الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R SM.2354-0 التقـــرير

(2015/06)

إجراء اختباري بديل لقياس دقة جهاز تحديد الاتجاه وحصانته باستخدام جهاز محاكاة

السلسلة **SM**

إدارة الطيف

تمهيـــد

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	العنـــوان
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 الاستدلال الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
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، 2015

© ITU 2015

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.2354-0

إجراء اختباري بديل لقياس دقة جهاز تحديد الاتجاه وحصانته باستخدام جهاز محاكاة

(2015)

جـــدول المحتـــويات

		الصفحة
1	مقدمة	2
2	إعدادات القياس	2
1.2	جهاز محاكاة زاوية الورود	2
2.2	جهاز محاكاة لبيئة نظيفة	3
3.2	جهاز محاكاة لبيئة متعددة المسيرات	3
4.2	معايرة جهاز المحاكاة	4
3	نمذجة الهوائي	5
1.3	النمذجة بتحليل المجال الكهرمغنطيسي	5
2.3	النمذجة ببيانات القياس	5
4	إجراء القياس	5
1.4	بيئة صافية	5
2.4	بيئة المسيرات المتعددة	6
5	اعتبارات إضافية لقياسات جهاز تحديد الاتجاه في نطاق الموجات الديكامترية (HF)	6
الملحق 1 – عيّنتان من تشكيلة جهاز محاكاة زاوية الورود		7
الملحق 2 – مقارنة بين نتائج قياس المحاكاة ونتائج القياس الفعلي		9

1 مقدمة

تعرِّف التوصيتان، ITU-R SM.2060-0 – إجراءات الاختبار لقياس دقة أجهزة تحديد الاتجاه وITU-R SM.2061-0 - إجراءات الاختبار لقياس مناعة أجهزة تحديد الاتجاه ضد الانتشار المتعدد المسيرات، إجراءات اختبار مقيَّسة كي تستخدمها الجهات المصنِّعة لأجهزة تحديد الاتجاه (DF) مما سيتيح للمستخدمين مقارنة دقة تحديد الاتجاه في أنظمة تحديد الاتجاه المصنوعة لدى جهات تصنيع مختلفة.

ويوفر جهاز المحاكاة الذي يرد وصفه أدناه أسلوب قياس بديل حيث يصعب قياس دقة تحديد الاتجاه باستخدام غرفة كاتمة للصدى أو مواقع اختبار في الفضاء الطلق (OATS). ويُستفاد منه بشكل خاص لقياس دقة تحديد الاتجاه في المناطق التي يصعب فيها ضمان موقع اختبار في الفضاء الطلق ببيئة نظيفة كهرمغنطيسياً و/أو حيث يصعب الحصول على ترخيص ترددات لقياس ضمن موقع اختبار في الفضاء الطلق. وهو مفيد أيضاً عندما يعجز القياس في غرفة كاتمة للصدى عن ضمان مسافة كافية من نظام تحديد الاتجاه عند إجراء الاختبار في نطاق الموجات الديكامترية (HF).

ويتألف هوائي تحديد الاتجاه من عناصر هوائيات متعددة. وتتمثل الميزة الرئيسية لجهاز المحاكاة هذا في محاكاته لاتساع وطور إشارات الخرج المرسلة من عناصر هوائيات متعددة (تسمى هذه الإشارات بشكل جماعي "استجابة صفيف")، عندما تستقبل إشارة دخل من الخارج. ويمكن تحليل استجابة الصفيف لهوائي تحديد الاتجاه عند مستوى من الدقة ممكن عملياً باستخدام أحدث أدوات تحليل المجال الكهرمغنطيسي المتاحة اليوم.[1] وبطبيعة الحال، فإن استخدام البيانات المقيسة من استجابة الصفيف لهوائي تحديد الاتجاه يتسم بالفعالية.

ويوفر الملحق 1 عينة من تشكيلة محاكاة زاوية ورود يمكن استخدامها بأسلوب القياس على النحو الموضح أدناه. ويوفر الملحق 2 بعض بيانات القياس لإظهار أن نتائج قياس دقة تحديد الاتجاه التي حُصل عليها باستخدام جهاز محاكاة قابلة للمقارنة بتلك النتائج التي حُصل عليها بالقياس الفعلي.

