الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R SM.2125-1 التقرير

(2011/06)

معلمات مستقبلات ومحطات المراقبة في نطاقات الموجات الديكامترية والمترية والديسيمترية وخطوات قياسها

السلسلة SM

إدارة الطيف

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 لمدى 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 الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل تقارير قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REP/en)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بعد
S	الخدمات الساتلية الثابتة
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف

ملاحظة: *وافقت لجنة الدراسات على النسخة الإنكليزية لهذا التقرير الصادر 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).

التقـــرير ITU-R SM.2125-1*

معلمات مستقبلات ومحطات المراقبة في نطاقات الموجات الديكامترية والمترية والديسيمترية وخطوات قياسها

(2011-2007)

ملخص تنفيذي

يشرح هذا التقرير خطوات القياس المستخدمة لتحديد المعلمات التقنية لمستقبلات وأنظمة المراقبة. ولا يشرح هذا التقرير جميع الحلول المحتملة ولا أفضل الحلول لتحديد هذه المعلمات.

ويشرح التقرير في واحد من أقسامه التحقق من المعلمات الرئيسية لمستقبل مراقبة ويشرح في قسم آخر التحقق من المعلمات التقنية لمحطات المراقبة وغيرها من الأنظمة المتكاملة مثل أنظمة تحديد الاتجاه. ويمكن ملاحظة وجود تراكب في محتويات كلا القسمين حتى أن بعض الأجزاء تحمل نفس الاسم في كليهما. ومع ذلك ينبغي معالجة هذه العناصر باعتبارها معلمات مختلفة.

ويعود السبب في تقسيم المواصفات إلى معلمات رئيسية ومعلمات للمحطات إلى حقيقة أن مستقبلات المراقبة يمكن شراؤها إما كأجهزة منفصلة أو كنظام متكامل حيث لا يمكن أن تُحدد فيه معلمات كل مستقبِل على حدة.

جـــدول المحتـــويات

الصفحة

1 المقدمة 2

2 المعلمات الرئيسية للمستقبِل 2

1.2 ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثانية/الثالثة (IP_2/IP_3) 2

2.2 الحساسية 3

3.2 عامل ضوضاء المستقبِل 3

4.2 خصائص المرشاح IF 3

5.2 سرعة المسح للمستقبِل 5

6.2 المعلمات الرئيسية لمستقبِلات أنظمة تحديد الاتجاه 5

3 خطوات قياس معلمات محطات المراقبة وتحديد الاتجاه 5

1.3 قياس الناتجين IP_2/IP_3 لمحطة للمراقبة ومحطة لتحديد الاتجاه 6

2.3 قياس حساسية محطة للمراقبة/تحديد الاتجاه 8

3.3 المعلمات الرئيسية لمحطات تحديد الاتجاه 17

* أدخلت لجنة الدراسات 1 تعديلات صياغية على هذا التقرير في عام 2012.

1 المقدمة

يحتوي "دليل الاتحاد الدولي للاتصالات – مراقبة الطيف" (طبعة 2011) على المواصفات النمطية لمستقبلات المراقبة ونظام تحديد الاتجاه (DF)/محطات المراقبة ولكنه لا يحدد خطوات القياس المستخدمة لتحديد هذه المواصفات. كما أن الدليل لا يأخذ في الاعتبار مواصفات الأنظمة المعقدة مثل محطة كاملة للمراقبة/تحديد الاتجاه يتم بناؤها حول مستقبل المراقبة.

الملاحظـــة 1 – ليس الغرض من دليل الاتحاد الدولي للاتصالات – مراقبة الطيف هو تحديد المعايير ولكن الغرض منه محاولة تقديم توجيهات بشأن جميع جوانب مراقبة الطيف.

ويورد هذا التقرير المعلمات الرئيسية للمستقبل ومعلمات المحطات ذات الصلة. ويمكن تحديد المعلمات التي تتم دراستها في هذا التقرير إما عن طريق الجهة المصنعة أو من خلال المستعمل النهائي.

2 المعلمات الرئيسية للمستقبل

1.2 ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثانية/الثالثة (IP_2/IP_3)

تعمل مستقبلات المراقبة في بيئة توجد فيها إشارات قوية وأخرى ضعيفة في نفس الوقت. لذا، فإن من الخواص الهامة للمستقبل قدرته على التعامل مع هذه الإشارات القوي منها والضعيف في نفس الوقت بدون تشوه. وتعرف هذه الخاصية بخطية المستقبل ويتم تقدير هذه الخطية كمياً من خلال قيمتي IP_2 وIP_3.

وعلى الرغم من أن الطرف الأمامي للمستقبل يساهم بالقدر الأعظم في قيمتي IP_2 وIP_3، فإن مرشحات المكبر IF في حالة مستقبلات المراقبة الرقمية وأي مكبرات أخرى تؤثر على قيمتي IP_2 وIP_3. ومن ثم ينبغي مراعاة كل هذه المكونات عند إجراء أي قياس لكل من IP_2 وIP_3. وتجرى قياسات IP_2 وIP_3 بضخ إشارتين عند مدخل المستقبل وقياس استجابته. وفي حالة اللاخطية، يتولد ناتجا الإشارتين اللتين تم ضخهما ويعتبر مستوى هذين الناتجين مقياساً لعدم خطية المستقبل. وبالإضافة إلى مكون الخطية الخاص بالمستقبل ذاته، فإن قيمتي IP_2 وIP_3 المقاستين تعتمدان أيضاً على المعلمتين التاليتين:

– الفرق في التردد والمستوى بين إشارتي الاختبار المطبقتين؛

– ترددا الاختبار المختاران.

1.1.2 مبادئ حساب ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثانية

تُدخل إشارتا اختبار لهما نفس القيمة لجذر متوسط تربيع القدرة (*Pin*) بترددين f_1 وf_2 (حيث f_1 أقل من f_2) على دخل هوائي مستقبل مراقبة. ونتيجة للاخطية، قد يظهر ناتجان للتشكيل البيني عند الترددين f_3 وf_4 :

$$f_4 = f_2 + f_1 \text{ و } f_3 = f_2 - f_1$$

ويمكن أيضاً كتابة هذه الترددات باستخدام المعلمة Δf (فرق التردد). وتعتمد هذه المعلمة على نمط القياس:

$$f_1 = f_3 + \Delta f \quad \text{و} \quad f_2 = 2 \times f_3 + \Delta f \quad \text{حيث} \quad \Delta f = 2 \times f_1 - f_2$$

ويحسب بعد ذلك ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثانية للدخل:

$$IP_2 = Pin + a$$

حيث:

IP_2: ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثانية عند دخل مستقبل المراقبة قيد الاختبار

Pin: جذر متوسط تربيع القدرة (dBm) لإشارتي الاختبار المدخلتين

a: الفرق (dB) بين مستوى إشارتي الاختبار ومستوى أكبر ناتج للتشكيل البيني عند الدخل.

2.1.2 مبادئ حساب ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثالثة

تُدخل إشارتا اختبار لهما نفس القيمة لجذر متوسط تربيع القدرة (*Pin*) بترددين F_1 وF_2 (F_1 أقل من F_2) على دخل هوائي مستقبِل مراقبة. ونتيجة للاخطية، قد يظهر ناتجان للتشكيل البيني عند الترددين F_3 وF_4 :

$$f_3 = [(2 \times f_1) - f_2] \quad \text{و} \quad f_4 = [(2 \times f_2) - f_1]$$

ويمكن أيضاً كتابة هذه الترددات باستخدام المعلمة Δf (فرق التردد). وتعتمد هذه المعلمة على نمط القياس:

$$f_1 = f_3 + \Delta f \quad \text{و} \quad f_2 = f_3 + 2 \times \Delta f \quad \text{حيث} \quad \Delta f = f_2 - f_1$$

ويحسب بعد ذلك ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثالثة للدخل:

$$IP_3 = Pin + a/2$$

حيث:

IP_3: ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثالثة عند دخل مستقبِل المراقبة قيد الاختبار

Pin: جذر متوسط تربيع القدرة (dBm) لإشارتي الاختبار المدخلتين

a: الفرق (dB) بين مستوى إشارتي الاختبار المدخلتين ومستوى أكبر ناتج للتشكيل البيني عند الدخل.

2.2 الحساسية

تعرف حساسية مستقبِل لمراقبة الطيف بأنها الحد الأدنى لفولطية الإشارة (μV) عند دخل مستقبِل المراقبة التي تسمح بإزالة التشكيل والالتقاط السمعي للإشارة المستقبلة.

ويمكن تحديد المستوى الأدنى المسموع للإشارة باستخدام قياس النسبة إشارة إلى تداخل بما في ذلك الضوضاء والتشوه (SINAD).

3.2 عامل ضوضاء المستقبِل

يعتبر عامل الضوضاء إحدى المواصفات الرئيسية لمستقبِل المراقبة. ويرتبط عامل الضوضاء بشكل وثيق بحساسية مستقبِل المراقبة. وعامل ضوضاء مستقبِل المراقبة هو العامل الذي تزيد بمقداره قدرة الضوضاء الخارجة من مستقبِل المراقبة عند تطبيق ضوضاء مرجعية عليه؛ ويقاس عامل الضوضاء عند دخل مستقبِل المراقبة.

ويمكن قياس عامل ضوضاء مستقبِل المراقبة بعدة طرائق:

- طريقة الكسب؛
- طريقة "عامل-Y" (طريقة ثنائي الضوضاء)؛
- طريقة الحساسية.

4.2 خصائص المرشاح IF

يعتبر شكل وعرض نطاق ونوعية مرشحات IF المختلفة عناصر مهمة بالنسبة لمعظم تطبيقات المراقبة والقياس. وتستخدم في الأساس أربع معلمات لوصف خصائص المرشاح IF.

1.4.2 عرض نطاق التردد المتوسط (IF)

يُحدد هذا النطاق بالمسافة بين النقطتين –3 dB و–6 dB للمرشاح IF للمستقبِل.

2.4.2 التموج في نطاق التمرير واللاتناظرية للمرشاح IF

تعتمد طريقة تحديد التموج في نطاق التمرير على الجهة المصنعة. وهناك طريقتان رئيسيتان، ولكل طريقة مزاياها بالنسبة للترشيح الرقمي أو التماثلي. فالبنسبة إلى المرشحات التماثلية تستخدم القيمة بين ذروتين لأنه لا توجد ثلمات كما أن توزيع التموجات غير منتظم. بينما تستخدم في المرشحات الرقمية القيمة بين الذروة والقيمة المتوسطة لوجود الثلمات وانتظام توزيع التموجات (انظر الشكل 1).

