكون من التدرج على خطوات (بدلاً من الكنس) عبر الطيف حتى يقاس كل طيف البث المرغوب. وتتألف عملية التدرج على خطوات من سلسلة من قياسات الاتساع الفردية الجارية بترددات (ثابتة مولفة) محددة مسبقاً عبر نطاق الطيف في دائرة الاهتمام. ويساوي تغير التردد بين الخطوات في الحالة المثلى عرض نطاق التردد المتوسط (IF) لنظام القياس. فعلى سبيل المثال، تستخدم القياسات عبر 200 MHz من الطيف 200 بفاصل خطوة قدره 1 MHz ونطاق تردد متوسط بعرض 1 MHz. ويمكن جعل فاصل الخطوة أعرض في ميدان البث الهامشي للإسراع في مجمل القياس. ولكن في الترددات التي تشكل مضاعفات صحيحة (مثل 2 و 3 و 4) للبث الراداري الأساسي، ينبغي تارةً أخرى أن يكون فاصل الخطوة الأقصى مساوياً تقريباً لعرض نطاق التردد المتوسط (IF) لنظام القياس.

ويظل نظام القياس مولفاً على كل تردد خلال فاصل زمني محدد للقياس يدعى زمن الخطوة أو التريث (dwell). ويحدد مشغل نظام القياس تريث كل خطوة، وعادة ما يكون أطول قليلاً من فاصل مسح حزمة الرادار.

ويُستحسن التحكم الحاسوبي في نظام القياس إن كان لهذه العملية (الخطوة والتوليف والقياس والتصحيح وفق الكسب والتكرار) أن تؤدي بكفاءة ودقة. وكما تقاس ذروة البث الأساسي قياساً صحيحاً، قد يلزم في هذا المجال استخدام فاصل خطوة أصغر بحدود نصف عرض نطاق القياس أو أقل.

وتلزم تقنية الزمن المتدرج على خطوات لتمكين إدخال توهين في الترددات الراديوية في مدخل نظام القياس عندما تدنو الترددات من تردد المركز (وأي ذرى أخرى) في طيف الرادار. وهذه القدرة على إضافة التوهين على أساس انتقائي ترددياً تمكن من توسيع المدى الدينامي المتاح للقياس بمقدار يصل إلى 130 dB تقريباً، إذا استخدم موهن 0-70 dB مهياً للترددات الراديوية في نظام قياس مداه الدينامي الآني 60 dB. ويعود ذلك بفائدة كبيرة في تحديد البث الهامشي منخفض القدرة نسبياً. ولتحقيق الأثر نفسه في القياس القائم على الكنس الترددي، يمكن إدراج مرشاح قطع في تردد المركز في الرادار، ولكن لا سبيل عملياً لإدراج مرشاح قطع في جميع ذرى الاتساع العالي الأخرى التي قد تحدث في الطيف.

ومن المهم توفير اصطفاء تمرير نطاق في مدخل نظام القياس على نحو يفي بالغرض، كي لا تؤثر مكونات الإشارة القوية خارج التردد على قياس المكونات الهامشية منخفضة القدرة.

ويمكن تنفيذ هذه القياسات دون مسح حزمة الرادار في الفضاء، وذلك حصراً إذا ما أمكن التحقق من أن اتجاه حزمة الرادار بالنسبة إلى المحور الميكانيكي لا يتغير عبر المدى الترددي للقياس.

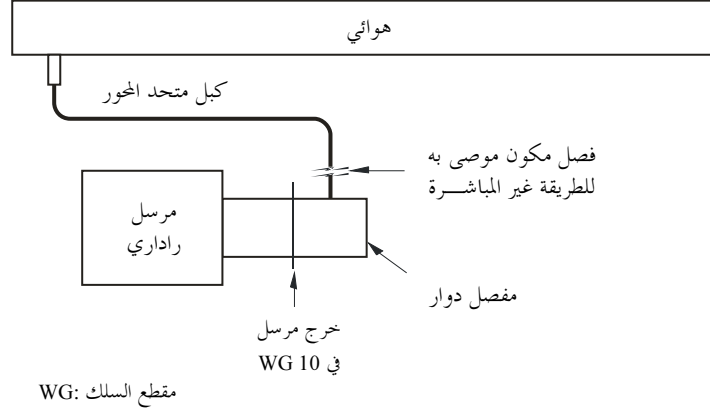
3.4.6 الطريقة غير المباشرة

يبين الشكل 5 فصل مكون موصى به للطريقة غير المباشرة. وفي هذه الطريقة حيث يقاس البث غير المطلوب كمفصل دوار ثم يُجمع مع خصائص هوائي تقاس على حدة على مسافات تبلغ 5 أمتار و30 متراً مع تصحيح مناسب للميدان البعيد ويكون الإجراء كما يلي:

الخطوة 1: إجراء قياسات لبث مرسل راداري عند (Ro-Jo) مع مغذٍ (كما يبين ذلك في الشكل 6).

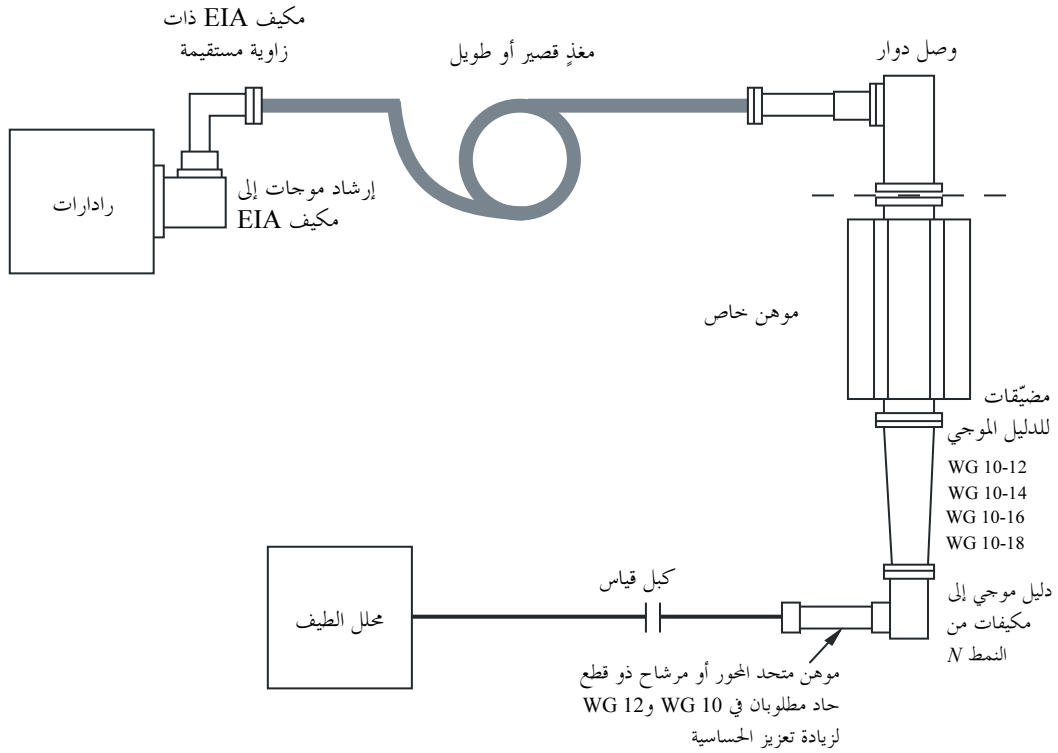
الخطوة 2: ثم تجرى قياسات منفصلة للكسب الأقصى للهوائي الراداري عند ترددات البث الموجودة في الخطوة 1. وتجري القياسات على مسافة 5 أمتار للترددات التي تكون أقل من 5 GHz و30 متراً للترددات التي تفوق 5 GHz (كما يبين ذلك في الشكل 7).

الشكل 5
نظام رادار نمطي



M.1177-05

الشكل 6
قياس لدى منفذ وصلة دوار



جميعات صناعة الإلكترونيات: EIA

M.1177-06

الخطوة 3: تصحيح الكسوب المقيسة مع عامل تصحيح ملائم (باستخدام برمجية أو نموذج لأداء هوائي معروف. وفي أبسط الحالات، قد يتسنى استخدام البرمجية الواردة في التذييل 4 للملحق 1 للترددات التي يُرصد عندها البث المذكور في الخطوة 1).
الخطوة 4: وأخيراً يتم تجميع الخطوتين 1 و3 للحصول على إشعاع القدرة e.i.r.p. غير المباشر عند ترددات البث غير المطلوب المرصود.

1.3.4.6 طرائق القياس والمشاكل المصاحبة للدليل الموجي

ثمة مشكلتان لقياس طيف قدرة خرج المرسل. المشكلة الأولى تتمثل في تقييم مكونات التردد الأعلى للطيف المرسل دون أن يكون هناك تشوه؛ والمشكلة الثانية تتمثل في قياس البث المنخفض جداً بوجود نبض الإرسال الأساسي الذي ربما تصل ذروة قدرته إلى 60 kW.

يمكن أن يقاس في أي دليل موجي أسلوب الانتشار TE_{10} باستخدام نظام قياس معايير. وتكون خاصية هذا النظام بشكل توهين فيه الإشارة الأساسية القوية على نحو كافٍ من أجل حماية معدات القياس مع إنتاج توهين مهمل على الترددات الأخرى وتقاس الطاقة بالأسلوب TE_{10} .

وينبغي أن يكون معلوماً أن بث الترددات الهامشي لخرج المرسل يمكن أن يتم بأساليب المرتبة الأعلى، وينبغي النظر في هذا الاحتمال لدى إعداد نظام القياس. غير أن ذلك نادراً ما يكون ذا شأن في الرادارات البسيطة، لأن أساليب المرتبة الأعلى هذه تنحصر عموماً في المكيف من الدليل الموجي إلى الكبل متحد المحور أو في مغذي الهوائي والمفصل الدوار (Ro-Jo) للهوائي الراداري (أي أن المكيفات من الدليل الموجي إلى الكبل متحد المحور تصمم فقط من أجل نقل القدرة في الأسلوب TE_{10}).

2.3.4.6 نظام القياس لقياس الإرسالات غير المطلوبة في الدليل الموجي

إن نظام القياس يتيح قياس السويات المنخفضة من البث على نحو دقيق بوجود نبضات رادارية عالية القدرة.