2 إعدادات القياس

1.2 جهاز محاكاة زاوية الورود

يبين الشكل 1 الدارة الأساسية لمحاكاة زاوية الورود التي تحاكي استجابة الصفيف. وتحاكي هذه الدارة إشارات الخرج الكهربائية المرسلة من عناصر هوائي تباعاً (أي استجابة الصفيف) عندما يستقبل هوائي تحديد الاتجاه إشارة دخل واردة من سمت معين. ويتولى جهاز محاكاة زاوية الورود الكثير من نفس وظائف جهاز محاكاة سمت الورود التي جاء وصفها في التقرير ITU-R SM.2125، ولكن يمكنه أيضاً أن يأخذ زاوية الارتفاع في الحسبان.

وكل من مدخلات ومخرجات الإشارات جهاز محاكاة زاوية الورود هذا هي إشارات ترددات راديوية. ولا تنحصر إمكانية تأثر خرج التردد المختبَر في فرق الطور الناجم عن ترتيب عناصر الهوائي والاتساع المحدد باتجاهية عناصر الهوائي، بل قد يتأثر خرج التردد المختبَر أيضاً بتغير الاتساع والطور الناجم عن الاقتران المتبادل بين عناصر الهوائي، وحتى تأثير التداخل بفعل هيكل هوائي (مثل التداخل من صاري الهوائي، وغيره).

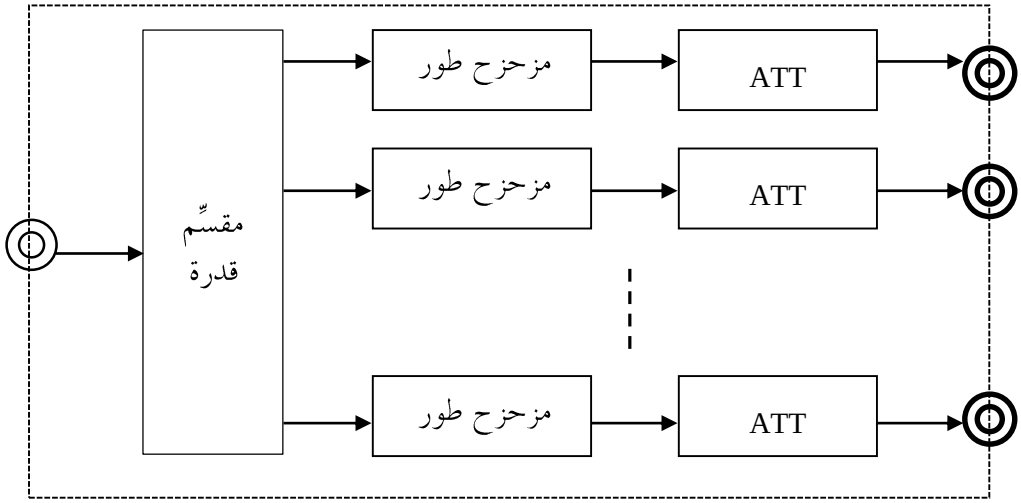
وتمكّن محاكاة إشارة الخرج التي يرسلها كل عنصر هوائي، بتغيير إعدادات مزحزح الطور والموهن (ATT) وفقاً لزاوية ورود إشارة الدخل.

---

[1] من أمثلة أدوات تحليل المجال الكهرمغنطيسي: برمجيات غير تجارية: "NEC-4" أُعدّت في المختبر الوطني الأمريكي Lawrence Livermore وجامعة كاليفورنيا؛ وبرمجيات تجارية: "ANSYS HFSS" بترخيص من شركة ANSYS و"CST STUDIO SUITE" بترخيص من شركة Computer Simulation Technology AG.