الشـــكل 1

أمثلة على التموج في نطاق تمرير المرشاح

Rap 2125-01

3.4.2 منحني نطاق التمرير والكبت خارج النطاق للمرشاح IF

الكبت خارج النطاق هو كبت الإشارات البعيدة عن طرفي المرشاح حيث يحددان بمسافة معينة من مركز المرشاح. وطبقاً لتصميم المرشاح وإن كان أيضاً حسب تثبيته وانتهائيته، يمكن ظهور قيم مختلفة لهذا الكبت في المستقبلات المختلفة. وتعتبر هذه المعلمة مهمة بنحو خاص للمستقبلات ذات المرشحات الرقمية حيث يعتمد الكبت خارج النطاقَ على المحولات A-D (من تماثلي إلى رقمي) المستعملة. ويمكنَ أن يعتمد هذا الكبت على مسافة القياس الفعلية من التردد المركزي للمرشاح بسبب حالات الشذوذ التي تنشأ عن الإنهاء غير السليم للمرشاح.

4.4.2 عامل الشكل للمرشاح IF

يُعرف عامل الشكل بالنسبة بين عرض النطاق n dB وعرض النطاق –6 dB. ويجب تحديد العامل n، مثلاً n = 60 dB أو n = 50 dB. وينبغي تحديده لكل مرشاح (انظر الشكل 2).

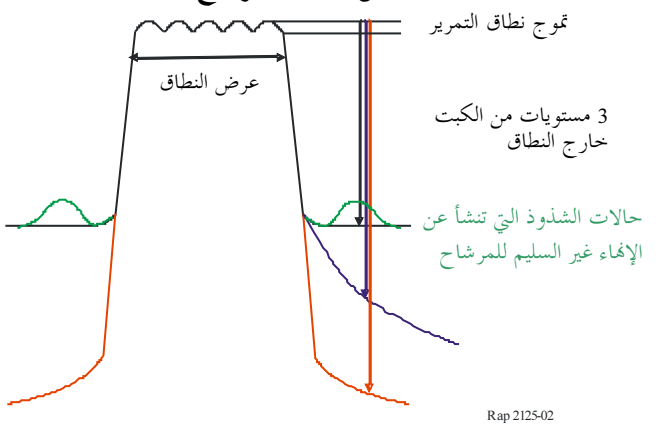
5.4.2 التأخير في زمرة المرشاح IF

تأخير الزمرة هو الفرق المتبادل في الوقت الذي يستغرقه عدد من الإشارات في المرور عبر مرشاح IF لمستقبِل.

وفي المرشحات النموذجية تمر جميع الإشارات المطبقة عند مواضع ترددات مختلفة عبر المرشاح IF بنفس التأخير وبالتالي يكون فرق الطور بين الإشارات عند الدخل هو نفسه عند خرج المرشاح. ويمكن أن يطلق أيضاً على تأخير الزمرة خطية الطور للمرشاح.

الشـــكل 2

بعض معلمات المرشاح IF



Rap 2125-02

ويكشف تأخير الزمرة عن نفسه في الأساس بالقرب من طرفي نطاق التمرير للمرشاح، وإن كان يظهر بكثرة أيضاً داخل نطاق التمرير في المرشحات عالية الرتبة. وطبقاً لقاعدة إبهام اليد، يمكننا القول إن المرشحات الضيقة والمرشحات ذات عامل الشكل المنخفض (أطراف حادة الانحدار للمرشاح) تتسم بتأخير زمرة أكبر مما ينتج عنه أداء أقل. وفي هذا الجانب لا يوجد اختلاف في الأساس بين المرشحات الرقمية والتماثلية.

ماذا يعني ذلك بالنسبة إلى مستعمل مستقبِل المراقبة؟ يعني أن المرشحات واسعة النطاق ذات الأطراف حادة الانحدار هذه تستخدم في المستقبلات لإزالة تشكيل الإشارات الرقمية خاصة مزيلات تشكيل الطور التي تعاني من انخفاض الأداء عندما يكون تأخير الزمرة كبيراً جداً. كما أن المراقبة السمعية يمكن أن تكون عملية صعبة عندما يكون تأخير الزمرة للمرشاح كبيراً جداً. ويكون صوت الإشارات مشوهاً ومشوشاً. وفي مستقبِل مراقبة للأغراض العامة، ينبغي أن يكون تأخير الزمرة للمرشاح ضمن حدود معينة لكل مرشاح IF.

وتتمثل طريقة قياس تأخير الزمرة للمرشاح في استعمال محلل شبكة ثم الكنس عبر نطاق تمرير المرشاح وتسجيل التغيرات في سلوك الطور/التردد. ويُعبر عن تأخير الزمرة بدلالة الزمن (بالميكرو أو النانوثانية).

5.2 سرعة المسح للمستقبِل

سرعة المسح (تسمى في بعض الأوقات سرعة الكنس) هي قياس لمدى السرعة التي يمكن للمستقبِل أن يقدم خلالها قيماً لمستويات الإشارة على عدد من الترددات داخل نطاق تردد معين. وهي تقاس بوحدات MHz في الثانية.

ويجب أن تتضمن سرعة المسح تأثير أي زمن لتبديل النطاق وزمن الارتداد لنهاية المسح وزمن تصحيح المذبذب المحلي وأي أزمنة تُستغرق في الحساب. وبتعبير آخر، يمكن استعمال معلمة زمن المسح لحساب فترة إعادة الدورة. ويمكن بصورة اختيارية إدراج العناصر الفردية التي تؤثر على سرعة المسح بشكل منفصل بحيث يمكن للمستعمل تحديد فترة إعادة الدورة لأي مدى اعتباطي من الترددات.

6.2 المعلمات الرئيسية لمستقبِلات أنظمة تحديد الاتجاه

طبقاً للمعلمات التي يجري قياسها، سيُنظر إلى مستقبِل نظام تحديد الاتجاه باعتباره مستقبِل مراقبة أو سلسلة استقبال لمحطة لتحديد الاتجاه ومن ثم تُطبق عمليات قياس المعلمات المَقابلة.

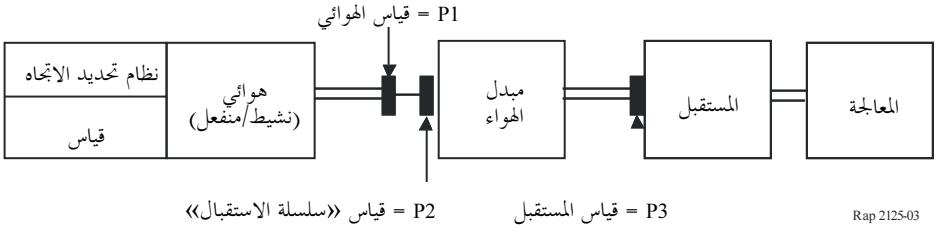
3 خطوات قياس معلمات محطات المراقبة وتحديد الاتجاه

يقدم الشكل 3 المخطط الوظيفي النمطي لمحطة لمراقبة الطيف (بالإضافة إلى محطة لتحديد الاتجاه).

ويمكن تعريف نقاط قياس عديدة لتحديد خصائص الهوائي (P1) وسلسلة الاستقبال (P2) أو المستقبِل (P3).

الشـــكل 3

المخطط الوظيفي لمحطة مراقبة/تحديد اتجاه في نطاقات الموجات الديكامترية والمترية والديسيمترية



يتألف الهوائي عادة من عدد من الهوائيات الأولية (ثنائيات الأقطاب وغيرها). ويمكن لهذه الهوائيات الأولية أن تحتوي على مكبرات تبديلية وخلايا تكييفية وما إلى ذلك. وتكون هذه المكونات بمثابة أجزاء مكملة للهوائي إذا كانت مصاحبة لهوائي أولي واحد.

وبتعبير آخر، فإن مبدلات الهوائيات المستخدمة لاختيار العديد من الهوائيات الأولية (تحديد الاتجاه أو المراقبة) لا تعد بمثابة أجزاء مكملة لهذه الهوائيات ولكن تعد بمثابة مبدل لهوائي سلسلة الاستقبال. وبالمثل، فإن المكبرات والمرشحات المشتركة للعديد من الهوائيات الأولية وكذلك مكونات تغيير الترددات أو النقل يجب ألا يُنظر إليها بأنها جزء من الهوائي بل كجزء من سلسلة الاستقبال.

ويشرح هذا القسم قياس كل من الهوائي (P1) وسلسلة الاستقبال (P2)؛ في حين يرد شرح قياس مستقبِل المراقبة (P3) في الفقرة 2.

وتعد الكبلات المستخدمة في تنفيذ المحطة (وسلسلة الاستقبال) بمثابة تمثيل لمحطة تشغيلية:

- بالنسبة إلى محطة متنقلة، تكون أطوال الكبلات المستعملة في الاختبارات 10 m؛
- بالنسبة إلى محطة ثابتة، تكون أطوال الكبلات المستعملة في الاختبارات 20 m.

1.3 قياس الناتجين IP_2/IP_3 لمحطة للمراقبة ومحطة لتحديد الاتجاه

تعتمد قياسات التشكيل البيني على الظروف التي تُجرى فيها هذه القياسات. ولكي يتسنى للمستهلكين النهائيين المقارنة بين أداء مستقبِلات المراقبة ومحطات مراقبة الطيف ومحطات تحديد الاتجاه، لذا فإنه من المهم تحديد خطوات قياس ناتجي التشكيل البيني من الدرجة الثانية (IP_2) ومن الدرجة الثالثة (IP_3).

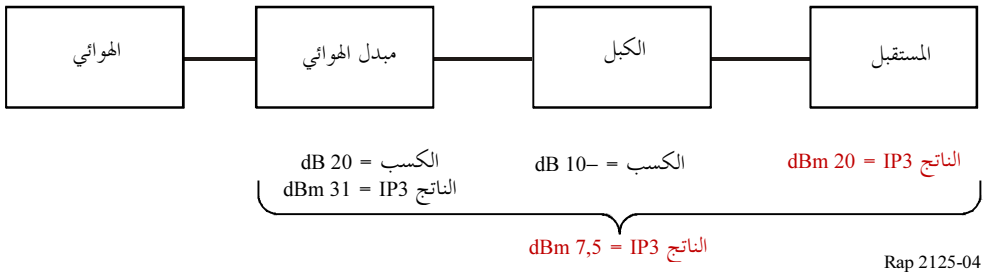
ويتولد ناتجا التشكيل البيني من الدرجة الثانية والثالثة على كل مستويات محطة مراقبة الطيف أو تحديد الاتجاه: عند الهوائيات (هوائيات تحديد الاتجاه و/أو هوائيات الاستماع) وعند مبدلات الهوائيات والكبلات وعند المستقبِلات.

وبالتالي، لكي يتسنى فهم الظاهرة الناتجة عن التشكيل البيني، يتعين معرفة التشكيل البيني المتولد عن محطة المراقبة الكاملة.

وفي المثال الموضح بالرسم في الشكل 4، يبلغ الناتج IP_3 للمستقبِل 20 dBm، ولكن نفس الناتج IP_3 المقاس عند خرج الهوائي يقل إلى 7,5 dBm. ويبين هذا المثال أن أداء المستقبِل لا يعكس بالضرورة أداء المحطة.