وتكون المكونات الأساسية للنظام مرشاح قطع ومجموعة من المضيقات للدليل الموجي من مقاس WG 10 إلى مقاسات أصغر للدليل الموجي من أجل تغطية كامل مدى التردد في دائرة الاهتمام. ويتكون مرشاح القطع من دليل موجي مستقيم مقاسه WG 10 مع عناصر ماصة داخله مما يوهن الإشارة الأساسية فيما يقدم توهيناً مهماً عند ترددات أخرى. ومن أجل تحقيق التوهين المطلوب لحماية معدات القياس ومن أجل قياس البث عند الترددات الأعلى تستخدم مضيقات خطية عند خرج مرشاح القطع.

إن مضيق الدليل الموجي هو مرشاح عالي التمير وهو بالتالي ينبذ إشارات تحت تردد القطع بردها منعكسةً على أعقابها. وفي حال استعمل مضيق مباشرة عند منفذ خرج لمرسل راداري، لكانت الإشارة الأساسية عكست على أعقابها إلى داخل المرسل مما يتسبب بفقدان التلاؤم على نحو غير مستحب. ولكن إذا كان المضيق بعد مرشاح القطع، تُمتص الإشارات المعكوسة مرة ثانية. وبالتالي تكون خسارة الرجوع عند التردد الأساسي نمطياً 34 dB وهو ما يكون منخفضاً على نحو كافٍ لتفادي تخالف بتردد المغنطرون.

وترسل الترددات التي تكون فوق القطع عبر أطوار الانتقال وفي معدات القياس. وإذا أمكن ينبغي أن يتم تضمين قسم قصير من الدليل الموجي من أجل تفادي اقتران الأساليب العابرة بين المضيق والدليل الموجي لانتقال متحد المحور.

3.3.4.6 نتائج القياس عند مدخل المفصل الدوار

إن تقنية القياس تتضمن بحثاً استكشافياً لنطاق التردد المعني من أجل تحديد موقع البث الهامشي ذي الشأن بواسطة التردد ووسمه. وتتبع ذلك مراجعة لكل بث ملحوظ ليخضع لقياس مفصل ودقيق للاتساع الأقصى لهذا البث.

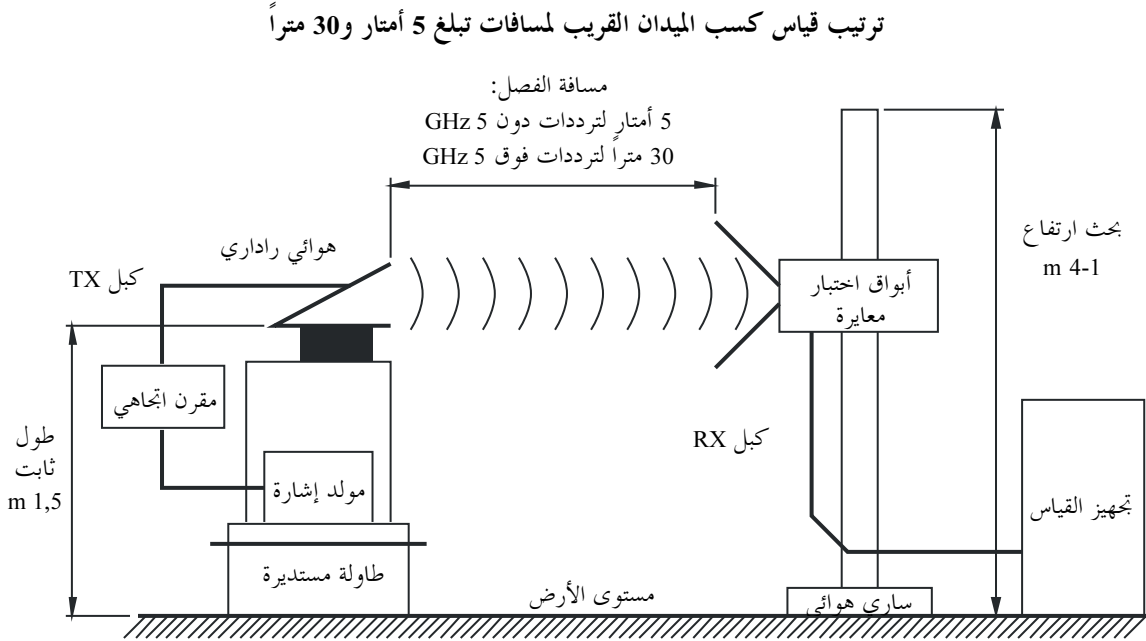
4.3.4.6 الشك في القياسات في الدليل الموجي

يتمتع النظام بدقة قياس تبلغ $\pm 1,3$ dB عبر نطاق التردد من 2 إلى 18,4 GHz في منفذ الدليل الموجي. ويمكن أن يحسب مجموع الشكوك مع سوية الثقة لا تقل عن 95% بأنه $\pm 3,4$ dB من أجل منفذ الدليل الموجي بما في ذلك محلل الطيف.

5.3.4.6 قياس خاصية كسب الهوائي عند ترددات البث المقيسة

إن الطريقة غير المباشرة توصي بأن تجرى قياسات الميدان القريب على هوائي في موقع اختبار في مجال مفتوح (OATS) على مسافة تبلغ 5 أمتار للتردد دون 5 GHz و 30 متراً للترددات فوق 5 GHz. وتطبق عوامل التصحيح عندها لتصحيح القياس إلى ما يعادله من كسب الميدان البعيد بحيث يوفر علاقة مترابطة مقبولة مع كسب الميدان البعيد. ويبين ترتيب قياس نمطي في الشكل 7.

الشكل 7



M.1177-07

6.3.4.6 إجراء قياس كسب الميدان القريب على مسافتي 5 أمتار و 30 متراً

يتعين تنفيذ قياس الكسب الأقصى للهوائي تحت الاختبار (AUT) عند ترددات هامشية وخارج النطاق أو المعرفة باستخدام الطريقة المحددة في الفقرة الفرعية 6.3.4. وعند كل تردد بث مقيس أو معرف يتعين تعظيم كسب الهوائي إلى الدرجة القصوى بتدويره أولاً عبر 360° ثم يتواصل تعظيم الكسب إلى الدرجة القصوى عن طريق تحريك بوق الاختبار نحو الأعلى أو الأسفل. ويتم الحصول على كسب الهوائي AUT عن طريق قياس القدرة e.i.r.p. في كل مسافة ذات سوية معروفة من القدرة في الهوائي AUT عند كل تردد معيّن. وتبين المعادلتان (1) و(2) تفاصيل عن الحسابات للوصول إلى كسب الميدان البعيد المكافئ G_a من أجل الهوائي AUT من سوية محلل الطيف المقيسة، S .

$$(1) \quad G_a \text{ de la antena sometida a prueba (dBi)} = \text{p.i.r.e. medida (dBm)} - P_{\text{entrada}} \text{ (dBm)} + G_c \text{ (dB)}$$

$$(2) \quad \text{p.i.r.e. medida (dBm)} = S \text{ (dBm)} + 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ (dB)} - G_r \text{ (dBi)}$$

حيث:

G_a : كسب الميدان البعيد المكافئ من أجل الهوائي AUT (dBi)

P_{input} : دخل القدرة في الهوائي AUT (dB)

G_c : عوامل تصحيح الكسب على مسافتي 5 أمتار و 30 متراً التي يمكن حسابها من أجل الهوائي AUT باستخدام برمجيات محددة في التذييل 1

S : السوية المقيسة لمحلل الطيف (dBm)

G_r : كسب بوق الاختبار لهوائي الاستقبال (dBi)

d : مسافة القياس (m)

λ : طول موجة التردد المعني (m).

7.3.4.6 تصحيح الكسب وعوامل التخفيض

إن البرمجية الواردة في التذييل 4 للملحق 1 تعطي عوامل تصحيح الميدان البعيد من قياس الميدان القريب في حالة بسيطة جداً. ويشتمل البرنامج عامل التصحيح من أجل كل مسافة عند التردد المعني بأخذ التغيرات الطورية في الاعتبار للموجة المستقبلية عبر الهوائي الخطي. (عند المسافات القريبة تكون جبهة الموجة كروية وليس خطية). لذلك يمكن أن يُستعمل من أجل حساب الكسب الأقصى للهوائي على مسافة غير متناهية من قياس الميدان القريب.

ولا بد من التذكير بأنه لم يتم التطرق إلى مخطط كسب الهوائي ويجب الإشارة إلى أنه عند الترددات الهامشية يكون الطول الكهربائي للهوائي مختلفاً عن الطول الميكانيكي وقد يكون أقصر بكثير. وذلك يعود إلى مخطط الإشعاع المختلف لطول الهوائي عند ترددات غير التردد المعين. ومن ثم، قد يلزم نموذج برمجيات أكثر تعقيداً أو بيانات مشتقة باستخدام الطريقة المباشرة للتوصل إلى نتائج دقيقة في مثل هذه الحالات.

8.3.4.6 شك قياس كسب الميدان القريب عند تطبيق عوامل تصحيح

يمكن حساب شك قياس أسوأ حالة بقيمة ± 6 dB التي تتضمن شكوكاً تنشأ عن محلل الطيف وكسب بوق الاختبار وفاقداً الكبل وأوجه القصور في الموارد والموقع. ويمكن حساب مجموع الشكوك بسوية ثقة لا تقل عن 95% بقيمة $\pm 4,2$ dB. وإن اشتقاق عوامل التصحيح لهذه المسافات يفترض أن تكون الفتحة المشعة للهوائي AUT ثابتة في كل الترددات.

9.3.4.6 إنتاج طيف بث مرسل راداري لقدرة e.i.r.p. عن طريق جمع البث المقيس وخصائص كسب الهوائي

إن التقنية المستخدمة من أجل الحصول على قيمة قصوى للقدرة e.i.r.p. شاملة الاتجاهات تقوم على زيادة القدرة القصوى التي يولدها المرسل الراداري (dBm) إلى الكسب الاتجاهي الأقصى (dBi) من الهوائي AUT لكل تردد بث ، مما يعني أنه يجب أن تميز قيمة واحدة فقط للهوائي AUT على الترددات التي رصد عندها بث المرسل الراداري.

وإن آثار عدم تلاؤم الهوائي AUT تعتبر مأخوذة في الاعتبار تلقائياً لدى إجراء قياسات الكسب لأن معدات الاختبار تلائم 50Ω وهي قيمة المعاوقة الاسمية للموصلات متحدة المحور ويقاس البث في مستقبل قياس معاوقته 50Ω .