الشـــكل 1

الدارة الأساسية جهاز محاكاة زاوية الورود

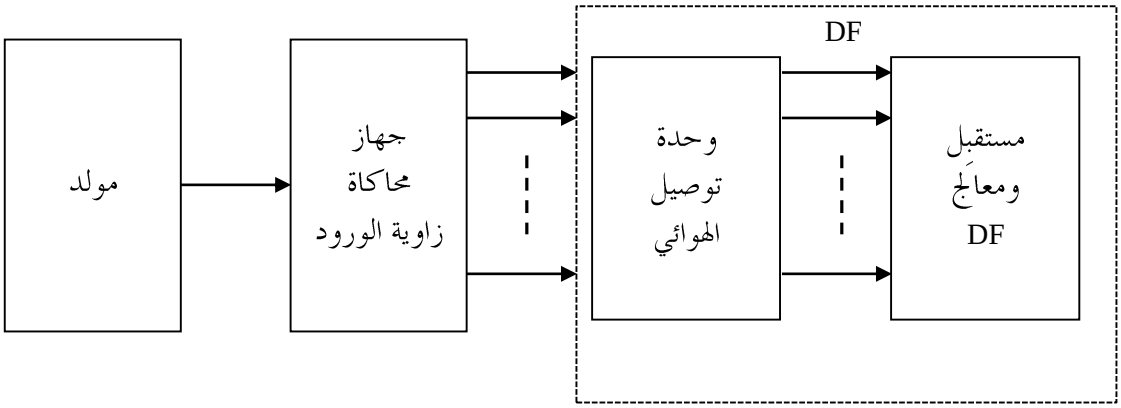


2.2 جهاز محاكاة لبيئة نظيفة

تتضح تشكيلة جهاز المحاكاة المعد لمحاكاة إشارة دخل واحدة في الشكل 2. وتحاكي هذه التشكيلة بيئة الاختبار المبينة في الشكل 1 من التوصية ITU-R SM.2060. فتتولد إشارة باستخدام مولد وتُرسَل إلى جهاز محاكاة زاوية الورود التي تحاكي إشارة خرج هوائي جهاز تحديد الاتجاه. ويجري توصيل إشارة خرج جهاز محاكاة زاوية الورود إلى وحدة توصيل هوائي جهاز تحديد الاتجاه. لذلك يجري اختبار جهاز تحديد الاتجاه لنظام تحديد الاتجاه باستبعاد هوائيه.

الشـــكل 2

تشكيلة جهاز المحاكاة المعد لمحاكاة إشارة دخل واحدة



3.2 جهاز محاكاة لبيئة متعددة المسيرات

يوضح الشكل 3 تشكيلة جهاز محاكاة لمحاكاة حالة تعدد المسيرات ترد فيها إشارة يبثها مصدر واحد عبر عدد من المسيرات. وتحاكي هذه التشكيلة بيئة الاختبار المبينة في الشكل 1 من التوصية ITU-R SM.2061.

وباستخدام مقسِّم قدرة، تنقسم إشارة واحدة ناتجة عن المولد إلى إشارتين، تمثل إحداهما الإشارة الرئيسية، في حين تمثل الأخرى إشارة منعكسة. ويمكن التحكم في الاتساع وتأخر الطور لكل من الإشارتين الرئيسية والمنعكسة.

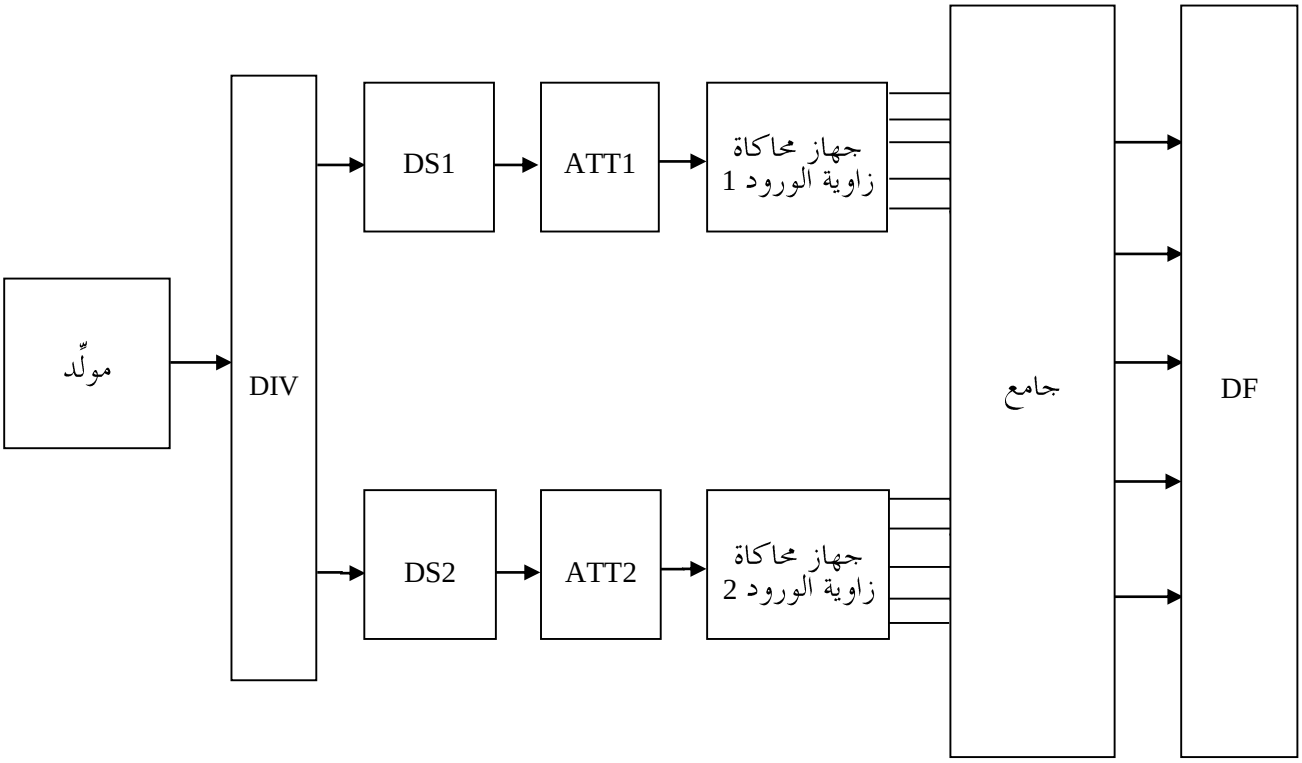
ويوصَل خطا إرسال الإشارتين الرئيسية والمنعكسة على التوالي بجهازي محاكاة زاوية الورود 1 و2 اللذين يحاكيان استجابة الصفيف لهوائي جهاز تحديد الاتجاه وفقاً لزاويتي ورود الإشارتين الرئيسية والمنعكسة على التوالي.