الشـــكل 4

مثال على قياس الناتج IP_3 لمحطة



يمكن أن تولد الهوائيات نواتج تشكيل بيني ومن ثم يجب تحديد خصائصها. وتنتج هذه اللاخطية من العناصر النشيطة و/أو محولات المواءمة. وبالتالي يعطي القياس قيماً للنواتج IP_2s والنواتج IP_3s عند خرج الهوائيات (P1).

وتقاس قيم النواتج IP_2s وIP_3s لسلسلة الاستقبال على المحطة الكاملة بدون هوائيها ويجب أن يتحصل عليها عند دخل سلسلة الاستقبال (P2).

ويرد شرح قياسات النواتج IP_2s وIP_3s لمستقبِل المراقبة في الفقرة 1.2.

1.1.3 قياس الناتجين IP_2 وIP_3 للهوائي

تُطبق إشارات الاختبار عن طريق هوائي إرسال.

ويتمثل الاختلاف الرئيسي عن الخطوات المتبعة مع المستقبِل في أن مرجع القياس هو خرج الهوائي، لذا يوجد اختلاف طفيف في المعادلات:

وعلى ذلك، يحسب ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثانية عند خرج الهوائي كما يلي:

$$IP_2s = Pout + a$$

حيث:

IP_2s: نواتج التشكيل البيني من الدرجة الثانية عند خرج الهوائي

$Pout$: جذر متوسط تربيع القدرة (dBm) لإشارتي الاختبار المدخلتين مُقاس عند خرج الهوائي

a: الفرق (dB) بين مستوى إشارتي الاختبار المدخلتين ومستوى أكبر ناتج للتشكيل البيني عند الخرج.

وبالتالي يحسب ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثالثة عند خرج الهوائي كما يلي:

$$IP_3s = Pout + a/2$$

حيث:

IP_3s: نواتج التشكيل البيني من الدرجة الثالثة عند خرج الهوائي

$Pout$: جذر متوسط تربيع القدرة (dBm) لإشارتي الاختبار المدخلتين مُقاس عند خرج الهوائي

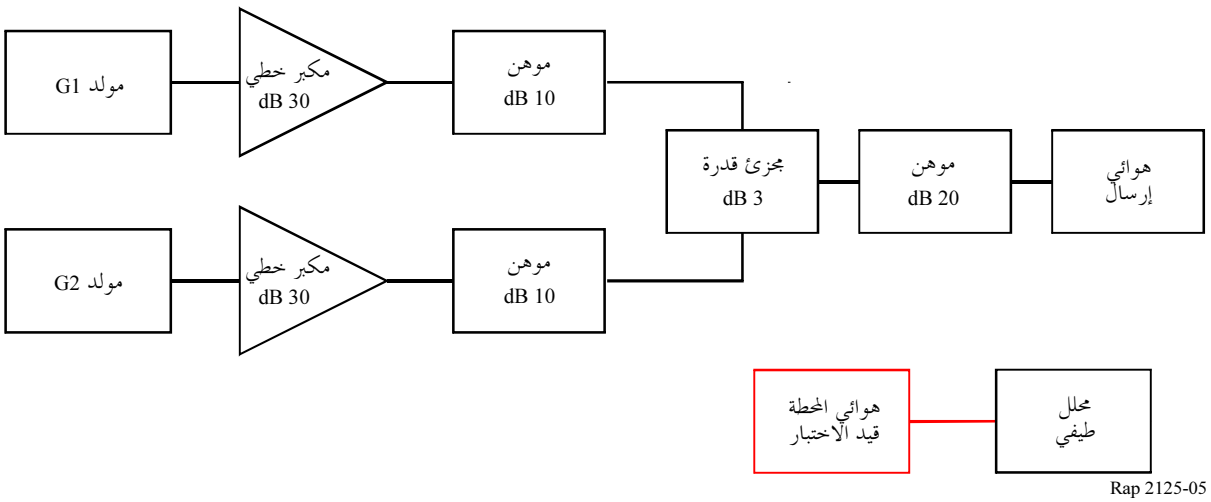
a: الفرق (dB) بين مستوى إشارتي الاختبار المدخلتين ومستوى أكبر ناتج للتشكيل البيني عند الخرج.

يجب أن تتيسر الإشارات الموجودة عند خرج الهوائي للقياس. فإذا لم تتيسر هذه الإشارات نتيجة لقيود التشغيل المتكامل، تُجرى القياسات على هوائي مرجعي مماثل بحيث تتيسر عنده إشارات الخرج.

وتتسم تشكيلة القياس المقترحة في الشكل 5 (بما في ذلك هوائي الإرسال) بأداء أعلى من مستقبِل المراقبة المقاس. حيث تكون نواتج التشكيل البيني لتشكيلة القياس هذه أكبر بنحو 10 dB من نواتج التشكيل البيني المقاسة.

الشـــكل 5

تشكيلة قياس الناتجين IP_2/IP_3 للهوائي



وينبغي أن يتم القياس بدقة أفضل من 1 dB.

2.1.3 قياس الناتجين IP_2 وIP_3 لسلسلة الاستقبال

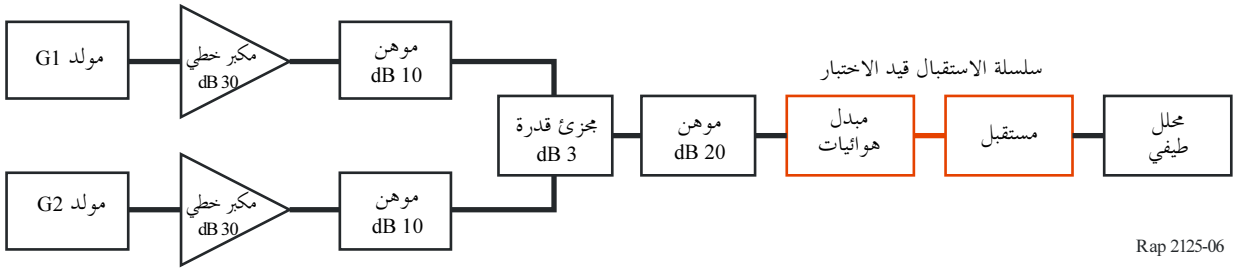
تُطبق نفس المبادئ المستخدمة في قياس مستقبِل المراقبة الوارد شرحها في الفقرة 1.2.

وتُطبق المبادئ ذاتها سواء بالنسبة إلى محطات المراقبة أو محطات تحديد الاتجاه. وفي حالة وجود قنوات عديدة، يمكن استخدام إحداها في الاختبار.

وهذا القياس محدد لكل من محطات المراقبة ومحطات تحديد الاتجاه على السواء. وترد التشكيلة المقترحة لهذا القياس في الشكل 6.

الشـــكل 6

تشكيلة قياس الناتجين IP_2/IP_3 لسلسلة الاستقبال



وينبغي أن يتم مستوى القياس بدقة أفضل من 1 dB.

2.3 قياس حساسية محطة للمراقبة/تحديد الاتجاه

عند إجراء القياسات على مستوى محطة مراقبة أو محطة تحديد اتجاه، يمكن للبيئة الكهرراديوية أن تؤثر في هذه القياسات. فعند استقبال إشارة ضعيفة بالقرب من حد الحساسية الخاص بالمحطة، يمكن للانعكاسات من العوائق المجاورة والضوضاء المحيطة والإشارات الراديوية الأخرى أن تتداخل مع القياسات.

وينبغي ألا تُدرج الأخطاء الناتجة عن تأثيرات وسط الانتشار وتعدد المسيرات والتداخل في القياسات الخاصة بحساسية المحطة. ومن ثم، فإنه من الصعب إجراء قياسات الحساسية باستخدام موقع غير متحكم به.

ولذا يُقترح بيئتان للاختبار:

- القياس على منصة باستخدام ترددات محددة.
- القياس في موقع اختبار مفتوح (OATS) باستخدام ترددات مقيدة بحيث لا تتداخل الانعكاسات من العوائق المجاورة والضوضاء المحيطة والإشارات الراديوية الأخرى مع القياسات.

وتنشر نتائج القياسات على منصة من قبل الجهات المصنعة. فيما تستخدم القياسات في موقع الاختبار المفتوح للتحقق من قياسات المنصة بالنسبة إلى الترددات المقيدة.

ولا تجرى قياسات الحساسية للمحطات في الموجات الميريامترية والكيلومترية والديكامترية (VLF/LF/HF) في موقع اختبار مفتوح للأسباب الآتية:

- تفرض أطوال موجات الإشارات في نطاقات الموجات الميريامترية والكيلومترية والديكامترية مسافات كبيرة بين المرسلات والمستقبِلات؛
- يصعب التحكم في التداخل الناجم عن الضوضاء الجوية (حيث يعتمد ذلك على نشاط البقع الشمسية وعلى الوقت من اليوم وما إلى ذلك).

وبالتالي لا تجرى إلا قياسات المنصة بالنسبة إلى قياس حساسية محطات الموجات الميريامترية والكيلومترية والديكامترية (من 9 kHz إلى 30 MHz). فيما تجرى قياسات المنصة وموقع الاختبار المفتوح على السواء لقياس حساسية محطات الموجات المترية والديسيمترية.

1.2.3 مبادئ قياس الحساسية على المنصة

لتحديد حساسية محطة مراقبة، ينبغي إجراء ثلاثة قياسات رئيسية:

- تحديد **عامل الهوائي** (راجع شكل 3 – نقطة قياس P1)؛
- تحديد **عامل ضوضاء الخلفية للهوائي** (راجع شكل 3 – نقطة قياس P1)؛
- تحديد **حساسية سلسلة الاستقبال** (راجع شكل 3 – نقطة قياس P2).

وعلى ذلك ينقسم قياس الحساسية من على منصة إلى:

- قياس عامل الهوائي لكي يتسنى تحديد القدرة الواصلة للهوائي بدلالة المجال المستقبِل. ويرد شرح لهذا القياس في الفقرة 1.1.2.3.
- قياس الضوضاء الخلفية للهوائي، التي تحدد مساهمة الهوائي في ضوضاء المحطة. ويرد شرح هذا القياس في الفقرة 2.1.2.3.
- قياس حساسية سلسلة الاستقبال. ويرد شرح هذا القياس في الفقرة 3.1.2.3 بالنسبة إلى محطة المراقبة والفقرة 4.1.2.3 بالنسبة إلى محطة تحديد الاتجاه.

ولحساب حساسية المحطة باستعمال عامل الهوائي وضوضاء الخلفية للهوائي وحساسية سلسلة الاستقبال، يجب إجراء خطوتين.

حيث تتمثل الخطوة الأولى في حساب مساهمة الهوائي في ضوضاء المحطة:

$$NFa = 10 \times \log\left[10^{\left(\frac{174+Nfloor}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{NFrc}{10}\right)} - 1\right] - NFrc$$

حيث:

NFa: مساهمة الهوائي في ضوضاء المحطة (dB)

NFrc: عامل الضوضاء لسلسلة استقبال المحطة (dB)

Nfloor: الضوضاء الأساسية للهوائي مقاسة بوحدات dBm/Hz (المقاسة – انظر الفقرة 2.1.2.3).