10.3.4.6 ملخص

إن الطريقة غير المباشرة المحزبة من حيث التكاليف على صعيد الوقت والمرافق حساسة بما فيه الكفاية لإتاحة قياس قيم البث منخفض السوية بدقة وتكرارية معقولتين. إضافة إلى ذلك يمكن أن تستعمل في كل الظروف المناخية وبهذه الطريقة غير المباشرة يمكن تمديد قياس مدى التردد بسهولة إلى 40 GHz أو أكثر. كما يمكن الاستفادة من استخدامها لتقييم التغيرات الترايدية في نظام رادار معين سبق قياسه.

التذييل 1

للملحق 1

الوصف التفصيلي لإجراءات وبرمجيات الطريقة المباشرة

تفترض الطريقة المباشرة إمكانية استيفاء الشروط التالية:

- إمكانية نفاذ نظام القياس الموصوف في متن هذا الملحق إلى منطقة إشعاع الميدان البعيد؛
 - إمكانية الإقلال من مرور الإشارات الرادارية غير المطلوبة عبر عتاد نظام القياس (أي بتجاوز هوائي نظام القياس) إلى مستوى متدن بما يكفي لضمان دقة نتائج القياس.
- ولا تتطلب الطريقة المباشرة تنسيق تشغيل الرادار مع نظام القياس، وإن كان التشغيل التعاوني في بعض الحالات مفيداً في الإسراع في القياس.

وتجري عملية الطريقة المباشرة على النحو التالي:

الخطوة 1: تحديد موقع قياس

ينبغي أن يقع مكان القياس داخل حزمة إشعاع الرادار الرئيسية أو أقرب ما يمكن منها. وقد يسهل الأمر نسبياً في رادارات البحث الأرضي وبعض أنواع الرادارات الأخرى حيث تكس حزمة الرادار عبر سطح الأرض، ولا يلزم نظام القياس إلا أن يتوضع في تلك المنطقة. ولكن في العديد من رادارات البحث الجوي، لا تضيء الحزمة الرئيسية الأرض مباشرة. ولهذه الرادارات، ينبغي أن يقع نظام القياس داخل منطقة الاقتران الأقصى على سطح الأرض. ويمكن تحديد هذه المنطقة عن طريق توليف نظام القياس على التردد الأساسي للرادار ثم تحريك نظام القياس في سيارة من موقع قريب من الرادار إلى موقع بعيد عنه (بحدود بضعة كيلومترات). ويُستخدم نظام القياس لمراقبة مستوى الإشارة المستقبلة كدالة للموقع. ويمكن القيام بذلك عن طريق تشغيل محلل الطيف بامتداد ترددي صفري وبزمن كنس قدره 500 s، والنظر إلى مستوى الذروة كل بضعة ثوان عندما يكنس الرادار فوق السيارة. والنتيجة هي عرض زمني يبين موقع (أو مواقع) الاقتران الأقصى.

وينبغي أن يكون أي مكان داخل منطقة الاقتران الأقصى وافياً بالغرض. وفي الممارسة العملية، تبين أن مشارف هذه المنطقة ليست أقرب من نحو 0,75 km عن رادارات البحث الجوي، ولا تمتد لأبعد من 2 km من هذه الرادارات. ولا توجد عادةً نقطة محددة تحديداً حاداً يحدث فيها الاقتران الأقصى، وإنما هي منطقة واسعة ضمن هذه الحدود.

وينبغي النظر في مسألة تعدد المسيرات. وقد لوحظت آثارها في حالات نادرة جداً. وعند رصدها، كان حالات انفصل فيها الرادار ونظام القياس بمسطحات مائية هادئة وملساء. أما في الحالات الأخرى، فإن عدم انتظام التضاريس فيما بينهما واستخدام نظام القياس لهوائيات عاكسة مكافئية قللاً من آثار تعدد المسيرات لدرجة تجعلها لا تذكر. ويمكن التحقق من هذه الآثار بتكرار قياس الرادار في موقع ثانٍ ومقارنة النتائج من موقعي القياس. ويعتقد أيضاً أن تعدد المسيرات يتضاءل إلى أدنى حد من خلال رفع هوائي القياس على صاٍرٍ إلى ارتفاع يقارب 10 m فوق سطح الأرض. وهذا يوفر أيضاً خط بصر أفضل بين الرادار ونظام القياس.

الخطوة 2: إعداد نظام القياس والتفتيش عن الإشارات العابرة غير المطلوبة

يشكّل نظام القياس بهوائي عاكس مكافئي في أعلى صاٍرٍ ارتفاعه 10 m (اختياري)، أو على ارتفاع بضعة أمتار على الأقل فوق الأرض لتجنب آثار تعدد المسيرات وتوفير انتشار معقول على خط البصر. وينبغي توليف نظام القياس على التردد الأساسي للرادار أو على تردد البث الأقصى، إذا كان يعمل بالتردد أو بالتردد الترددي.

ومن الضروري للتحقق من التغذية العابرة غير المطلوبة (أي الاستقبال غير المطلوب في معدات القياس لطاقة الرادار المتجاوزة هوائي القياس). ويُتحقق من التغذية العابرة بفصل هوائي القياس ووصل خط الدخل بحمولة 50 Ω. فإن وُجدت التغذية العابرة، يُمكن اللجوء للخيارات التالية:

- التحقق لضمان كتامة رفوف معدات القياس (إن وجدت)؛
 - التحقق من التوضيب المحكم للوصلات؛
 - تحريك نظام قياس الرادار إلى موقع بديل تُحجَّب فيه معدات القياس من الرادار بمبان أو غطاء نباتي ويُرفع فيه الهوائي فوق هذه العوائق على صارٍ تلسكوبي؛
 - تحريك نظام قياس الرادار لمسافة أبعد عن الرادار.
- وينبغي لنظام حسن التصميم أن يقلل إلى أدنى حد من التغذية العابرة غير المطلوبة.

الخطوة 3: تحديد معالم بث الرادار

أهم المعالم التي يتعين تحديدها قبل الشروع بالقياس هي الفاصل الزمني لمسح الحزمة وعرض النطاق الفعال للبث. ويتم الحصول على الفاصل الزمني لمسح الحزمة وغيره من الخصائص بتوليف محلل الطيف في أسلوب الامتداد الصفري وبفاصل زمني للكس مدته بضع ثوان، ثم بمراقبة مسح حزمة الرادار.

ويُنجز تحديد عرض نطاق البث على النحو الموصوف في المتن الرئيسي لهذا الملحق بالتوليف على التردد الأساسي للرادار في أسلوب الامتداد الصفري وبإسناد أوسع القيم المتاحة لعرضي نطاق التردد المتوسط (IF) والفيديو في البداية. ثم يُخفض عرض نطاق التردد المتوسط في كل مرة تتأرجح فيها حزمة الرادار عابرةً نظام القياس، ويُلاحظ عرض النطاق الذي يهبط عنده مستوى القدرة المستقبلية. وذلك هو أعرض عرض نطاق قياس يقل عن عرض نطاق بث الرادار. وسيكون ذلك عرض نطاق القياس المستخدم ما لم تقتض ظروف خلاف ذلك، كالحاجة لرصد الرادار في عرض نطاق استقبال معين.

وينبغي تسجيل معالم أخرى لبث الرادار وهي: معدل تكرار النبضة وارتعاش النبضة (إن وجد) وتخالف النبضة (إن وجد) وعرض النبضة. ويمكن قياس أول ثلاث من هذه المعالم على راسم تذبذب موصول بالخرج الفيديوي لمحلل الطيف. وينبغي قياس عرض نبضة التردد الراديوي (نقاط جهد 50%) وزمن الصعود (نقاط جهد 10-90%) بمقياس ذروة القدرة أو بما يناسب من ثنائي مساري كاشف عريض النطاق مهياً للترددات الراديوية يعملان في منطقة قانون التربيع. وينبغي مواءمتهما مع راسم تذبذب ذي عرض نطاق كاف ليتمكن من إظهار شكل الموجة النبضية دون التشوه الذي يصاحب محدودية عرض نطاق الكاشف.

الخطوة 4: معايرة نظام القياس

الطريقة المباشرة المتحكم فيها يدوياً:

- تتطلب الطريقة المتحكم فيها يدوياً معايرة كل مكونات القياس على حدة أو معايرة مجموعة القياس كلها.
- الطريقة المباشرة المتحكم فيها تلقائياً:
- انظر التذييل 2 للملحق 1. يوصى بمعايرة ثنائي مساري الضوضاء، رغم إمكانية استخدام طرائق بديلة تستعمل مولدات إشارة.

الخطوة 5: تشكيل برمجيات نظام القياس (الطريقة التلقائية فقط)

يجب أن يشمل تشكيل برمجيات القياس ما يُرغب من تردد البدء (MHz) وتردد التوقف (MHz) ومقاس الخطوة (MHz) عرض نطاق التردد المتوسط (MHz) وعرض النطاق الفيديوي (≤ عرض نطاق التردد المتوسط (IF)) وكاشف (الذروة

الموجبة) والمستوى المرجعي لمحلل الطيف (عادة 10 dBm) والتوهين الأولي في تردد البدء (عادة 0 dB) وبيانات إضافية عن الموقع (مثل اسم الرادار واسم مشروع لقياس، وما إلى ذلك).

الخطوة 6: التحقق من الخطية خلال القياس

من الأهمية بمكان الحفاظ على سلامة القياس عن طريق التحقق من الخطية خلال إجراء القياس. ولدى القياس في التردد الأساسي وفي البث الهامشي على السواء، ينبغي التحقق من الخطية دورياً بإدراج توهين ترددات راديوية بمقدار 10 db في المدخل المهيأ للترددات الراديوية السابق للمكبر منخفض الضوضاء. وينبغي أن تسفر النتيجة دوماً عن هبوط بمقدار 10 db في مستوى الإشارة المقيسة. وإذا ما رُصد هبوط غير 10 dB فإن ذلك يدل على زيادة حمولة المدخل أو على تغذية غير مطلوبة. ومن شأن حسن تصميم النظام أن يقلل من احتمال وقوع هذه المشاكل إلى أدنى حد. فإذا ما وقعت، قد تدعو الضرورة بدلاً من ذلك إلى اتخاذ خطوات إضافية لتحجيب نظام القياس أو الانتقال إلى موقع آخر على النحو الموضح في الخطوة 2 أعلاه.

الخطوة 7: قياس الرادار في أكثر من عرض نطاق واحد للتردد المتوسط (IF) (موصى به ولكن غير مطلوب)

لعله من المفيد أن يقاس بث الرادار في عروض نطاق متعددة لأن مثل هذه القياسات تقدم مؤشراً لا لبس فيه للتغير في قدرة الرادار المقيسة كدالة لعرض نطاق المستقبل في أي تردد معين في الطيف.