ويُجمع بين إشارات خرج جهازي محاكاة زاوية الورود لكل عنصر هوائي لإعادة إنتاج إشارة الاستقبال المرسلة من كل عنصر هوائي. ويتيح ذلك محاكاة إشارات استقبال هوائي جهاز تحديد الاتجاه في بيئة انتشار متعددة المسيرات.

وتوصَل إشارة الخرج المجمَّعة بوحدة توصيل هوائي جهاز تحديد الاتجاه.

الشـــكل 3

تشكيلة جهاز محاكاة لإشارة متعددة المسيرات



DS: مزحزح التأخر

4.2 معايرة جهاز المحاكاة

تنبغي معايرة جهاز المحاكاة إما بانتظام أو في كل مرة قبل الاستخدام. ويمكن التحقق من دقة جهاز المحاكاة عن طريق قياس إشارة خرجه باستخدام محلل شبكة يباع في الأسواق عادة.

ولإجراء القياس، يُختار منفذان من منافذ الخرج المتعددة لجهاز المحاكاة ويوصلان بالمنفذ المرجعي ومنفذ القياس في محلل الشبكة. ويُضبط جهاز المحاكاة ومحلل الشبكة عند التردد الذي يراد اختباره. ويُضبط طور واتساع منفذي خرج جهاز المحاكاة وتقاس اختلافات طور واتساع المنفذين باستخدام محلل الشبكة. ويسجَّل الفرق بين البيانات المقيسة والقيم المضبوطة على جهاز المحاكاة كقيمة المعايرة.

ويُضبط جهاز المحاكاة عند مجموعة معينة من الاتساعات والأطوار التي تمثل استجابة الصفيف عند إجراء المحاكاة. ويمكن أن تتحقق محاكاة دقيقة بتصحيح الاتساع والطور على أساس قيمة المعايرة التي تم الحصول عليها. ويمكن إجراء قياس المعايرة بمزيد من الوضوح إذا كان جهاز المحاكاة مزوداً بمنفذ مرجعي.

3 نمذجة الهوائي

يمكن الحصول على استجابة الصفيف لهوائي جهاز تحديد الاتجاه باستخدام أي من نهجي النمذجة الموضحين أدناه.