وتعتبر خطوة قياس عامل الضوضاء لسلسلة الاستقبال (شكل 3 – نقطة قياس P2) هي نفسها المتبعة في قياس عامل ضوضاء المستقبِل.

وتتمثل الخطوة الثانية في حساب الحساسية:

$$S = AF + Src + NFa$$

حيث:

S: حساسية المحطة (dB(μV/m))

AF: عامل الهوائي (dB(μV/m)) (المقاس – انظر الفقرة 1.1.2.3)

Src: حد الحساسية لسلسلة استقبال المحطة (dBm) (انظر الفقرتين 3.1.2.3 و4.1.2.3)

NFa: مساهمة الهوائي في ضوضاء المحطة (dB)، محسوبة أعلاه.

الملاحظـــة 1 – إذا كان الهوائي أو هوائي النطاق الفرعي نشطاً، يمكن اعتبار مساهمة الهوائي في الضوضاء قيمة معدومة. وبالتالي، تكون حساسية المحطة:

$$S = AF + Src$$

1.1.2.3 عامل الهوائي

يرد تعريف عامل الهوائي في الفقرة 2.1.1.4.4 من "دليل قطاع الاتصالات الراديوية – مراقبة الطيف" (طبعة 2011). وعامل الهوائي لهوائي استقبال هو المجال الكهربائي للموجة المستوية مقسوم على فرق الجهد الكهربائي (V0) للهوائي الموصل بحمله الاسمي (تبلغ قيمة هذا الحمل عادة 50 Ω):

$$AF = E - V0$$

حيث:

AF: عامل الهوائي (dB/m)

E: المجال الكهربي (dB(μV/m))

$V0$: فرق جهد الخرج على الحمل 50 Ω (dB(μV))

ويجري قياس عامل الهوائي في خطوتين:

– قياس المجال المستقبل بهوائي مرجعي؛

– قياس فرق الجهد الخارج من الهوائي قيد الاختبار (هوائي محطة مراقبة أو هوائي محطة تحديد اتجاه).

وينطوي مبدأ القياس على إنتاج مجال متجانس معروف على مستوى هوائي القياس ثم قياس فرق جهد خرج الهوائي. وترد التشكيلة المقترحة لهذا القياس في شكل 7.

وبالنسبة إلى الهوائيات التي لا يعرف فيها مركز الطور (مثل الهياكل الدورية اللوغاريتمية) وحيث تستخدم مسافات اختبار قصيرة (غرفة بدون صدى)، يمكن استخدام محلل شبكة لتحديد المركز الدقيق للطور. وينبغي أن يكون مركز الطور للهوائي المرجعي هو نفسه مركز الطور للهوائي قيد لاختبار.

ولا يعتمد حساب عامل الهوائي على نمط الهوائي:

$$AF_{ant} = AF_{ref} - Lev_{ant} + Lev_{ref}$$

حيث:

AF_{ant}: عامل الهوائي لهوائي تحديد الاتجاه أو المراقبة (dB/m)

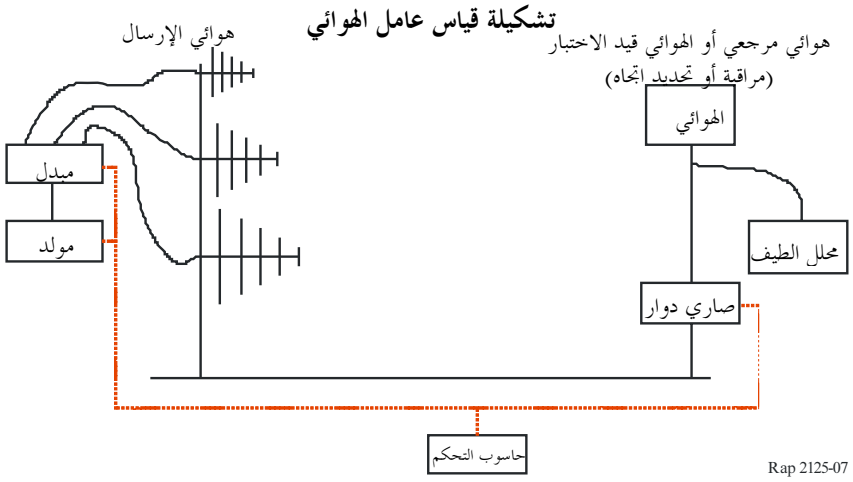
AF_{ref}: عامل الهوائي للهوائي المرجعي (dB/m)

Lev_{ant}: فرق جهد خرج هوائي تحديد الاتجاه على حمل 50 Ω (dBμV)

Lev_{ref}: فرق جهد خرج الهوائي المرجعي (dBμV).

الشـــكل 7

تشكيلة قياس عامل الهوائي



ويتم اختيار الهوائي المرجعي حسبما يلي:

- أن يعتمد عدد الهوائيات على مدى الترددات المغطى. حيث يجب أن تغطي الهوائيات مدى ترددات الهوائي الجاري اختباره بالكامل؛
- يجب أن تكون عوامل الهوائي للهوائي "المرجعي" معروفة بدقة مقابلة. ويجب أن يتقيد عامل الهوائي أو كسبه بمعيار وطني أو دولي.

ولا تدخل الخسارة في الكبلات في الحساب، لكنها يجب أن تكون واحدة بالنسبة إلى قياسات الهوائي المرجعي وقياسات الهوائيات الجاري اختبارها.

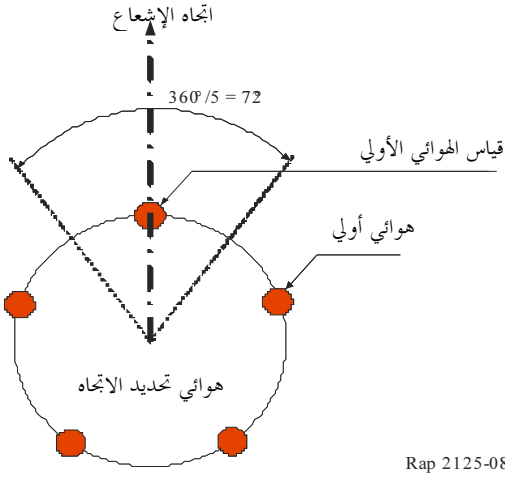
الحالة بالنسبة إلى هوائي تحديد الاتجاه

يتألف هوائي تحديد الاتجاه من عدد N من الهوائيات الأولية. ولكل هوائي أولي زاوية فتحة مقدارها $360/N$°. ويُجرى القياس عبر زاوية الفتحة هذه لهوائي أولي واحد.

فمثلاً، عندما يتألف الهوائي من خمسة هوائيات أولية من نمط ثنائي الأقطاب كما هو وارد في الشكل 8، يُجرى القياس عبر زاوية مقدارها 72°.

الشـــكل 8

قياس المستوى لهوائي تحديد اتجاه



يتم إجراء 10 قياسات للمستوى موزعة عبر زاوية من $-(360°/N)/2$ إلى $+(360°/N)/2$.

تُحسب الإشارة المستقبلة لكل تردد قياس:

$$Lev_{ant} = \frac{\sum (N_{mes})}{10}$$

الملاحظـــة 1 – تعد هذه الطريقة غير مناسبة بالنسبة إلى أنظمة تحديد الاتجاه القائمة على نظام واطسون – واط أو الدوبلرية لأن الدقة تعتمد على أبعاد الصفيف الكامل للهوائيات.

الملاحظـــة 2 – يجب استعمال نفس الكبلات ونفس أجهزة القياس (محلل الطيف أو محطة القياس) عند إجراء قياسات الهوائي المرجعي أو عند إجراء القياسات لهوائي تحديد الاتجاه.

2.1.2.3 الضوضاء الخلفية للهوائي

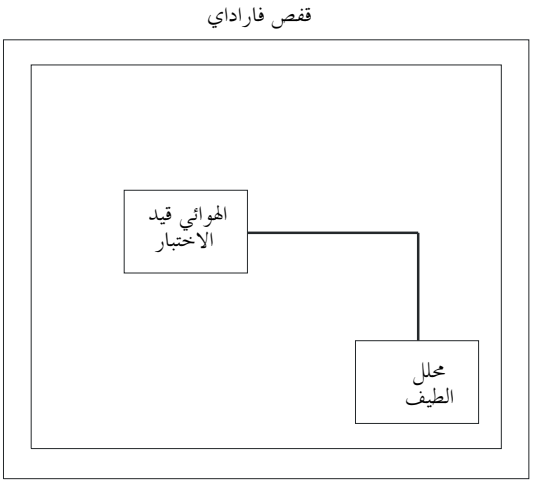
تتألف الهوائيات النشطة من عناصر تتحصل على قدرتها من خلال جهد مستمر أو تيار مستمر. وهي عبارة عن مكبرات أو مبدلات أو عناصر مواءمة قائمة على الترانزستور. وتولد المكونات النشطة كثافة قدرة ضوضاء تحط من حساسية النظام.

ويجب قياس الضوضاء الخلفية في قفص فاراداي كما هو موضح في الشكل 9. وتقاس الضوضاء الخلفية (dBm/Hz) مباشرة عند خرج الهوائي باستخدام محلل طيف.

ويجب وضع الهوائي في منطقة هادئة كهربياً بمنأى عن أي هياكل قد تؤثر على معاوقته أو كسبه. وعملياً، تعتبر حجرة معزولة (مثل قفص فاراداي) مناسبة.

الشـــكل 9

تشكيلة قياس كثافة قدرة ضوضاء الهوائي



Rap 2125-09

يجب أن يكون لمحلل الطيف ضوضاء خلفية أقل بمقدار 10 dB من كثافة الضوضاء الخارجة من الهوائي قيد الاختبار. وقد يتعين استعمال مكبر منخفض الضوضاء.

3.1.2.3 تعريف حساسية سلسلة استقبال محطة المراقبة

تعرف حساسية سلسلة استقبال محطة مراقبة (*Src*) بأنها الحد الأدنى لفولطية الإشارة (µV) عند دخل سلسلة الاستقبال التي تسمح بإزالة التشكيل وبالالتقاط السمعي للإشارة المستقبلة بصورة ملائمة.

والقياس هو نفسه المتبع في قياس معلمات مستقبِلات المراقبة. ويرد في الشكل 10 تشكيلة مقترحة لهذا القياس.

ويحدد الحد الأدنى للمستوى المسموع عن طريق قياس النسبة إشارة إلى تداخل بما في ذلك الضوضاء والتشوه (SINAD).

ويستخدم المولد لتطبيق الإشارات بالاتساعات المطلوبة على سلسلة الاستقبال.

الشـــكل 10

تشكيلة قياس حساسية سلسلة الاستقبال لمحطة مراقبة

Rap 2125-010

4.1.2.3 تعريف حساسية سلسلة استقبال محطة تحديد اتجاه

توسع الحساسية المحسنة من تغطية نظام تحديد الاتجاه أو تحتفظ بالدقة اللازمة في حالات الإشارات الضعيفة.