التذييل 2

للملحق 1

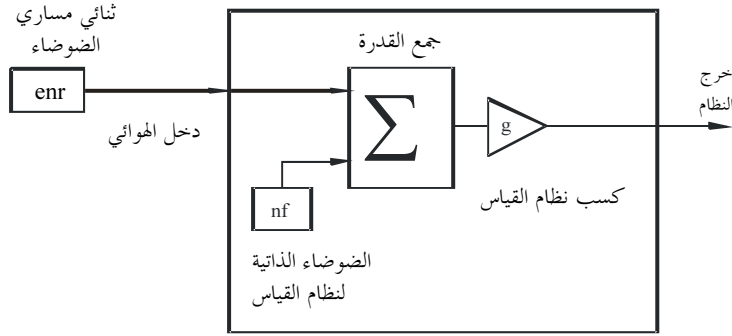
معايرة الكسب وعامل الضوضاء باستخدام ثنائي مساري الضوضاء

ينبغي إجراء معايرة نظام القياس قبل كل قياس لطيف البث الراداري. وإذ تجرى القياسات، يمكن إضافة تصحيحات الكسب تلقائياً إلى كل نقطة بيانات. ويمكن استخدام معايرة عامل ثنائي مساري الضوضاء، Y ، (كما هو موضح أدناه) للحصول على عوامل ضوضاء لنظام القياس لا تزيد عن 20 dB. ويصف هذا التذييل نظرية تلك المعايرة وإجراءاتها.

يمكن تمثيل معايرة ثنائي مساري الضوضاء لمستقبل مولف على تردد معين بدلالة مكون مدمج كما هو مبين في الشكل 8. وفي هذا الشكل، يمثل الرمز Σ دالة جمع القدرة التي تضيف أي قدرة في دخل نظام القياس إلى قدرة الضوضاء الذاتية للنظام. ويمثل الرمز g الكسب الكامل لنظام القياس. ويُرمز إلى عامل ضوضاء نظام القياس بالرمز nf وإلى ثنائي مساري الضوضاء ذي نسبة فائض ضوضاء بالرمز enr . (في هذا التذييل، كل الكميات الجبرية التي يُرمز إليها بالأحرف الصغيرة مثل "g" تمثل وحدات خطية. وكل الكميات الجبرية التي يُرمز إليها بالأحرف الكبيرة مثل "G" تمثل وحدات ديسيبل).

الشكل 8

مخطط المكونات لمعايرة ثنائي مساري الضوضاء



M.1177-08

عامل الضوضاء هو نسبة قدرة الضوضاء من جهاز n_{device} إلى الضوضاء الحرارية:

$$\frac{n_{device}}{k T B}$$

حيث:

k : ثابت بولتزمان (Boltzmann) ($1,38 \times 10^{-23} \text{J/K}$)

T : حرارة النظام (K)

B : عرض النطاق (Hz).

وتساوي نسبة فائض الضوضاء عامل الضوضاء ناقصاً واحداً، مما يجعلها كسر القدرة الزائدة عن $k T B$. ويعرّف عامل ضوضاء النظام على أنه $10 \log$ (عامل الضوضاء). وإذ يوصّف العديد من مصادر الضوضاء بدلالة نسبة فائض الضوضاء، يمكن استخدام ذلك الكم.

وفي معايرة ثنائي مساري الضوضاء يكون الشاغل الأساسي الفرق في إشارة الخرج عند تشغيل ثنائي المساري وإبطاله. ففي حال تشغيل ثنائي مساري الضوضاء، تعطى القدرة P_{on} (W) بالصيغة التالية:

$$P_{on} = (n f_s + enr_d) \times g k T B$$

حيث:

$n f_s$: عامل ضوضاء النظام

enr_d : ثنائي مساري الضوضاء.

وفي حال إبطال ثنائي مساري الضوضاء، تعطى القدرة P_{off} (W) بالصيغة التالية:

$$P_{off} = (n f_s) \times g k T B$$

والنسبة بين P_{on} و P_{off} هي عامل Y :

$$y = \left(\frac{P_{on}}{P_{off}} \right) = \frac{(n f_s + enr_d)}{n f_s}$$

$$Y = 10 \log(y) = 10 \log \left(\frac{P_{on}}{P_{off}} \right) = P_{on} - P_{off}$$

إذن، يمكن حل عامل ضوضاء نظام القياس على النحو التالي:

$$nf_s = \frac{enr_d}{y-1}$$

وعامل ضوضاء نظام القياس هو:

$$NF_s = 10 \log \left(\frac{enr_d}{y-1} \right) = ENR_d - 10 \log (y-1) = ENR_d - 10 \log (10^{Y/10} - 1)$$

إذن:

$$g = \frac{P_{on} - P_{off}}{enr_d \times k T B}$$

$$G = 10 \log (p_{on} - p_{off}) - 10 \log (enr_d \times k T B)$$

أو

$$G = 10 \log \left(10^{P_{on}/10} - 10^{P_{off}/10} \right) - ENR_d - 10 \log (k T B)$$

وفي معايير ثنائي مساري الضوضاء، تُستخدم المعادلة السابقة لحساب كسب نظام القياس من قيم ثنائي مساري الضوضاء المقيس. ورغم إمكانية استخدام معادلة NF_s لحساب عامل ضوضاء نظام القياس، يمكن للبرمجيات أن تنفذ معادلة مكافئة:

$$nf_s = \frac{P_{off}}{g k T B}$$

$$NF_s = 10 \log (p_{off}) - 10 \log (g k T B) = P_{off} - G - 10 \log (k T B)$$

وينتج إدراج صيغة الكسب في المعادلة السابقة ما يلي:

$$NF_s = P_{off} + ENR_d - 10 \log \left(10^{P_{on}/10} - 10^{P_{off}/10} \right)$$

ويمكن تخزين قيم الكسب وعامل الضوضاء المحددة بهذه المعادلات في جداول البحث. تُستخدم قيم الكسب لتصحيح نقاط البيانات المقيسة على أساس كل تردد على حدة.

وباستثناء هوائي الاستقبال، يعاير كامل مسير الإشارة بمصدر ثنائي مساري الضوضاء قبل قياس طيف الرادار. فيوصّل ثنائي مساري الضوضاء إلى دخل خط الترددات الراديوية الأول بدلاً من هوائي الاستقبال. ويمكن تحقيق التوصيل يدوياً أو عن طريق الترحيل المؤتمت حسب سيناريو القياس. ويتم قياس مستوى الضوضاء في النظام في سلسلة من النقاط عبر النطاق الترددي للنظام مع كون ثنائي مساري الضوضاء مشغلاً. ويتم إنجاز قياس الضوضاء بضبط عرض نطاق التردد المتوسط (IF) عند 1 MHz وبضبط عرض النطاق الفيديوي عند 1 kHz. ثم يُيطل ثنائي مساري الضوضاء وتقاس ضوضاء النظام كما في السابق في نفس الترددات. وهكذا يجمع حاسوب نظام القياس مجموعة من قيم P_{on} و P_{off} في سلسلة من الترددات عبر النطاق المزمع قياسه. وتُستخدم قيم P_{on} و P_{off} لحل الكسب وعامل الضوضاء لنظام القياس في المعادلات أعلاه.

التذييل 3

للملحق 1

قياس عرض النبضة وزمني صعود وهبوط النبضة

1 مقدمة

يهدف هذا التذييل إلى تقديم إرشادات لقياس ما يلزم من معلمات النبضة الرادارية في تطبيق قناع البث في الميدان خارج النطاق (OoB). ويتناول الملحق 8 بالتوصية ITU-R SM.1541 البث غير المطلوب في الميدان خارج النطاق لأنظمة الرادار. ولتحديد ما يلزم من عرض النطاق، B_{R} ، وعرض نطاق 40 dB، B_{-40} ، لا بد من قياس عرض النبضة، t ، وزمن الصعود، t_r ، في الرادارات النبضية².

ويُقاس عرض النبضة، t ، في نقاط -6 dB (نقاط جهد 50%) في نبضة رادارية. ويقاس زمن الصعود، t_r ، أو زمن الهبوط، t_f ، ما بين -9 dB و -20 dB (نقاط جهد 10-90%) على حافة المقدمة أو المؤخرة لنبضة، على التوالي. وفي النبضات المشفرة، يكون t_r و t_f زمين الصعود/الهبوط لنبضة فرعية. وإذا ما تعذر تمييز النبضات الفرعية، يمكن الافتراض أن t_r يشكل 40% من الوقت للتبديل بين طور أو طور فرعي وآخر يليه.

وفي بعض التصاميم الرادارية، يمكن قياس عرض النبضة وزمن الصعود أو الهبوط عبر توصيل خط سلكي إلى قارن اتجاهي. بيد أن خصائص النبضة المشعة قد تختلف من بعض الشيء عن تلك التي قيست من القارنات الاتجاهية. وعلاوة على ذلك، بعض التصميمات الرادارية لا توفر قارناً اتجاهياً. وفي هذه الرادارات، يمكن قياس عرض النبضة وزمن الصعود أو الهبوط عبر الطاقة المشعة إذا كان عرض نطاق نظام القياس كافياً (أي يزيد عن $10/t_r$) أو عرض نطاق يمكن تصحيحه على نحو يفني بغرض تحديد زمن الارتفاع الحقيقي). وثمة عائق محتمل يعترض قياس عرض النبضة عبر الإشعاع وهو تأثير تعدد مسيرات الطاقة الذي يسبب انحداراً درجياً على حافة المؤخرة لكل نبضة مشعة. ويمكن تقليل هذا التأثير إلى أدنى حد عن طريق استخدام هوائي عاكس مكافئ في نظام القياس. فإذا أمكنت الحيلولة دون تعدد المسيرات بما يكفي لحدوث أول حافة مؤخرة درجية في مستوى يزيد عن 6 dB دون مستوى النبضة الاسمي، أمكن القياس المشع لعرض النبضة إن استوفي شرط عرض النطاق³. ويلزم كاشف ثنائي المساري عريض النطاق لتحقيق عرض نطاق كافٍ.