1.3 النمذجة بتحليل المجال الكهرمغنطيسي

يمكن الحصول على استجابة الصفيف لهوائي جهاز تحديد الاتجاه باستخدام أداة تحليل المجال الكهرمغنطيسي (برمجيات). ويُضبط الشكل الميكانيكي للهوائي والمعاوقة عند نقطة خرج عناصر الهوائي قبل إجراء التحليل. ويجرى تحليل حل المجال البعيد (الحل الذي يصح عندما كان يقع مصدر البث على مبعدة لا نهائية) باستخدام أداة تحليل المجال الكهرمغنطيسي للحصول على إشارات الخرج التي سترسل من كل عنصر هوائي عندما يستقبل هوائي جهاز تحديد الاتجاه إشارة دخل، في تردد محدد، واردة من زاوية محددة. ولا تعبر نتيجة هذا التحليل عن اختلاف الطور الناجم عن الترتيب المكاني لعناصر الهوائي ومكونات الاتساع التي تحددها اتجاهية كل عنصر من عناصر الهوائي فحسب، بل أيضاً عن الاقتران المتبادل بين عناصر الهوائي والتداخل من صاري الهوائي وأجزاء أخرى من هيكل الهوائي. وتحوَّل بيانات الخرج التي حُصل عليها بأداة تحليل المجال الكهرمغنطيسي إلى طور واتساع الجهد الوارد ويجري تسجيلهما. ويكرَّر التحليل لزوايا ورود مختلفة. ويشكل ما يُحصل عليه من بيانات الطور والاتساع المقابلة لكل عنصر هوائي في سموت مختلفة استجابة الصفيف لهوائي جهاز تحديد الاتجاه في سموت الورود تباعاً.

وعند إجراء تحليل المجال الكهرمغنطيسي، لا يمكن ضبط سمت الورود فقط، بل وزاوية الارتفاع أيضاً.

2.3 النمذجة ببيانات القياس

لتلك الترددات التي يمكن قياسها في غرفة كاتمة للصدى أو مواقع اختبار في الفضاء الطلق (OATS)، يجرى القياس الفعلي ويجري تسجيل طور واتساع إشارة خرج كل عنصر من عناصر الهوائي. ويمكن استخدام هذه البيانات في المحاكاة بوصفها استجابة الصفيف لهوائي جهاز تحديد الاتجاه. ولإجراء القياس الفعلي، يجري ترتيب إعدادات القياس على النحو المبين في الشكل 1 من التوصية ITU-R SM.2060 المعنونة - الإجراء الاختباري لقياس دقة جهاز تحديد الاتجاه في غرفة كاتمة للصدى أو مواقع اختبار في الفضاء الطلق. ويجري إعداد جهاز التسجيل لتسجيل طور واتساع إشارة الخرج متعدد القنوات من هوائي جهاز تحديد الاتجاه.

وتُستخدم هوائيات الإرسال (Tx) لإرسال الإشارات على التردد المُختَبَر واستقبال الإشارات بهوائي جهاز تحديد الاتجاه (Rx). ويتحكم بمنصة دوارة لتدوير الهوائي في خطوات سمتية مناسبة لجهاز تحديد الاتجاه المُختَبَر. ويُسجَّل لكل خطوة سمتية طور واتساع إشارة خرج نظام الاستقبال المقابلة لكل عنصر هوائي.

وسيتم الحصول على بيانات الطور والاتساع المقابلة لكل عنصر هوائي في كل سمت. وتشمل هذه البيانات استجابة الصفيف لهوائي جهاز تحديد الاتجاه في سموت الورود تباعاً.

4 إجراء القياس

1.4 بيئة صافية

يجرى القياس باستخدام إعدادات القياس الموضحة في الشكل 2 في الفقرة 2.2 ونفس المعلمات المبينة في الجدول 1 من التوصية ITU-R SM.2060. ويُضبط جهاز محاكاة زاوية الورود بما يناسب من الطور والاتساع (أو التوهين) للتردد والسمت قيد الاختبار بالرجوع إلى بيانات استجابة الصفيف التي تم الحصول عليها في الفقرة 1.3 أو 2.3 الموضحة أعلاه. ويتعين هنا ضبط الطور والاتساع (أو التوهين) بشكل منفصل في كل خط مقابل لكل عنصر هوائي في هوائي جهاز تحديد الاتجاه.

أولاً، يُضبط المولد لتوليد إشارة على التردد 1. وينبغي ضبط زاوية محاكاة الورود بما يقابل التردد 1 والسمت المحدد من الطور والاتساع (أو التوهين). وتسجَّل إشارة خرج جهاز تحديد الاتجاه في ذلك السمت. ويكرر القياس لجميع السموت المحددة.