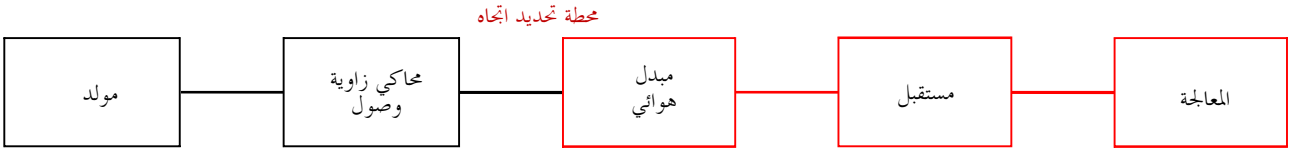
ويستند قياس الحساسية إلى الانحطاط الذي يطول دقة تحديد الاتجاه عند تقليل مستوى إشارة الاستقبال. وترد التشكيلة المقترحة لهذا القياس في الشكل 11.

ويستخدم المولد لتطبيق الإشارات بالاتساعات والأطوار المطلوبة على سلسلة الاستقبال.

ولهذا الغرض، يجب توصيل محاكي لزاوية سقوط بسلسلة الاستقبال.

الشـــكل 11

تشكيلة قياس حساسية سلسلة الاستقبال لمحطة تحديد اتجاه



Rap 2125-011

مع إجراء عدد N من القياسات مصاحبة لإشارة قوية، تُحسب زاوية الوصول (يجب أن تكون مستقرة):

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}$$

يتم تقليل مستوى الإشارة حتى الوصول إلى خطأ السمت:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}}$$

حيث:

δ: قيمة جذر متوسط تربيع الخطأ بين القياس عند حد الحساسية والقياس مع إشارة قوية (بالدرجات)

θ_0: زاوية السمت المقاسة مع إشارة قوية (بالدرجات)

θ_{mes}: زاوية السمت المقاسة لكل مستوى من مستويات المولد (بالدرجات)

N: عدد قراءات زاوية السمت لكل مستوى من مستويات المولد.

ويتم الوصول لحد الحساسية عندما:

- تكون كل قيم δ أكبر من +2° RMS،
- أو عندما يتوقف محدد الاتجاه عن إعطاء نتائج.

وإذا اختلف خطأ السمت المقبول δ عن 2° RMS في بعض مديات التردد الفرعية، يجب أن يُبلغ خطأ السمت هذا مع مواصفة الحساسية جنباً إلى جنب.

ويجب إجراء القياسات باستعمال المعلمات التالية:

- اختيار قيمة لزمن التكامل تقترب من ثانية واحدة.
- أن يكون عرض النطاق المختار قريباً من kHz 1 بقدر الإمكان.

2.2.3 مبادئ قياس الحساسية في موقع اختبار مفتوح (OATS)

وهناك طريقة أخرى لقياس الحساسية يرد شرحها في هذه الفقرة.

وموقع الفضاء الحر أو موقع الاختبار المفتوح OATS عبارة عن موقع متخصص لقياسات الهوائيات (الكسب ومخطط الإشعاع).

ويجري قياس حساسية المحطة في موقع الفضاء الحر أو موقع الاختبار المفتوح OATS على المحطة بالكامل. ويرد في الشكل 12 تشكيلة مقترحة لهذا القياس.

ويجب أن يكون هوائي الإرسال اتجاهياً لكي يتسنى توجيهه نحو هوائي الاستقبال. ويجب أن يتم اختياره بحيث يمكنه إرسال قدرة كافية دون التسبب في تشكيل بيني أو إشعاع إشارات هامشية على ترددات القياس.

ويجب وضع هوائي الاستقبال على صاري دوار بحيث يتسنى تحديد موضع الهوائي بدقة.

وعند قياس حساسية هوائي تحديد الاتجاه، ينبغي أن يكون المجال الذي يستقبله الهوائي متجانساً بحيث يكون له نفس الطور عبر الهيكل الكامل للهوائي. ويجب أن تساوي المسافة بين هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال الطول الموجي للإشارة المقاسة على الأقل أو يتم اختيارها بحيث يكون فرق الطور عبر الهيكل الكامل للهوائي أقل من 5° بالنسبة لخطأ في تحديد الاتجاه أقل من 0,5°.

ويجب اختيار بيئة الموقع بما يضمن ألا تتداخل الانعكاسات من العوائق المجاورة والضوضاء المحيطة والإشارات الراديوية الأخرى مع القياسات.

ويجب أن يكون الموقع المختار:

- خالياً من المباني؛
- لا يتضمن أي أسطح معدنية بالقرب منه؛
- لا توجد طرق بالقرب منه مما قد يؤدي إلى حدوث تداخلات من المركبات؛
- بعيد بمسافة كافية عن أي مرسل مسبب للتداخل (إذاعة ومهاتفة متنقلة ومطارات وما إلى ذلك)؛
- بعيد بمسافة كافية عن مصادر الضوضاء مثل خطوط الكهرباء ذات الضغط العالي وخطوط الهواتف وغيرها.

ويجب أن تكون المسافة بين هوائي الاستقبال وهوائي الإرسال أكبر من أبعاد الهوائي.

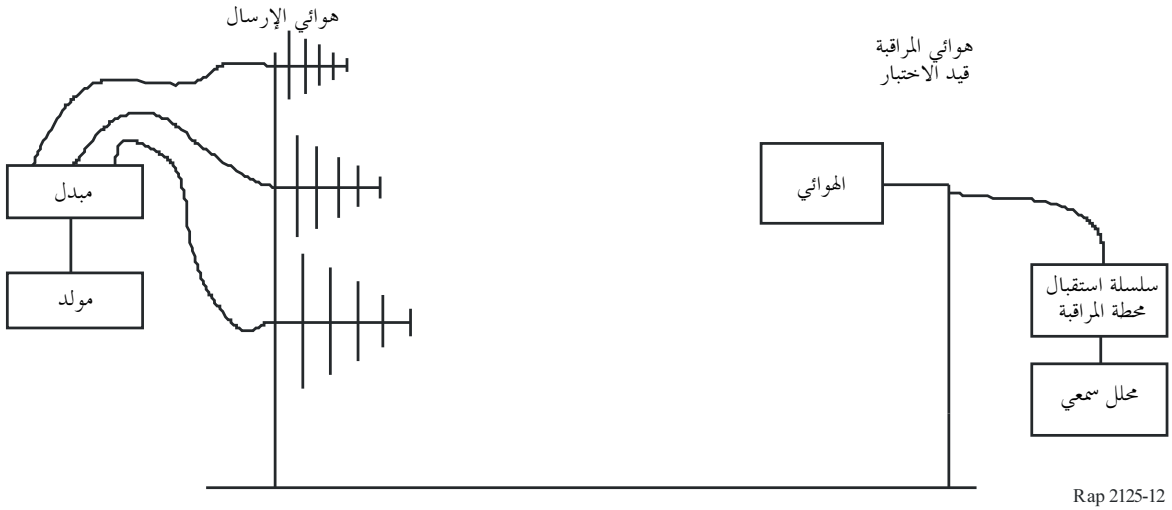
ويجب اختيار الترددات ضمن نطاقات الترددات الخالية من التداخلات.

ويجب عمل مسح على نطاقات الترددات المشغولة. ويجب استبعاد الترددات التي قد تؤدي إلى انحطاط في القياسات. وترد تشكيلة مقترحة لهذا القياس في الشكل 13.

1.2.2.3 قياس الحساسية في موقع اختبار حر (OATS) لمحطة مراقبة

الشـــكل 12

تشكيلة قياس الحساسية في موقع اختبار حر (OATS) لمحطة مراقبة



خطوات القياس:

تُعطى الحساسية بالمعادلة:

$$S = E_0 + (L_1 - L_0)$$

حيث:

S: حساسية شدة المجال لمحطة المراقبة (dB(μV/m))

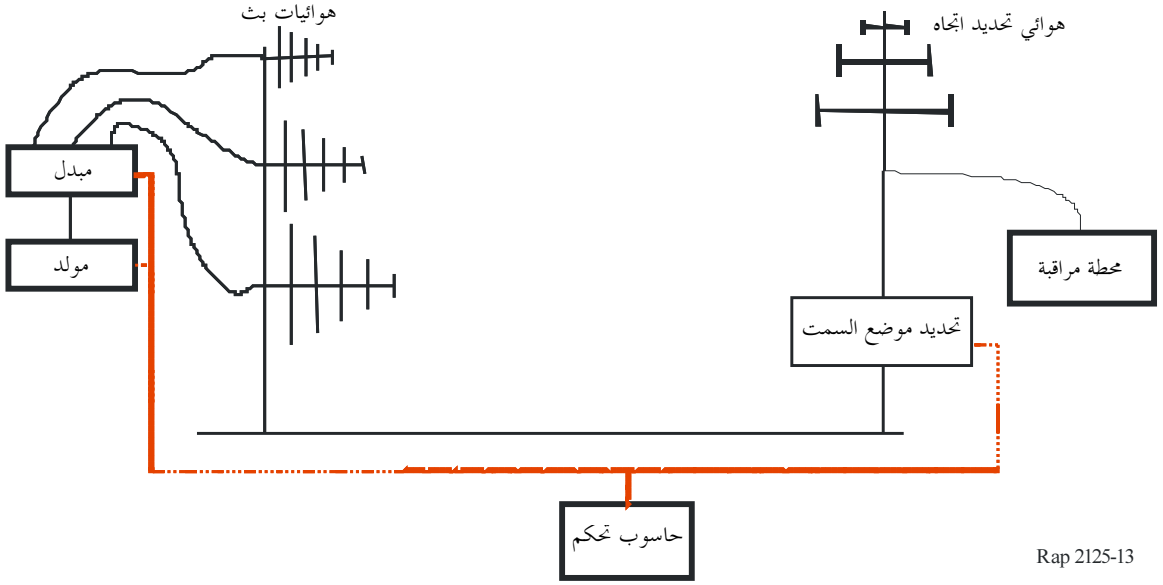
E_0: قيمة شدة المجال المقاسة (dB(μV/m))

L_0: المستوى المغذي لهوائي الإرسال بنسبة جيدة إشارة إلى ضوضاء (dB(μV))

L_1: المستوى المغذي لهوائي الإرسال عند الوصول إلى الحساسية (بوحدات (dB(μV)).

الشـــكل 13

تشكيلة قياس الحساسية في موقع اختبار حر (OATS) لمحطة تحديد اتجاه



2.2.2.3 تشكيلة قياس الحساسية في موقع اختبار حر (OATS) لمحطة تحديد اتجاه

مع عدد N من القياسات مصاحب لإشارة قوية، يتم حساب زاوية الوصول (يجب أن تكون مستقرة):

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}$$

ويلاحظ مستوى المولد ويتم إجراء قياس للمجال عند موضع هوائي تحديد الاتجاه.