2 قياسات الرادارات التقليدية

1.2 قياسات النبضة الموصولة بخط سلكي

ليبان خصائص قياسات النبضة الموصولة بخط سلكي، تبين في الشكل 9 إعدادات القياس. ويوصل كبل متحد المحور ذو معاوقة مناسبة بين خرج قارن اتجاهي ودخل كاشف كريستالي عريض النطاق (يزيد عرض نطاقه عن $(1/t_r)$). ويدرج موهن متغير (0-70 dB مثلاً) بين القارن والكاشف. وقبل توصيل الكاشف، يُضبط الموهن في البداية بمستوى عال بما يكفي لحماية الكاشف الكريستالي من العطب⁴. ويمكن افتراض أن أقصى مستوى مسموح به لدخل الكاشف يبلغ +20 dBm إن لم تتوفر بيانات أخرى.

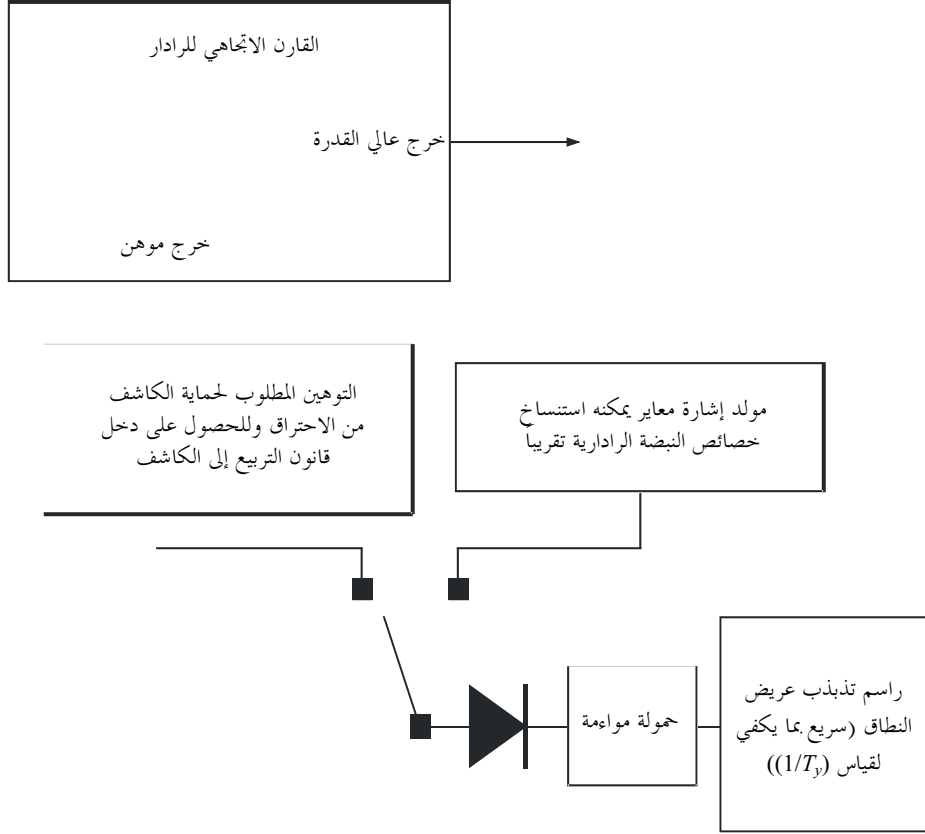
² عندما يقل زمن الهبوط t_f في الرادار النبضي عن زمن الصعود t_r ، ينبغي استخدامه بدلاً من زمن الصعود في تطبيق المعادلات الواردة في التوصية ITU-R SM.1541.

³ مثلاً، يمكن أن يقل زمن صعود نبضة عرضها 1 μs عن 0.1 μs . وسيطلب t_r هذا عرض نطاق يزيد عن 10 MHz من أجل دقة القياس. وتتوفر رواسم تذبذب بعروض نطاق تصل إلى 2 GHz. ولأغراض قياس زمين الصعود/الهبوط في الرادار، ينبغي استخدام رواسم تذبذب بعرض نطاق لا يقل عن 500 MHz. ولا بد أن يتوفر عرض النطاق في أسلوب النبضة المستقرة (لا أسلوب الأخذ المتكرر للعينات)، لأن القياسات تجري على نبضات رادار واحدة.

⁴ يمكن استخراج إعداد الموهن الابتدائي من مستوى ذروة قدرة الرادار وفاقدا الإدراج الموصّف للقارن الاتجاهي.

الشكل 9

المخطط الوظيفي لقياس معلمات عرض النبضة وزمن الصعود (أو زمن الهبوط)
الرادارية عبر التوصيل بخط سلكي إلى قارن اتجاهي



M.1177-09

يوصل خرج الكاشف إلى راسم تذبذب ذي عرض نطاق يزيد عن $(1/t_r)$. وينبغي مواهنة المعاوقات على النحو المناسب، وتتميز غالبية رواسم التذبذب الحديثة بقيم يمكن انتقاؤها لمعاوقة الدخل. وعادة ما تكون قيمة 50Ω صحيحة. وينبغي استخدام اقتران تيار مستمر على دخل راسم التذبذب.

ويُضبط راسم التذبذب ليعرض أغلفة النبضة الرادارية ويسجلها⁵. ويسجل من يقوم بالقياس إعدادات الموهن المتغير.

ثم يُفصل الخط القادم من القارن الاتجاهي للرادار عن ذلك الجهاز. ويعاد توصيله إلى خرج مولد الإشارة المعايرة القادر على توليد نبضات ذات عرض مقارب لعرض نبضات الرادار. ويتم ضبط خرج مولد الإشارة لتوليد نفس استجابة الاتساع على راسم التذبذب لكلا الغلافين، ويفضّل أن تكون بحدود $10+ \text{dBm}$.

وإذ تجرى تلك الإعدادات، تمكن معايرة استجابة الكاشف الكريستالي على النحو التالي. ويُخفض خرج مولد الإشارة بمقدار $0,9 \text{ dB}$ و 6 dB و 20 dB بصورة متتالية⁶. وفي كل مستوى من هذه المستويات، توضع وسوم رأسية على غلاف النبضة

⁵ يمكن لمعظم رواسم التذبذب أن تسجل البيانات إما على قرص داخلي أو إلى حاسوب خارجي عبر ناقل (GPIB) IEEE-488. كما يمكن إنجاز التسجيل بتصوير شاشة راسم التذبذب بآلة تصوير رقمية لصور الإطار الثابت.

⁶ ليست مخارج الكاشف الكريستالي خطية بالضرورة، لذلك فإن نقاط جهد 10% و 50% و 90% لإشارة الترددات الراديوية قد لا تبدو نقاط جهد 10% و 50% و 90% في خرج التيار المستمر للكاشف. وتدعو الحاجة لمولد إشارة معايير لتحديد جهود التيار المستمر للخروج المقابلة لجهود الدخل تلك.

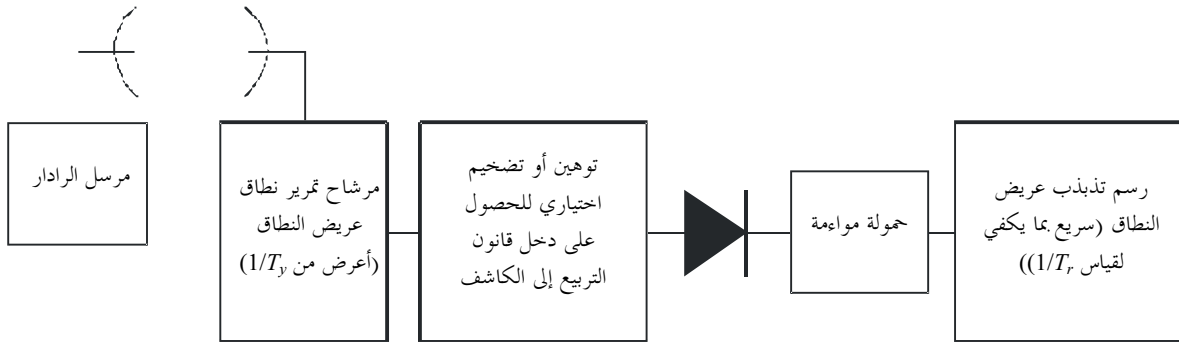
المقيس. وتوفر الفواصل الزمنية الناتجة بين الوسوم الرأسية عرض النبضة (Δ بين نقاط 6 dB) وزمن الصعود (Δ بين نقاط 0,9 dB و 20 dB على حافة المقدمة) وزمن الهبوط (Δ بين نقاط 0,9 dB و 20 dB على حافة المؤخرة).

2.2 قياسات النبضة المقترنة إشعاعياً

في الرادارات التي لا تتضمن قارنات اتجاهية، لا يمكن قياس خصائص النبضة إلا من خلال القياسات الإشعاعية. ويبين الشكل 10 تشكيلة عتاد القياس لقياس النبضات المشعة.

الشكل 10

المخطط الوظيفي لقياس معلمات عرض النبضة وزمن الصعود (أو زمن الهبوط)
الرادارية عبر النبضات المشعة



M.1177-10

والإجراء الذي ينبغي أن يُستخدم هو التالي:

الخطوة 1: يوضع نظام القياس في موقع يخلو مسيره من العوائق إلى هوائي مرسل الرادار على خط البصر، ويقترّب منه قدر الإمكان دون التسبب بتردي أداء نظام القياس (جراة التغذية العابرة مثلاً) ودون خسارة قدرة المرور تحت الحزمة الرئيسية أو الوقوع ضمن مسافة الميدان القريب لهوائي الرادار أو هوائي القياس.

الخطوة 2: يُستخدم هوائي عالي الكسب (ومثاله الهوائي المكافئ بقطر يبلغ متراً واحداً أو أكثر في ترددات الموجات الصغيرة) في نظام القياس ليستقبل نبضات من الرادار بأعلى اتساع ممكن ولتمييز ضد الإشارات الواردة من مرسلات أخرى.

الخطوة 3: في دخل هوائي القياس، يركب مرشاح تمرير نطاق يمرر طاقة التردد الأساسي للرادار ويزيد عرض نطاقه عن $(1/t_r)$ من نبضات الرادار المزمع قياسها. وبعد مرشاح تمرير النطاق، يركب كاشف ثنائي المساري يزيد عرض نطاقه وسرعة استجابة زمن الصعود فيه عن $(1/t_r)$ من نبضات الرادار المزمع قياسها⁷.