وبعد ذلك، يُضبط المولد لتوليد إشارة على التردد 2. وتُضبط زاوية محاكاة الورود بما يناسب من الطور والاتساع (أو التوهين) ويجرى القياس على غرار الإجراء أعلاه. ويكرر القياس من التردد 3 حتى التردد 16.

2.4 بيئة المسيرات المتعددة

يجرى القياس باستخدام إعدادات القياس الموضحة في الشكل 3 في الفقرة 3.2 ونفس المعلمات المبينة في الجدول 1 من التوصية ITU-R SM.2061 المعنونة – إجراء اختباري لقياس حصانة جهاز تحديد الاتجاه ضد الانتشار المتعدد المسيرات. ويُضبط جهاز محاكاة زاوية الورود 1 وجهاز محاكاة زاوية الورود 2 بما يناسب من الطور والاتساع (أو التوهين) للتردد والسمت قيد الاختبار بالرجوع إلى بيانات استجابة الصفيف التي تم الحصول عليها في الفقرة 1.3 أو 2.3 الموضحة أعلاه. ويتعين هنا ضبط الطور والاتساع (أو التوهين) بشكل منفصل في كل خط مقابل لكل عنصر هوائي في هوائي جهاز تحديد الاتجاه.

ويُضبط الموهن 1 (ATT1) والموهن 2 (ATT2) بنسبتي 0 dB و6 dB على التوالي. ويُضبط مزحزح التأخر 1 (DS1) بزاوية 0 درجة. ولن تتغير قيم الإعدادات هذه طيلة القياس.

أولاً، يُضبط المولد لتوليد إشارة على التردد 1. وينبغي ضبط جهاز محاكاة زاوية الورود 1 بما يقابل التردد 1 والسمت الحقيقي المحدد من الطور والاتساع (أو التوهين). وينبغي ضبط جهاز محاكاة زاوية الورود 2 بما يقابل التردد 1 والسمت المحدد باختلاف زاوية الورود $\Delta\theta$ من الطور والاتساع (أو التوهين). ويُضبط مزحزح التأخر 2 (DS2) بالأطوار الثلاثة المحددة لاختلاف الزاوية $\Delta\varphi$، كل منها على حدة. وتسجَّل إشارة خرج جهاز تحديد الاتجاه لكل سمت.

وبعد ذلك، يُضبط جهاز محاكاة زاوية الورود 2 بالقيمة المحددة الثانية لاختلاف الزاوية $\Delta\theta$ وتسجَّل إشارة خرج جهاز تحديد الاتجاه لكل سمت بالتبديل بين الأطوار الثلاثة لاختلاف الزاوية $\Delta\varphi$، كل منها على حدة. ويكرَر القياس للقيمة الثالثة لاختلاف الزاوية $\Delta\theta$.

وستستكمل الخطوات المذكورة أعلاه قياس التردد 1. ويُنتقَل إلى التردد 2 هكذا دواليك، ويكرَر القياس بضبط المولد لتوليد إشارة على التردد 2 إلى التردد M، حتى الانتهاء من قياس جميع الترددات المحددة.

5 اعتبارات إضافية لقياسات جهاز تحديد الاتجاه في نطاق الموجات الديكامترية (HF)

يمكن أيضاً قياس دقة جهاز تحديد الاتجاه لإشارات دخل ذات زاوية ارتفاع. وقد سبق أن أشير أعلاه إلى أن قياس دقة جهاز تحديد الاتجاه في نطاق الموجات الديكامترية، داخل غرفة كاتمة للصدى أو بيئة مواقع اختبار في الفضاء الطّلق، ينطوي على قدرٍ من الصعوبة، ولكنه أكثر صعوبة عند قياس إشارات دخل ذات زاوية ارتفاع لأنه لا يتطلب فسحة مستوية فحسب بل حيزاً أيضاً في الاتجاه العمودي.

ولكن باستخدام تحليل المجال الكهرمغنطيسي الموضح في الفقرة 1.3 يمكن الحصول على طور واتساع إشارة الخرج التي ينتجها كل عنصر هوائي عندما يستقبل هوائي جهاز تحديد الاتجاه إشارات دخل ذات زاوية ارتفاع. ويمكن قياس دقة جهاز تحديد الاتجاه في نطاق الموجات الديكامترية عندما يستقبل إشارة دخل يعطى ترددها وسمتها وزاوية ارتفاعها باستخدام البيانات التي حُصل عليها من تحليل المجال الكهرمغنطيسي لإعدادات جهاز المحاكاة.