يتم تقليل مستوى الإشارة حتى نصل إلى خطأ السمت:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}}$$

حيث:

δ: قيمة جذر متوسط تربيع الخطأ بين القياس عند حد الحساسية والقياس عند مستوٍ عالٍ (بالدرجات)

θ_0: زاوية السمت المقاسة مع مستوٍ عال (بالدرجات)

θ_{mes}: زاوية السمت المقاسة لكل مستوٍ من مستويات المولد (بالدرجات)

N: عدد قراءات زاوية السمت لكل مستوٍ من مستويات المولد.

ويتم الوصول لحد الحساسية عندما:

- تكون كل قيم δ أكبر من +2° RMS،
- أو عندما يتوقف محدد الاتجاه عن إعطاء نتائج.

وعند الوصول إلى حد الحساسية، يلاحظ مستوى المولد L_1 وتُحسب الحساسية:

$$S = E_0 + L_0 - L_1$$

حيث:

S: حساسية شدة المجال المحددة للمحطة (dB(μV/m))

E_0: قيمة شدة المجال (dB(μV/m))

L_0: المستوى المغذي لهوائي الإرسال (dB(μV)) بإشارة قوية

L_1: المستوى المغذي لهوائي الإرسال عند الوصول إلى الحساسية (dB(μV)).

وإذا اختلف خطأ السمت المقبول δ عن 2° جذر متوسط التربيع (rms) في بعض مديات التردد الفرعية، يجب أن يُبلغ خطأ السمت هذا مع مواصفة الحساسية جنباً إلى جنب.

3.2.3 معلمات المحطة لقياس الحساسية

لتكرار الظروف التشغيلية بأقصى حد ممكن، يجب استعمال المعلمات التالية أثناء القياسات:

- يجب إبطال التحكم الأوتوماتي في كسب المستقبِل؛
- يجب ضبط جميع مكبرات الهوائيات ومبدل الهوائي والمستقبِل، إن وجدت، على حد التكبير الأقصى؛
- يجب ضبط موهنات الهوائيات ومبدل الهوائي والمستقبِل، إن وجدت، على حد التوهين الأدنى.

4.2.3 عرض النتائج

يجب وصف معلمات القياس المشروحة في الفقرات من 4.1.2.3 إلى 2.2.2.3 عند إعطاء قيم الحساسية.

ويجب ضمان قيم الحساسية عبر نطاق الترددات بأكمله أو من خلال نطاق فرعي تحدده الجهة المصنعة. ويمكن للجهة المصنعة تقديم قيمة متوسطة أو قيمة نموذجية.

ويجب أن تذكر الجهة المصنعة ظروف حساب هذه القيمة المتوسطة أو النموذجية.

والقيم التي تذكرها الجهة المصنعة هي:

- حساسية المجال لمحطة المراقبة (dB(μV/m)) مع المعلمات التالية:
  - نمط التشكيل (A3E أو F3E)؛
  - عرض نطاق مرشاح التحليل (kHz)؛
  - دليل التشكيل أو انحراف التردد؛
  - النسبة SINAD المستعملة (dB).
- حساسية المجال لمحطة تحديد الاتجاه (dB(μV/m)) مع المعلمات التالية:
  - زمن (أزمنة التكامل)؛
  - عرض نطاق مرشاح التحليل (kHz).

3.3 المعلمات الرئيسية لمحطات تحديد الاتجاه

1.3.3 دقة تحديد الاتجاه (الزاوية): دقة النظام

لا ترد خطوات قياس دقة تحديد الاتجاه في دليل قطاع الاتصالات الراديوية – مراقبة الطيف (طبعة 2011). حيث يشرح الدليل فقط أصناف التقاويم الزاوية (الأصناف A وB وC وD) طبقاً للتوصية ITU-R SM.854 وليس خصائص مستقبِلات تحديد الاتجاه.

ودقة نظام تحديد الاتجاه هي القيمة الفعلية أو قيمة جذر متوسط التربيع للفرق بين السمت الحقيقي والاتجاه الزاوي للمبين.

ويمكن استخدام ثلاث طرائق لقياس دقة تحديد الاتجاه:

- إجراء الاختبار في بيئة حقيقية تمثل البيئة التشغيلية النهائية؛
- إجراء القياسات في موقع اختبار حر (OATS) باستعمال ترددات مقيدة بحيث لا تتداخل الانعكاسات من العوائق المجاورة والضوضاء المحيطة والإشارات الراديوية الأخرى مع القياسات؛
- إجراء القياسات على منصة: توصل محطة تحديد الاتجاه بدون هوائيها بمحاك ومولد.

ويستخدم الاختبار الأول في الأساس لتحديد دقة النظام أو الدقة العملية لاستعمال نمطي للنظام. بينما تستخدم الطريقتان الأخريان لتحديد دقة الأجهزة ويمكن استعمالهما على سبيل المثال لأغراض المعايرة.

1.1.3.3 اختبارات دقة تحديد الاتجاه في بيئة حقيقية

مقدمة بشأن الاختبار في بيئة حقيقية

يمكن قياس دقة نظام راديوي لتحديد الاتجاه، بما في ذلك أجهزة تحديد الاتجاه الراديوية القائمة بذاتها فضلاً عن وظيفة تحديد الاتجاه المدمجة مع نظام لمراقبة الطيف وتمثل جزءاً منه، بأساليب متنوعة. حيث يمكن اختبار النظام بدون هوائياته في مختبر من خلال توصيل مولد إشارة بجهاز (مثل مجزئ القدرة وكبلات ترددات راديوية RF بأطوال مناسبة) بحيث تتم محاكاة فروق

الجهد والأطوار الواقعة على الهوائيات، على أن يوصل هذا المحاكي بنظام تحديد الاتجاه من دون هوائياته. ويمكن وضع النظام في غرفة بدون صدى ويمكن توليد إشارات الاختبار واستخدامها لقياس الدقة. ويمكن وضع النظام على قاعدة اختبار أو في ميدان اختبار في بيئة نظيفة من المنظور الكهرمغنطيسي لا توجد فيها انعكاسات أو هياكل يمكن أن تتسبب في الانتشار أو الرنين أو إعادة الإشعاع على أن تختبر باستخدام إشارات قوية. وفي بيئات نظيفة كتلك، يكون أداء معظم أنظمة تحديد الاتجاه ممتازاً وتعمل هذه القياسات على تحديد "دقة أجهزة" النظام. ولا تسمح قياسات الأداء في هذه الظروف بالتمييز بين أنظمة تحديد الاتجاه، وذلك لعدم وجود الظروف التشغيلية الفعلية "العالم الحقيقي" التي تستطيع أن تعمل فيها الأنظمة عالية الأداء بينما تعجز عن العمل فيها الأنظمة منخفضة الأداء. ويمكن لإدارة أن تشترى نظاماً يؤدي بشكل جيد في اختبارات المختبر لتثبت فقط أنه لا يعمل بالمرة عند نشره فعلياً.

ولتقديم قياس دقيق لأداء نظام تحديد الاتجاه، يجب إجراء الاختبارات في ظروف تشغيل فعلية مشابهة للظروف التي سيستعمل فيها النظام بالفعل وتعمل هذه القياسات لتحديد "دقة النظام" للنظام. ويبرز باقي هذا القسم الخطوات الموصى بها لتحديد "دقة النظام" أي لاختبار أنظمة تحديد الاتجاه في ظروف التشغيل الفعلية مع مخططات تشكيل متنوعة وباستعمال إشارات بالحد الأدنى للنسبة إشارة إلى ضوضاء المحددة من جانب الجهة المصنعة للنظام. ويشرح القسمان 3.1.3.3 و4.1.3.3 خطوات تحديد "دقة الأجهزة" أي اختبار أنظمة تحديد الاتجاه في المختبر أو في ميدان اختبار باستعمال إشارات قوية.

تعريف خطوات القياس

ينبغي اختبار نظام تحديد الاتجاه في ظروف تشغيل فعلية ويفضل أن يتم ذلك في المواقع النمطية التي سيستخدم فيها النظام من جانب الإدارة المشترية. وتعتبر "الاختبارات التشغيلية للمصنع" بديلاً مقبولاً ولكن ينبغي إجراؤها في ظروف قريبة بقدر الإمكان من الظروف المتوقع أن يُنشر فيها النظام بالفعل.

وقبل إجراء اختبارات دقة تحديد الاتجاه، يجب عمل تحليل لتحديد منطقة التغطية من مرسلات الاختبار والتي ستنشر لأغراض الاختبارات ومن محطات إذاعية قائمة معروفة والمرسلات الأخرى (تعرف "بأهداف الفرصة"). ويساعد هذا التحليل على تحديد مواقع مرسلات الاختبار واختيار أهداف الفرصة التي ينبغي لمحدد الاتجاه أن يستقبلها بقوة إشارة تعطي الحد الأدنى من النسبة إشارة إلى ضوضاء المحددة من جانب الجهة المصنعة للنظام على الأقل.

ويجب إعداد أجهزة الاختبار من أجل الاختبارات. وتشمل هذه الأجهزة مرسلات الاختبار ومولدات التشكيل التي تسمح بكل أنماط التشكيل، التشكيل التماثلي والرقمي على السواء، لعروض نطاقات متنوعة، بما في ذلك الإشارات ذات عرض النطاق الضيق وتلك ذات عرض النطاق الواسع. وبالنسبة إلى التشكيل الرقمي، ينبغي أن تكون النبضات ضيقة بقدر الإمكان في حدود 0,5 ms وبطول نبضات عشوائي. وينبغي وضع هذه الأجهزة على مركبة مزودة بنظام عالمي لتحديد الاتجاه وبمصدر مناسب للطاقة الكهربائية؛ وتسير المركبة نحو مواقع مختارة عشوائياً عبر طرق تقع في منطقة التغطية المحسوبة للحصول على عدد 36 قيمة للسمت على الأقل موزعة توزيعاً جيداً.

وينبغي ضبط مستوى إشارة مرسل الاختبار لإنتاج إشارة عند نظام تحديد الاتجاه تفي بقيمة النسبة إشارة إلى ضوضاء المحددة من جانب الجهة المصنعة للنظام الجاري اختباره. وينبغي اختيار أهداف الفرصة التي تفي بالنسبة إشارة إلى ضوضاء المحددة مع تحاشي الإشارات التي تنتج نسبة إشارة إلى ضوضاء تكون أكبر من 20 dB فوق النسبة إشارة إلى ضوضاء المحددة.

ولكل قياس يتم إجراؤه، يحسب خطأ الاتجاه الزاوي وهو يساوي الفرق بين السمت الحقيقي (زاوية هوائي اختبار المرسل) والاتجاه الزاوي المكتشف على جهاز تحديد الاتجاه.

وأثناء الاختبارات، ينبغي تسجيل البيانات الخاصة بالقياسات لعدد 36 قيمة سمت على الأقل موزعة توزيعاً جيداً داخل النطاق 360°. وينبغي أن يكون هناك في الأساس عدد كبير جداً من مواقع الاختبار لتغطية مدى 360° بأكمله بمباعدات سمتية (عشوائية) مختلفة تنتج قياسات باستبانة تصل إلى 10° ولكن ليس كل 10° بالضبط وليس كل 10°. وينبغي أن تتباعد نقاط القياس عن بعضها بنحو 6° على الأقل و14° على الأكثر بمتوسط 10° لتوفير المرونة في اختيار مواقع القياس المناسبة في الميدان.