الخطوة 4: يوصل خرج الكاشف إلى دخل راسم التذبذب. ولا بد من معاومة خرج الكاشف مع معاوقة دخل راسم التذبذب. ويجب أن يزيد عرض نطاق النبضة المستقرة للراسم عن $(1/t_r)$ من نبضات الرادار المزمع قياسها. ويُضبط الراسم بأسلوب الكسب الواحد مع خفض عتبة الإطلاق بما يكفي لضمان التقاط نبضات الرادار. ويُنتظر حتى تُسجّل سلسلة من النبضات. ثم تُرفع عتبة الإطلاق بانتظار تفعيل الإطلاق بسلسلة أخرى من النبضات. وتتواصل هذه العملية إلى أن ترتفع

⁷ ينبغي أن تقع ذروة قدرة الدخل إلى الكاشف ضمن منطقة استجابة قانون التربيع. وللحصول على المستوى المناسب لقدرة الدخل، قد تدعو الضرورة إلى تركيب موهن أو مضخم بين مرشاح تمرير النطاق والكاشف ثنائي المساري.

العتبة بما يكفي لتعذر تسجيل المزيد من النبضات. وتخفض عتبة الإطلاق قليلاً بانتظار تسجيل تتابع نبضي هو الذي يبين معدل تكرار النبضة.

الخطوة 5: يقاس عرض النبضة وزمن الصعود أو زمن الهبوط على راسم التذبذب باستخدام المعايير المحددة لقياسات الخط الموصل سلكياً.

3.2 ملاحظات بشأن إجراء قياس النبضة المشعة

بوضع نظام القياس على مقربة من الرادار مع خلو خط البصر من العوائق، تخف مشاكل تعدد المسيرات إلى الحد الأدنى وتعظم القدرة المستقبلية في النبضات إلى الحد الأقصى. ويزيد استخدام هوائي قياس عالي الكسب من تخفيف مشكلة المسيرات المتعددة ويرفع مستوى قدرة النبضة المستقبلية.

ويجب توخي الحذر لضمان أن تمتلك جميع العناصر في نظام القياس ما يكفي من خصائص عرض النطاق والاستجابة الزمنية لقياس زمن صعود نبضة الرادار. وقد تكون كواشف ثنائي المساري ذات خصائص الاستجابة السريعة ضرورية لتلبية هذا الشرط.

وفي البيئات التي تتعدد فيها الرادارات أو التي تسود فيها إشارات محيطية قوية غير رادارية وتقع داخل، أو قرب، حواف نطاق طيف الرادار قيد القياس، قد تقتضي الضرورة اتخاذ خطوات لعزل نبضات الرادار قيد القياس عن الإشارات الأخرى. ومن شأن استخدام هوائي مكافئي لرادارات ترددات الموجات الصغيرة وكذلك مرشاح تمرير نطاق على طرفي هوائي القياس أن يساعد على عزل أشكال الموجة النبضية المرغوبة. فإن لم تكف هذه البنود لعزل النبضات المرغوبة، ينبغي أن يوفر الإطلاق المعتمد على الاتساع العزل اللازم على افتراض أن اتساع نبضات الرادار قيد القياس أعلى منه لأي إشارات أخرى في البيئة المحيطة.

3 قياسات رادارات التكنولوجيا المتقدمة

1.3 قياسات النبضة الموصولة بخط سلكي

في هذا السياق، الرادارات المتقدمة هي تلك التي تستخدم التشكيل النبضي. ويمكن تشكيل التردد أو الطور. فإذا ما استخدم التشكيل الترددي (FM) (الزرققة)، أمكن استخدام تقنيات القياس نفسها على النحو المحدد أعلاه. غير أن عرض النطاق يجب أن يكون مساوياً أو زائداً على المدى الترددي المزقق. وفي الواقع العملي، قد يتطلب ذلك كاشف ثنائي المساري عريض النطاق.

ولا تختلف قياسات زمن صعود النبضات المزققة عن القياسات للنبضات غير المزققة، ويمكن استخدام الإجراء نفسه المحدد أعلاه.

نسبة ضغط النبضة (أنظمة نبضة التشكيل الترددي (FM)): يرد أدناه وصف للقياسات الرامية لتحديد ضغط النبضة. وفي هذا النهج بغرض تحديد ضغط النبضة لجميع الرادارات بما فيها الأنظمة المتقدمة.

وفي النبضات الرادارية بتشفير الطور، يجري أيضاً قياس عرض النبضة على النحو المحدد أعلاه. ولكن قد يصعب قياس زمن الصعود لفرادى مقاطع الطور (الشرائح). وتظهر الصعوبة الأولى بالتشفير العادي بالطور حيث يمكن وقوع تغير في الطور بمقدار π بين كل شريحة وأخرى. فرغم انزياح الطور، ترصد القيمة المربعة لشكل الموجة في خرج الكاشف ماحية معلومات الطور، مما يجعل رصد حواف الشرائح متعذراً من حيث المبدأ بأي نوع من أنواع الكواشف.

وفي التطبيق، قد تحدث حالات عابرة إذ ينتقل الطور بين الشرائح، وهي حالات يمكن مشاهدتها على راسم التذبذب. إلا أن رصد انتقالات الشرائح لا يؤدي إلى قياس زمن صعود الشريحة.

العدد الإجمالي للنبضات الفرعية داخل كل نبضة (الأنظمة المشفرة بالطور): إن الرادارات التي تستخدم زحزحة الطور التقليدية بتدبير آني بمقدار 180° تُظهر عادةً حالات عابرة يمكن رصدها في أغلفة النبضات المكشوفة. وبهذه الطريقة، يمكن تحديد عدد من الشرائح في كل نبضة. سوى أن أنظمة الرادار التي تستخدم زحزحة الطور بالحد الأدنى (MSK) أو غيرها من تكنولوجيات

زحزحة الطور التي تزيل هذه الحالات العابرة، يستحيل فيها تحديد عدد من الشرائح في كل نبضة بقياس أغلفة النبضات المكشوفة. فإن لم يتوفر زوج من التوصيلات بخط سلكي في هذه الرادارات لمراقبة قناتي توافق الطور (I) وتعادم الطور (Q)، يتعذر تحديد عدد الشرائح إلا باستخدام مواد مرجعية مثل الكتيبات التقنية وكتيبات التشغيل وأوراق المواصفات.

قياس زمن صعود الشريحة: في النبضات ذات التشفير العادي بالطور، لا يمكن قياس زمن صعود الشريحة مباشرةً إلا إذا أخذت عينة من شكل الموجة قبل الكشف. ويمكن القيام بذلك عن طريق توصيل خرج التردد المتوسط (IF)⁸ من محلل الطيف أو من جهاز معالجة إشارة رقمية يشبهه.

ولا تستخدم النبضات ذات التشفير المتقدم بالطور تغيرات طور متقطعة بين الشرائح. بل تستخدم تشكيل زحزحة الطور بالحد الأدنى (MSK) بدلاً من ذلك، حيث يتقاضى رصد زمن صعود الشريحة فصل مكوي توافق الطور (I) وتعادم الطور (Q) في النبضة ورصد زمن الصعود لكل مكون على حدة. ويمكن إنجاز ذلك بمحلل إشارة متجه (VSA) مبرمج برمجة مناسبة (أو بمعالج إشارة رقمية (DSP) مكرس لهذا الغرض أو بصفييف بوابات قابلة للبرمجة ميدانياً (FPGA)) يغذي خرج التردد المتوسط (IF) من محلل الطيف.

وإن لم تتوفر لدى منظمة القياس المعدات الحساسة للطور المذكورة أعلاه (VSA أو DSP أو FPGA مع البرمجيات المناسبة مثبتة فيها)، يمكن إجراء قياس زمن صعود النبضة على الحافة الصاعدة للنبضة بدلاً من القياس المباشر لزمن صعود الشريحة. ويجري قياس زمن صعود النبضة كما هو موضح أعلاه. وفي حال القيام بذلك، ينبغي ذكره في مجموعة البيانات الناتجة.

2.3 قياسات النبضة المقترنة إشعاعياً

في الرادارات المتطورة التي تفتقر إلى قارن اتجاهي (كالأنظمة التي تستخدم وحدات إرسال متعددة)، يجب أن تقاس خصائص النبضة إشعاعياً كما هو موضح أعلاه. ويجب توخي الحرص للحفاظ على عرض نطاق كاف لقياس زمن صعود النبضة، وينبغي أن يكون اتساع دخل الكاشف ثنائي المساري في مستوى استجابة الكاشف لقانون التربيع.

3.3 استخدام المواد المرجعية لتحديد خصائص النبضة

يمكن افتراض أن كتيبات التشغيل وأوراق المواصفات وغيرها من المراجع الخاصة بالرادار صحيحة بدرجة معقولة لمجمل مجموعة الرادارات المدرجة ضمن خط أو سلسلة إنتاج نموذج معين، علماً بأن أي رادار فردي يمكن أن يختلف بعض الشيء عن متوسط الإنتاج. ويُفترض أن هذا الاختلاف عائد لاختلاف النوعية أثناء التصنيع وأيضاً للصيانة التي يتلقاها الرادار في الميدان. فإذا تعذر القياس المباشر لواحدة أو أكثر من خصائص النبضة المطلوبة، يمكن استخدام قيم العلامات المذكورة في تلك المراجع من أجل حسابات قناع البث.

⁸ يُفترض أن خرج التردد المتوسط مقرون من محلل الطيف قبل مرحلتي الكشف وعرض نطاق الاستبانة، بحيث يُحتفظ بعرض نطاق كاف لقياس زمن صعود النبضة.