وعلى سبيل المثال، يمكن أن تتكون مجموعة قياس "مناسبة" من 36 موقع اختبار على الاتجاهات الزاوية التالية بالنسبة إلى هوائي تحديد الاتجاه:

1° و8° و14° و27° و39° و46° و60° و72° و85° و92° 104° و118° و131° و144° و156° و165° و172° و179° و189°و198° و206° و215° و222° و235° و247° و258° و268° و276° و286° و299° و310° و319° و327° و334° و346° و354.

ولهذه المجموعة قيمة تزايد دنيا تبلغ 6° (8° إلى 14°) وقيمة تزايد قصوى تبلغ 14° (46° إلى 60° ومن 104° إلى 118°) ويبلغ التزايد "المتوسط" مع 36 قياس 10°.

وينبغي قياس الخطأ في الاتجاه الزاوي لتسعة ترددات على الأقل من كل عشرة تكون موزعة توزيعاً جيداً داخل مدى التردد لجهاز تحديد الاتجاه، بما في ذلك بداية ونهاية المدى تكون من بينها خمسة ترددات على الأقل ضمن المدى التشغيلي إذا كانت لا تشكل العقد العشري بأكمله.

وينبغي جمع البيانات لكل زاوية سمت ولكل تردد ولعدة حالات من عمليات التشكيل عند كل زاوية سمت وعند كل تردد، بما في ذلك التشكيل التماثلي والرقمي وضيق وواسع النطاق. ويمكن توسيط قياسات تحديد الاتجاه الفردية لإنتاج نتيجة تحديد اتجاه مركبة لكل حالة من حالات زاوية السمت والتردد والتشكيل، تصف 10% على الأكثر من قياسات تحديد الاتجاه الفردية "بيانات عامة خام". وتتم بعد ذلك مقارنة محصلة نتائج تحديد الاتجاه بزاوية وصول معروفة ثم يحسب الخطأ، أو Δ ثم يتم إدخاله في جدول بيانات الاختبار.

وتستخدم معظم أنظمة تحديد الاتجاه هوائيات مستقطبة رأسياً في الاستقبال لأن الهوائيات المستقطبة أفقياً في الاستقبال تزيد من تكلفة وتعقد نظام تحديد الاتجاه ولأن الإشارات محل الاهتمام تكون عادة مستقطبة رأسياً أو يمكن استقبالها نتيجة لتأثيرات الاستقطاب والانتشار غير الجيدين بهوائي رأسي الاستقطاب. وتحديداً:

أ) تواجه الموجات الديكامترية الجوية عالية التردد دوران الاستقطاب في طبقة الأيونوسفير، لذلك يكفي هوائي باستقطاب واحد، رأسي عادة، لاستقبال الإشارات الديكامترية الصادرة إما باستقطاب رأسي أو أفقي. بينما تنتشر الموجات الديكامترية الأرضية كإشارات مستقطبة رأسياً لأن الإشارات المستقطبة أفقياً لا يمكنها الانتشار كموجات أرضية.

ب) معظم إشارات الموجات المترية والديسيمترية (VHF/UHF) (بخلاف بعض الإشارات التلفزيونية) تكون باستقطاب رأسي عادة (أو على الأقل مزدوجة الاستقطاب مثل الكثير من إشارات الإذاعة بتشكيل التردد FM) لذا فإن معظم القياسات الهامة تكون رأسية. والإشارات القليلة ذات الاستقطاب الأفقي فقط (مثل بعض الإذاعات التلفزيونية) يكون موقعها معروف جيداً على الأغلب وبالتالي لا توجد ضرورة للتحديد الدقيق لاتجاه هذه الإشارات. ونتيجة لبساطة بناء هوائيات الموجات المترية والديسيمترية، خاصة بالنسبة إلى المنصات المتنقلة، تستعمل معظم المرسلات محل الاهتمام هوائيات رأسية وهذا هو الاحتياج الأكثر أهمية بالنسبة لتحديد الاتجاه.

ج) وتستخدم بعض التكنولوجيات في نطاق الموجات الديسيمترية إشارات قد يكون لها استقطاب أفقي أو قد يختلف استقطابها حسب التوجيه اللحظي لهوائي الإرسال (مثل الخلوي المتنقل) ومن ثم قد يكون من المهم تحديد خصائص أداء نظام تحديد الاتجاه إزاء الإشارات المرسلة باستقطاب أفقي.

بيد أن أكثر اختبارات تحديد الاتجاه تتم باستقطاب رأسي. ومع ذلك، يمكن إجراء اختبارات تحديد الاتجاه بإشارات مرسلة باستقطاب أفقي بالإضافة إلى الاستقطاب الرأسي. ويجب الإشارة إلى استقطاب إشارات الاختبار في جدول بيانات الاختبار.

والجدول 1 يعتبر مثالاً على جدول بيانات الاختبار هذا؛ ويستخدم جدول كهذا لكل تشكيل تماثلي ولكل تشكيل رقمي يجري اختباره.

الجـــدول 1

مثال لجدول بيانات اختبار

تشكيل الإشارة _____ استقطاب الإشارة _____

الدليل	حقيقي السمت	التردد 1 DF	التردد 1 Δ	التردد 2 DF	التردد 2 Δ	التردد 3 DF	التردد 3 Δ	التردد 4 DF	التردد 4 Δ		التردد M DF	التردد M Δ
1	°1											
2	°8											
3	°14											
36	°354											

تشير DF (تحديد الاتجاه) في الجدول إلى السمت المقاس بينما تشير Δ إلى الفرق بين السمت المقاس والحقيقي.

وعند إجراء الاختبارات، ينبغي أن تسير المركبة نحو الموقع الأول. وينبغي استخدام النظام العالمي لتحديد الموقع في تحديد الموقع الدقيق الذي يُحدد من عنده الاتجاه الزاوي بين نظام تحديد الاتجاه ومرسل الاختبار. ثم يتم بعد ذلك إدخال السمت في جميع جداول بيانات الاختبار لمختلف عمليات التشكيل، وينبغي أن تُجرى الاختبارات للترددات والتشكيلات المختلفة وأن تسجل البيانات في جداول البيانات. وبعد الانتهاء من القياسات في موقع واحد، تتحرك المركبة نحو موقع يزيد عشوائياً بمقدار 10° تقريباً عن الاتجاه الزاوي السابق وتُكرر خطوات القياس. وتُكرر هذه الخطوات حتى تستكمل القياسات عند جميع زوايا السمت المطلوبة.

وتُحسب القيمة الفعلية أو جذر متوسط التربيع (RMS) لخطأ الاتجاه الزاوي كما يلي:

$$\Delta_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\Delta_i^2}$$

حيث :

N: عدد القياسات.

وينبغي النظر في بدائل لحساب جذر متوسط التربيع (RMS) للخطأ أثناء مراجعة دولية لمشروع هذا النص. فمثلاً، يمكن النظر في دالة التوزيع التراكمي للخطأ حيث يمكن تحديد النسبة المئوية للقياسات الإجمالية التي تقع في حدود خطأ معين للسمت. وعلى سبيل المثال، يمكن بالنسبة إلى نظام ما تحديد:

النسبة المئوية للقياسات	*الخطأ في السمت*
%50	أقل من 0,1 درجة
%67	أقل من 1,7 درجة
%90	أقل من 5,5 درجة

وباستعمال القيمة 90 للنسبة المئوية من القياسات كمرجع يعطينا في هذه الحالة مواصفة خطأ أقل من 5,5° لهذا النظام.

ولضمان اعتمادية النتائج، يجب تنفيذ الشروط التالية:

أ) ينبغي ضبط زاوية السمت للمرسل بالنسبة إلى محطة تحديد الاتجاه (السمت الحقيقي) بدقة 0,1º على الأقل من قيمة جذر متوسط التربيع أو عشر الدقة المقدرة لتحديد الاتجاه، أيهما أكثر صرامة، مع مراعاة مستوى ثقة مقداره 95,45%.

ب) يمكن استبعاد حتى 10% من المواقع في منطقة التغطية (زوايا السمت) لمراعاة عملية تحديد الموقع والتغطية والمشكلات التشغيلية الأخرى بشرط استنباط عملية أو خطوة مناسبة لاستبعاد هذه البيانات.

ج) ينبغي أن تكون الدقة المعلنة لنظام تحديد الاتجاه هي قيمة جذر متوسط التربيع المحسوبة لجميع نقاط البيانات خلاف تلك التي تم استبعادها.

وبالنظر في هذا المثال إلى نظام تحديد اتجاه يعمل بمجموعتي هوائيات يمكن تحديد نقاط الاختبار التالية باعتبارها العدد الأدنى لنقاط الاختبار المتفقة مع هذا المعيار:

أ) هوائي في مدى تردد من 80 MHz إلى 1 300 MHz.

- 36 نقطة سمت موزعة جيداً ضمن نطاق 360°.
- 13 نقطة تردد، اثنتان منها في العقد العشري الأول من المدى التشغيلي (80 MHz و90 MHz) و9 نقاط في العقد الثاني (من 100 MHz إلى 900 MHz) ونقطتان لاستكمال المدى في العقد الثالث (من 1 000 MHz إلى 1 300 MHz).
- عدد إجمالي لنقاط الاختبار $N = 36 \times 13 = 468$ لكل عملية تشكيل من عمليات التشكيل العديدة التماثلية والرقمية.

ب) هوائي في مدى تردد من 1 300 MHz إلى 3 000 MHz.

- 36 نقطة سمت موزعة جيداً ضمن نطاق 360°.
- 5 نقاط تردد على الأقل طالما كان المدى لا يشكل عقد عشري لوغاريتمي كامل (1 300 و1 640 و1 980 و2 320 و2 660 و3 000 MHz).
- عدد إجمالي لنقاط الاختبار $N = 36 \times 5 = 180$ لكل عملية تشكيل من عمليات التشكيل العديدة التماثلية والرقمية.

2.1.3.3 اعتبارات إضافية من أجل قياسات تحديد الاتجاه عالية التردد

تواجه عملية قياس دقة تحديد الاتجاه في نطاق الموجات الديكامترية (HF) بعض القيود الأخرى:

- يفرض الطول الموجي للإشارة عالية التردد (HF) مسافات هامة بين المرسلات والمستقبِلات،
- لا يسهل التحكم في تغيرات الضوضاء الجوية (حيث يعتمد ذلك على النشاط الشمسي والوقت ليلاً أم نهاراً ومتغيرات أخرى).

وبالتالي تكون قياسات دقة تحديد الاتجاه في نطاق الموجات الديكامترية هي نفسها بالنسبة إلى نطاقي الموجات المترية والديسيمترية، فيما عدا:

- أن المرسل يجب أن يكون مرسلاً إذاعياً حقيقياً له خصائص معروفة (السمت والمستوى)، أو
- أن تكون عربة المرسل HF في موقع معروف.