التذييل 4
للملحق 1

حساب عوامل تصحيح الكسب من أجل صفيق هوائي مستوٍ
باستخدام برمجيات محررة في اللغة BASIC

لقد كتب هذا البرنامج باللغة BASIC من أجل تحديد قياس الميدان البعيد من الميدان القريب وهو لا يستخدم إلا اعتبارات تغيرات الطور للموجة المستقبلية بسبب الفرق بين جبهة الموجة الكروية في الترددات الراديوية وصفيق الهوائي المستوي. ولذلك يجب ألا يستعمل البرنامج إلا من أجل تحديد خط البصر أو الكسب الأقصى للهوائي عند اللانهاية من قياس ميدان قريب. ولا يتم التعرض إلى مسألة مخطط كسب الهوائي هنا.

```
'Test data for error -.025 pi radians ; error ~.3 dB
'freq = 3000
'l = 10
'd = 1
'
CLS
'
INPUT "Enter the antenna frequency in MHz "; freq
INPUT "Now enter the measuring distance in metres from the antenna ";
INPUT "Enter the maximum dimension of the antenna in metres "; d
'
'
CONST c = 300
CONST pi = 3.141592654#
'
'
lamda = c / freq
num = 100
'
'
IF d < (5 * lamda) THEN
PRINT "Antenna dimensions should be much greater (* 5) than";
PRINT " the wavelength for accurate use of this prog"
```

بيانات الاختبار للمخطط

التردد

الإشارة إلى تردد الهوائي بالوحدة MHz

الإشارة الآن إلى مسافة القياس بالنسبة إلى الهوائي بالأمتار

الإشارة إلى أقصى قياس للهوائي بالأمتار

تردد

الرقم

طول الموجة للاستعمال الدقيق لهذا البرنامج

```

STOP
END IF
'sum of inphase and quadrature field elements
sumi = 0
sumj = 0
'
' system is symmetrical so integrate from 0 to d/2
FOR i = 0 TO num - 1
  dprime = i * d / (2 * (num - 1))
  phasediff = (1 - ((1 ^ 2) + (dprime ^ 2)) ^ .5) * 2 * pi / lambda
'   PRINT " phase diff is ";
'   PRINT USING "##.##"; phasediff;
  icomp = COS(phasediff)
  sumi = sumi + icomp
  jcomp = SIN(phasediff)
  sumj = sumj + jcomp
NEXT i
PRINT " Max phase error is ";
PRINT USING "##.##"; phasediff / pi;
PRINT " * pi rads"
'form final received planar power received from spherical RF wave
res = ((sumj) ^ 2 + (sumi) ^ 2) ^ .5
'PRINT "Result is "; res; "i is "; i; " num is "; num
'Calc gain reduction
gprime = num / res
'
glog = 20 * (LOG(gprime) / LOG(10#))
PRINT "Gain reduction from infinite far field is ";
PRINT USING "##.### "; glog;
PRINT " dB"
END

```

الفرق في الطور هو

خطأ الطور الأقصى هو

النتيجة هي ... العدد هو

إن تخفيض كسب مجال بعيد لا متناهِ هو

الملحق 2

قياس البث غير المطلوب لأنظمة الرادار على النحو المفصل في الفقرتين 2 و 3 من توصي

1 مقدمة

يوصى بتقنيتين تعرفان على أنهما الطريقتان المباشرة وغير المباشرة. فتقيس طريقة القياس المباشرة قياساً صحيحاً البث غير المطلوب من الرادارات (على النحو المفصل في الفقرتين 2 و 3 من توصي) عبر قياس الإشارات المشعة في الفضاء الحر. وتقيس الطريقة غير المباشرة الإشارات عند خرج المرسل ثم تدمجها مع نماذج النظام اللاحق لتقدير شدة مجال الحقل في الفضاء الحر. وقد بينت المقارنة بين التقنيتين توافقاً قريباً جداً بحدود 2 dB.

2 عرض النطاق المرجعي

إن القواعد التي تحدد عرض النطاق المرجعي لرادار الترددات الأعلى (انظر الملحق 1) تسري بصفة علامة على رادار الترددات الأدنى بتدرج قياسي مناسب لمعلومات شكل الموجة.

في أنظمة الرادار، ينبغي حساب عرض النطاق المرجعي، B_{ref} ، المستخدم لتحديد حدود البث غير المطلوب (التوصيتان ITU-R SM.1541 و ITU-R SM.329 والتنزيل 3 للوائح الراديو) لكل نظام رادار. وفي ثلاثة أنماط عامة للتشكيل النبضي الراداري المستخدمة للملاحة الراديوية والتحديد الراديوي للموقع والحيازة والتتبع وغير ذلك من وظائف الاستدلال الراديوي بأطوال الموجة الطويلة، تحدد قيم عرض النطاق المرجعي باستخدام الصيغ التالية:

- لرادار ذي تردد ثابت مشفر بشفرة غير نبضية: واحد مقسوماً بطول النبضة الرادارية بالثواني. (مثلاً إذا كان طول نبضة الرادار $100 \mu s$ يبلغ عرض النطاق المرجعي $10 = \mu s / 100$ KHz).
- ولرادار ذي تردد ثابت نبضي مشفر بالطور، واحد مقسوماً بطول (أو أطوال) شريحة الطور (مثلاً إذا كان طول الشريحة المشفرة بالطور $200 \mu s$ ، يبلغ عرض النطاق المرجعي $5 = \mu s / 200$ kHz)؛
- ولرادار بتشكيل ترددي (FM) أو رادار زقزقي، يتم الحصول على كم الجذر التربيعي بتقسيم عرض نطاق النبضة (MHz) على طول النبضة (μs) (مثلاً إذا امتد عرض نطاق التشكيل الترددي، FM، من 1 250 MHz إلى 1 251 MHz أو بمقدار 10 KHz خلال نبضة طولها 20 ms، يكون عرض النطاق المرجعي $(10 \text{ KHz}/20 \text{ ms})^{1/2}$ = 700 Hz)؛

وفي جميع الحالات، حيثما تزيد عروض النطاق عن 1 MHz ينبغي استخدام عرض نطاق مرجعي B_{ref} بقيمة 1 MHz.

3 عرض نطاق القياس ومعلومات الكاشف

يُعرَّف عرض نطاق القياس، B_m ، على أنه عرض نطاق نبضة المستقبل وهو أعرض من عرض نطاق التردد المتوسط (IF)، B_{if} ، (الذي يشار إليه أحياناً بعرض نطاق الاستبانة في محلات الطيف). ويمكن اشتقاق عرض نطاق القياس من المعادلة التالية:

$$B_m = B_{if} \times MBR$$

وتدعو الحاجة لتحديد نسبة عرض نطاق القياس (MBR) لمستقبل القياس قيد الاستخدام. وتكاد تبلغ هذه النسبة 3/2 لمرشاح غوسي بعرض نطاق -3 dB للتردد المتوسط كالذي يُستخدم عادةً في العديد من مستقبلات محلل الطيف التجارية.

الملاحظة 1: يُعرَّف عرض نطاق التردد المتوسط (IF) عند النقطة -6 dB في بعض الأجهزة.

وينبغي اختيار ما يناسب من عرض نطاق التردد المتوسط في المستقبل لإنتاج أحد عروض نطاق القياس الموصى بها التالية. (إن القواعد التي تحدد عرض النطاق المرجعي لرادار الترددات الأعلى (انظر الملحق 1) تسري بصفة علامة على رادار الترددات الأدنى بتدرج قياسي مناسب لمعلومات شكل الموجة).

عرض النطاق القياس $B_m^9 \geq (T/1)$ لرادارات ذات تردد ثابت مشفرة بشفرة غير نبضية حيث يكون T : طول النبضة. (مثلاً إذا كان طول نبضة الرادار $100 \mu s$ فينبغي أن يكون عرض نطاق التردد المتوسط (IF) للقياس $1 \geq (100 \mu s) / 10 \text{ kHz}$).

$(t/1)$ لرادارات ذات تردد ثابت بشفرة نبضية مشفرة بالطور حيث يكون t : طول شريحة الطور. (مثلاً إذا ما أرسل الرادار نبضات تبلغ $260 \mu s$ وتتألف كل نبضة من 13 شريحة مشفرة بالطور يبلغ طولها $20 \mu s$ فينبغي أن يكون عرض نطاق التردد المتوسط (IF) للقياس $1 \geq (20 \mu s) / 50 \text{ kHz}$).

$(B/T)^{1/2}$ لرادارات تردد مكنس (FM أو زقزقي أو FMCW) حيث يكون B_c : مدى كنس التردد خلال كل نبضة ويكون T : طول النبضة. (مثلاً إذا ما كان كنس الرادار (زقزقيات) في مدى تردد من 1250 إلى 1251 MHz (= 10 kHz من الطيف) خلال كل زقزقة وإذا ما كان طول الزقزقة $20 \mu s$ فينبغي أن يكون عرض نطاق التردد المتوسط (IF) للقياس: $(\leq (10 \text{ kHz} / 20 \text{ ms})^{1/2} = \sqrt{0,5} \text{ kHz} \approx 700 \text{ Hz})$).

4 المدى الدينامي لنظام القياس ينبغي أن يكون نظام القياس قادراً على قياس مستويات البث غير المطلوب على النحو المذكور في التذييل 3 للوائح الراديو. وللحصول على كامل صورة الطيف، وبخاصة في ميدان البث الهامشي، يوصى بأن يكون نظام القياس قادراً على قياس مستويات بث تقل بمقدار 10 dB دون المستويات الواردة في التذييل 3 للوائح الراديو. وتوخياً لمستوى عال من الثقة في النتائج، ينبغي أن يكون المدى الدينامي للقياس أعلى بكثير من مدى القياس المطلوب (الهامش (2)، في الشكل 2).

وترد الرابطة بين مدى القياس المطلوب والمدى الدينامي الموصى به لنظام القياس في الشكل 2.

5 الطريقة المباشرة

يمكن استخدام طريقة مباشرة موصوفة أدناه لقياس البث غير المطلوب (في ميدان خارج النطاق (OoB) والهامشي) من أنظمة الرادار ذات الموجة الطويلة. وهي طريقة تتيح نفاذاً سهلاً إلى الحزمة الرئيسية للرادار. ومثال ذلك عند توضع هوائي أو صفيح هوائيات على الأرض ويكون استقطابهما رأسياً. وقد استُخدمت هذه الطريقة لقياس خصائص بث أنظمة الرادار العاملة في ترددات تصل إلى 45 MHz وبقدرات مشعة مكافئة متناحية (e.i.r.p) في مدى الميغاواط.

1.5 عتاد القياس وبرمجياته

1.1.5 الهوائي

يظهر المخطط الوظيفي لنمط نظام القياس اللازم للطريقتين المباشرتين في الشكل 11. والعنصر الأول الذي يتعين تدبره في هذا النظام هو هوائي الاستقبال الذي ينبغي أن تكون استجابته الترددية عريضة النطاق، على الأقل بعرض المدى الترددي المزمع قياسه. وقد يتطلب ذلك استخدام شبكات أرض. ولا يشكل الكسب مشكلة في العادة لذا يكفي استخدام هوائي سطوي

⁹ إن التصحيحات المرتبطة بتحويلات عرض نطاق القياس إلى عرض النطاق المرجعي وعرض نطاق PEP والتي جاء بحثها في الفقرة 3 من الملحق 1، تسري أيضاً على رادارات الموجة الطويلة التي يرد وصفها هنا في الملحق 2.

بسيط مع شبكة أرض. وقد تكون معايرة كسب الهوائي لازمة للقياس عريض النطاق. ويمكن إنجاز ذلك باستخدام مصدر مرجعي وهوائي ثان قصير (رديء المواءمة) يغذي مقياس قدرة.

ينبغي أن يوضع الهوائي في الميدان البعيد إن أمكن ذلك من الناحية العملية، أي على مبعده أكثر من كيلومتر مثلاً عند التردد 20 MHz، رغم أن قياس الخصائص الطيفية لم يظهر أي اختلاف ملحوظ في قياسات الميدان البعيد والميدان القريب. ويتألف العديد من رادارات الموجة الطويلة من صفائف تركب حزمة قابلة للتوجيه إلكترونياً. وينبغي في هذه الحالة توجيه الحزمة أو اختيار موضع الهوائي بحيث يكون هوائي القياس أقرب ما يمكن من ذروة الحزمة الرئيسية. ويُختار استقطاب هوائي لتعظيم الاستجابة لإشارة الرادار.

ويمكن أن يكون الكبل الذي يصل هوائي القياس إلى نظام القياس كبلًا عاديًا متحدد المحور.

2.1.5 دليل القناة الشاغرة

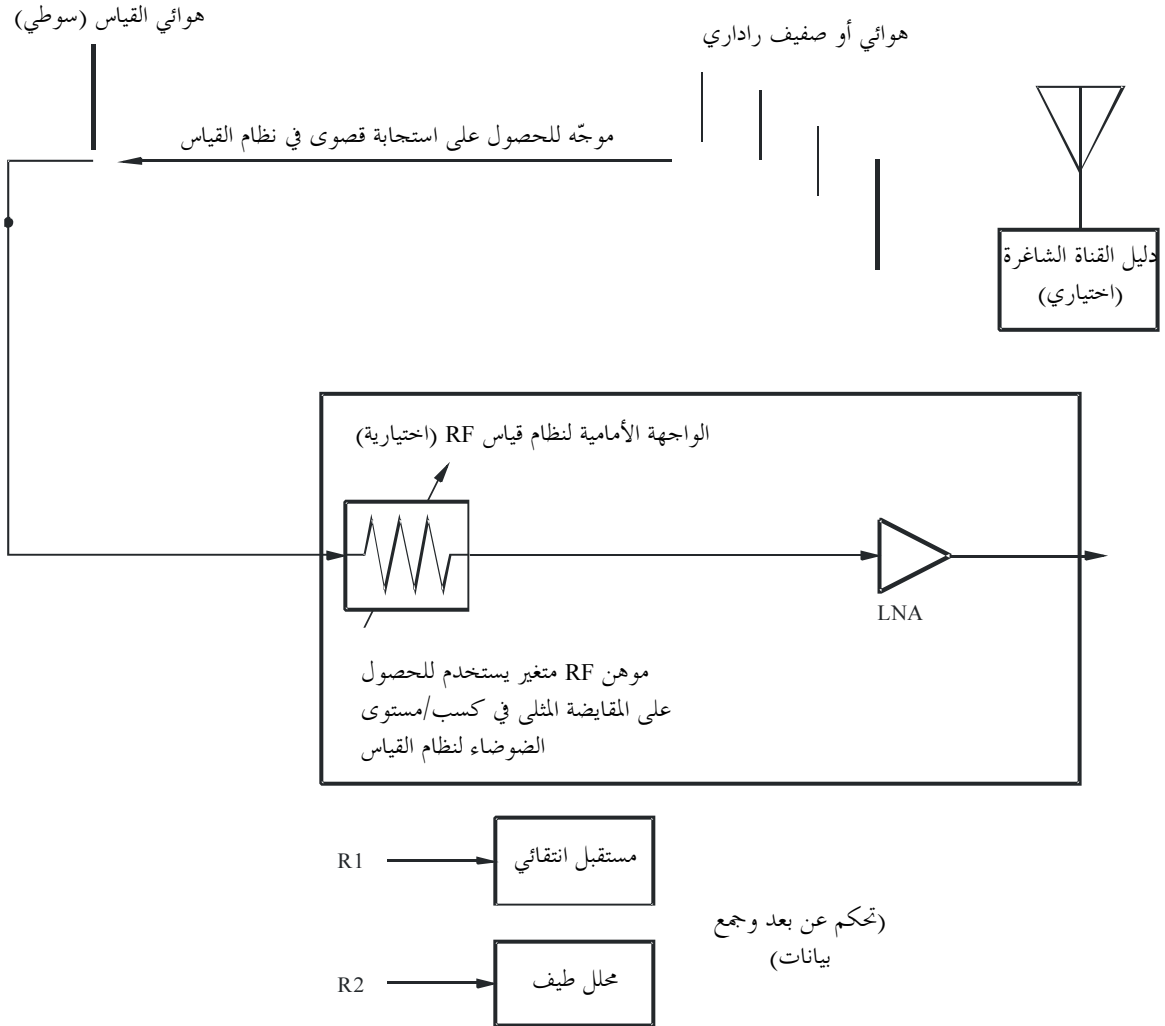
نظراً لأن الانتشار الأيونوسفيري لإرسالات الموجة الطويلة يمكن أن يعبر مسافات مديدة وأن قسماً كبيراً من الطيف المقيس بهوائي الاختبار يتعرض لإشارات خارجية بصفة عامة، من المهم وجود جهاز ينبئ عن القنوات المشغولة. ويُستحسن أن يتمكن من التقاط هذه البيانات وإعطاء مؤشر ما عن شدة الإشارة. ويمكن استخدام نظام قياس الطيف أو نظام استقبال مستقل لهذا الغرض. ويمكن استخدام هذه البيانات للتوفيق بين حالات البث غير المطلوب الذي قد يكون ناجماً عن مصادر خارجية. وينبغي استخدام هذه البيانات أيضاً لكشف قناة شاغرة للاختبار ضمن ميادين B_{-40} في النطاق وخارج النطاق (OoB).

3.1.5 المدخل المهيأ للترددات الراديوية

يؤدي المدخل المهيأ للترددات الراديوية وظيفتين. الأولى منهما هي حماية مدخل نظام الكشف من خلال استخدام التوهين المتغير المهيأ للترددات الراديوية. والثانية هي التضخيم الأولي منخفض الضوضاء لتوفير أقصى قدر من الحساسية للبث منخفض القدرة. ويعد الموهن المهيأ للترددات الراديوية العنصر الأول في المدخل. ويوفر الموهن توهيناً متغيراً (مثلاً 0-70 dB) في تزايدات ثابتة (مثلاً 10 dB/خطوة الموهن).

الشكل 11

المخطط الوظيفي لقياس البث المشع غير المطلوب من رادارات
تستخدم الطريقة المباشرة ذات التحكم اليدوي



M.1177-11

4.1.5 نظام القياس المتحكم فيه يدوياً

يتألف القياس المتحكم فيه يدوياً من الكنس عبر الطيف في تزايدات ثابتة (تساوي قيمة الامتداد). وفي كل كنسة ترددية، يُضبط الموهن لإبقاء ذروة قدرة الرادار ضمن المدى الدينامي للعناصر الأخرى في نظام القياس (غالباً ما يكون مضخم المدخل والمضخم اللوغاريتمي لمحلل الطيف عنصري التقييد). وبضبط الموهن المهيأ للترددات الراديوية للمدخل على الوجه الصحيح في كل كنسة، يجري قياس قدرة الرادار في ذلك التردد.

والعنصر الأخير في المدخل المهيأ للترددات الراديوية هو المضخم منخفض الضوضاء (LNA) المركب بوصفه العنصر التالي في مسير الإشارة بعد المنتقي الأولي. وتوفر خاصية الدخل منخفض الضوضاء لهذا المضخم حساسية عالية لبث الرادار الهامشي منخفض الاتساع. ويحدد كسب هذا المضخم عامل الضوضاء لسائر نظام القياس (مثل طول خط الإرسال ومحلل الطيف).

وتُهيأ حساسية نظام القياس ومداه الدينامي على النحو الأمثل عن طريق الانتقاء السليم لكسب المضخم منخفض الضوضاء (LNA) وخصائص عامل الضوضاء. ومن المستحسن تقليل عامل الضوضاء إلى أدنى حد مع توفير ما يكفي من الكسب

لجميع دارات القياس التالية للمضخم منخفض الضوضاء (أساساً فاقد خط الترددات الراديوية بعد المدخل، بالإضافة إلى عامل ضوضاء دارات محلل الطيف). ومن الناحية المثالية، ينبغي أن يكون مجموع كسب المضخم منخفض الضوضاء (LNA) وعامل الضوضاء (وهو فائض الضوضاء الناتجة عن المضخم منخفض الضوضاء ذي انتهائية Ω 50 في دخله) مساوياً تقريباً لعامل ضوضاء سائر نظام القياس. لنفترض مثلاً أن عامل ضوضاء محلل الطيف يبلغ 25 dB و فاقد خط الترددات الراديوية بين المدخل المهيأ للترددات الراديوية والمحلل هو 5 dB. ومن ثم يجب أن يستوعب المضخم منخفض الضوضاء في المدخل عامل ضوضاء إجمالي قدره 30 dB. لذلك، ينبغي أن يقارب مجموع كسب المضخم منخفض الضوضاء وعامل ضوضائه 30 dB في هذا المثال. وتكون قسمة التوليفة لهذا المضخم بمقدار 3 dB لعامل الضوضاء و 27 dB للكسب.

ويُتوقع أن يكون سائر نظام القياس المهيأ للترددات الراديوية، في الأساس، محلل طيف متوفر تجارياً أو محلل طيف مع منتق أولي أو مستقبل انتقائي. ويمكن استخدام أي معدات تستطيع استقبال إشارات عبر المدى الترددي في دائرة الاهتمام. وقد أجريت قياسات بواسطة مستقبلات رقمية حديثة تستوعب بسهولة متطلبات الترددات والمدى الدينامي على نحو يغني إلى حد كبير عن الحاجة لأي توهين أو كسب في المدخل.

6 الطريقة غير المباشرة

في الطريقة غير المباشرة، تجرى القياسات بالربط المقترن من خرج كل مرسل. ومن تلك النقطة، يتشابه جهاز القياس مع ذلك المستخدم في الطريقة المباشرة. وفي حال تعدد المرسلات، يجب تسجيل الاتساع المعقد، ثم يجب الجمع بين الإشارات في برمجية تحتسب ترجيح صفييف توجيه الحزمة وتأخرات التغذية.

ويمكن إنجاز التقاط البيانات بسهولة بتوصيل محلل الطيف أو المستقبل بحاسوب محمول عبر سطح بيني ناقل من النوع المعد للأغراض العامة (GPIB) أو ما يعادله.