مثال على مواصفة مدرجة في بطاقة بيانات:

دقة تحديد الاتجاه: ≤ 2° RMS (80 MHz إلى 1 300 MHz، استناداً إلى الاختبارات التشغيلية) (حسب التوصية ذات الصلة من توصيات السلسلة ITU-R SM).

دقة تحديد الاتجاه: ≤ 2° RMS (1 300 MHz إلى 3 000 MHz، استناداً إلى الاختبارات التشغيلية) (حسب التوصية ذات الصلة من توصيات السلسلة ITU-R SM).

3.1.3.3 تعريف خطوات اختبار دقة تحديد الاتجاه في موقع اختبار مفتوح (OATS)

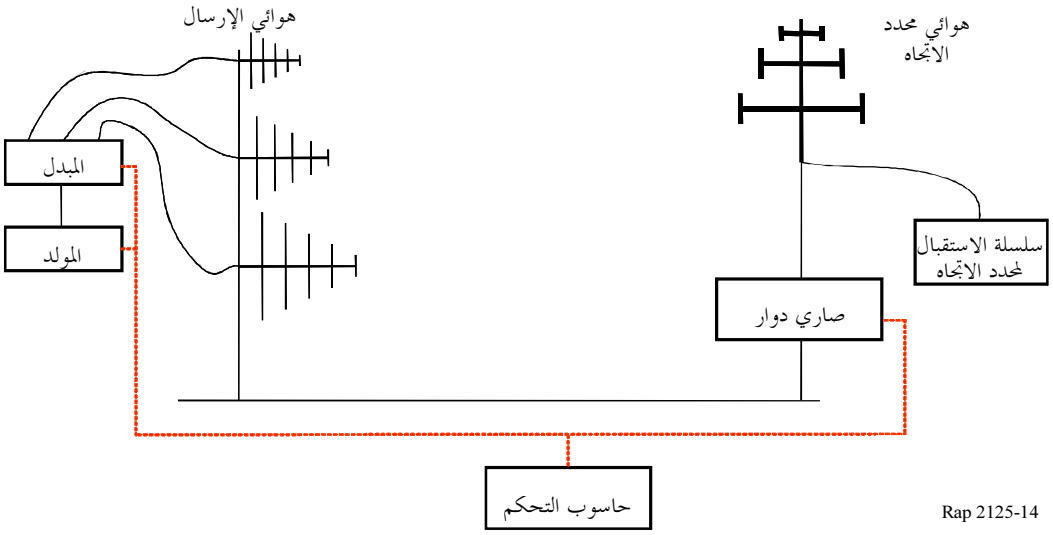
يمكن اختبار النظام بدون هوائياته في المختبر من خلال توصيل مولد إشارة بمحاكي على أن يوصل هذا المحاكي بنظام تحديد الاتجاه من دون هوائياته. ويمكن وضع النظام في موقع اختبار مفتوح (OATS) في بيئة نظيفة من المنظور الكهرمغنطيسي لا توجد فيها انعكاسات أو هياكل يمكن أن تتسبب في الانتشار أو الرنين أو إعادة الإشعاع على أن تختبر باستخدام إشارات قوية. انظر الشكل 14. وفي بيئات نظيفة كتلك، تعمل القياسات من أجل تحديد "دقة أجهزة" النظام. ولا تعتبر دقة الأجهزة عادة مؤشراً جيداً لكيفية أداء نظام تحديد الاتجاه في ظروف التشغيل الفعلية لأن أكثرية أنظمة تحديد الاتجاه تعمل بشكل جيد في البيئة المتحكم بها لمختبر أو قاعدة اختبار عند استعمال إشارات اختبار قوية.

وبالنسبة لهذا الاختبار، تقاس دقة تحديد الاتجاه لنظام تحديد الاتجاه باستخدام مرسل اختبار يوضع في منطقة الجوار المحيطة بهوائي نظام تحديد الاتجاه في بيئة خالية من الانعكاسات. ويجب أن يسمح ترتيب الاختبار بتغيير سمت هوائي اختبار المرسل بخطوات محددة بحيث تتم تغطية مدى الاتجاه الزاوي الكامل البالغ 360°.

وينبغي استبعاد الترددات التي تؤدي فيها تأثيرات وسط الانتشار أو تعدد المسيرات إلى أخطاء في تحديد الاتجاه.

الشـــكل 14

تشكيلة قياس دقة تحديد الاتجاه لمحطة تحديد اتجاه في موقع اختبار مفتوح (OATS)



ويُحسب الخطأ في السمت المقاس كما يلي:

$$\theta_{(F,\theta)} = (\theta_{mes} - \theta_{theo})$$

حيث:

θ_{mes}: الزاوية المقاسة عند التردد والسمت المختارين (بالدرجات)

θ_{theo}: الزاوية النظرية مع السمت المختار (بالدرجات).

وتُحسب نتيجة دقة تحديد الاتجاه بحساب المتوسط التربيعي لجميع القيم للترددات وزوايا السمت المختارة:

$$\theta = \sqrt{\frac{\sum_{\theta}\sum_{F}\theta_{(F,\theta)}^{2}}{N}}$$

θ: قياس السمت (بالدرجات لجذر متوسط التربيع)

$\theta_{(F,\theta)}$: الزاوية المقاسة عند التردد والسمت المختارين (بالدرجات)

N: عدد نقاط القياسات.

ويمكن جبر الخطأ الناتج عن جهد انحياز التركيب لهوائي محدد الاتجاه مع مراعاة متوسط جهد الانحياز الصادر عن جميع الأجهزة كالتالي:

$$\theta = \theta - \frac{\sum_{\theta}\sum_{F}\theta_{(F,\theta)}}{N}$$

وتواجه عملية قياس دقة تحديد الاتجاه في نطاق الموجات الديكامترية بعض القيود الأخرى:

- يفرض الطول الموجي للإشارة عالية التردد HF مسافات هامة بين المرسلات والمستقبِلات؛
- يصعب التحكم في تغيرات الضوضاء الجوية (حيث يعتمد ذلك على النشاط الشمسي والوقت من اليوم ليلاً أم نهاراً ومتغيرات أخرى).

وبالتالي تكون قياسات دقة تحديد الاتجاه في نطاق الموجات الديكامترية هي نفسها بالنسبة إلى نطاقي الموجات المترية والديسيمترية، فيما عدا:

- أن المرسل يجب أن يكون مرسلاً إذاعياً حقيقياً له خصائص معروفة (السمت والمستوى)؛
- أو أن تكون عربة المرسل HF في موقع معروف.

توزيع نقاط القياسات

لكي يتسنى التوزيع العادل للترددات على النطاق بأكمله، يجب اختيار الترددات كما يلي:

- أن يتم التوزيع ثمانياً؛
- أن يكون عدد القياسات لكل نطاق فرعي ثابتاً ويساوي أو يزيد عن 1؛
- أن يتم اختيار نقاط القياسات عشوائياً.

وبالنسبة إلى القياسات في موقع في الفضاء المفتوح، يتم اختيار زوايا السمت للقياسات كما يلي:

- أن يكون عدد زوايا السمت للقياسات ثابتاً ويساوي أو يزيد عن 2؛
- أن يتم اختيار زوايا السمت للقياسات عشوائياً في المدى 360°.

ويجب ضمان دقة تحديد الاتجاه. ويجب أن تكون الدقة المنشورة لتحديد الاتجاه صالحة عبر المدى المقدر من درجات الحرارة المبين في بطاقة البيانات.

4.1.3.3 تعريف خطوات قياس دقة تحديد الاتجاه على منصة

تُقاس دقة تحديد الاتجاه باستخدام محاكي لسمت الوصول. ويجعل هذا الجهاز من الممكن تطبيق إشارة بالاتساع والطور السليمين على كل هوائي أولي في هوائي تحديد الاتجاه. انظر الشكل 15.

الشـــكل 15

تشكيلة قياس دقة تحديد الاتجاه لمحطة تحديد اتجاه على منصة

وطريقة القياس المتبعة هنا هي نفسها طريقة القياس في موقع اختبار مفتوح (OATS) فيما عدا أن السمت النظري يتحصل عليه من محاكي الهوائي.

2.3.3 قياس سرعة مسح نظام تحديد الاتجاه

تحدد سرعة مسح نظام تحديد الاتجاه عدد المرسلات التي يمكن لمحطة تحديد اتجاه تحليلها خلال فترة زمنية معينة. وتعتمد هذه المعلمة على عاملين:

- سرعة المستقبِل (تحديد موضع المذبذبات المحلية والمرشحات ...)؛
- سرعة المعالجة الرقمية (محول فورييه السريع FFT وتحديد الاتجاه ...).

وتعتبر سرعة المسح بمثابة قدرة نظام تحديد الاتجاه على قياس معدل كشف صالح لنظام تحديد الاتجاه للإشارات الواردة في نطاق تردد معين بين Fmin وFmax. ويُعطى أداء سرعة المسح بوحدات MHz/s.

ولا تعتمد سرعة مسح نظام تحديد الاتجاه على الهوائي المستخدم، لذلك تُجرى القياسات بدون الهوائي. ويكون قياس سرعة المسح هذا هو سرعة مسح سلسلة الاستقبال لمحطة تحديد الاتجاه كما هو محدد في الشكل 10.

ويتم ضمان الأداء من خلال قياسين:

- حساب صالح للسمت لرشقة يقنن السرعة التي يتم مسح النطاق بها؛
- حساب صالح للسمت للعديد من الرشقات المتآونة التي لا تؤثر على السرعة التي يتم مسح النطاق بها.

ويؤخذ في الاعتبار قياسات السمت الصالحة فقط عند قياس سرعة المسح.

عرض النتائج

يجب ضمان قيمة سرعة المسح لنظام تحديد الاتجاه.

ويجب أن تكون سرعة المسح المنشورة صالحة عبر كامل المدى المقدر من درجات الحرارة المبين في بطاقة البيانات.

3.3.3 الحد الأدنى لفترة إشارة تحديد الاتجاه

مبادئ القياس

يصف الحد الأدنى لفترة الإشارة الحد الأدنى من الزمن الذي ينبغي أن تكون الإشارة موجودة فيه لكي يتمكن نظام تحديد الاتجاه من اكتشافها وقياسها.

ويعتمد هذا الزمن على:

- سرعة المعالجة الرقمية (محول فورييه السريع FFT وتحديد الاتجاه ...)؛
- المرشاح IF المختار.

ويتمثل المبدأ الأساسي للقياس في توليد نبضة تساوي في الزمن الحد الأدنى لفترة الإشارة ثم حساب احتمال الاكتشاف. وينبغي أن يكون هذا الاحتمال أكبر من 95%.

عرض النتائج

يجب ضمان قيمة الحد الأدنى لفترة الإشارة.

ويجب أن يكون الحد الأدنى لفترة الإشارة صالحاً عبر كامل المدى المقدر من درجات الحرارة المبين في بطاقة البيانات.