الملحـــق 1

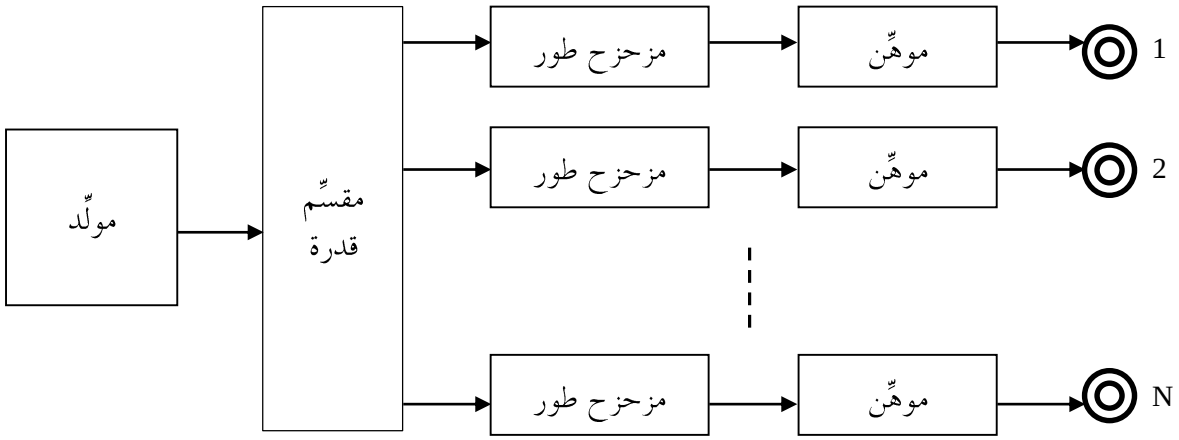
عيّنتان من تشكيلة جهاز محاكاة زاوية الورود

فيما يلي بعض الأمثلة على تشكيلة جهاز محاكاة.

أ) يوصل مقسِّم القدرة ومزحزحات الطور والموهنات بوحدة الدارة التماثلية في تشكيلة مبينة أدناه (الشكل 4) لمحاكاة إشارات خرج هوائي جهاز تحديد الاتجاه المكون من عناصر هوائي عددها N.

الشـــكل 4

تشكيلة جهاز محاكاة زاوية الورود (العينة 1)

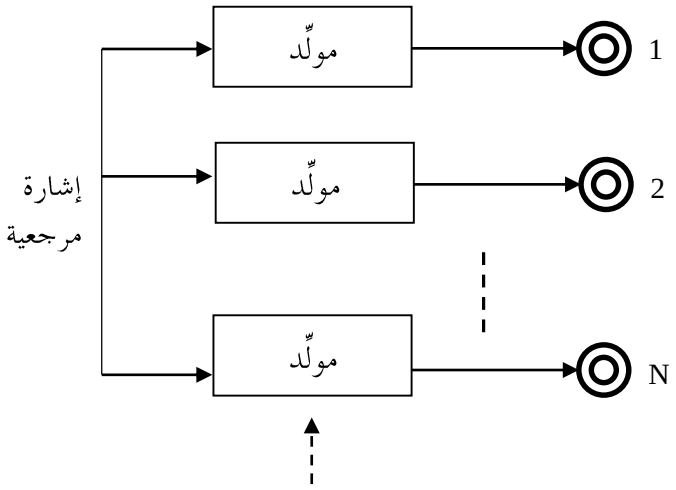


ب) تتطلب التشكيلة المبينة في الشكل 5 استخدام مولدات إشارة متاحة تجارياً يمكن التحكم في طورها وتسمح بالتشغيل المتزامن لوحدات متعددة. وتوفر عدد من الوحدات يماثل عدد عناصر الهوائي المؤلفة لهوائي جهاز تحديد الاتجاه وتولد إشارات موجة مستمرة (CW). وفي الأسلوب الموضح في الشكل 5 '1'، يُضبط تردد وطور وكسب (اتساع) محدد لكل من مولدات إشارة لمحاكاة استجابة الصفيف. بيد أن بعضاً من أحدث مولّدات مجهّزة بمنافذ خرج متعددة. وفي حال استخدام هذه المولدات متعددة المنافذ، تصبح التشكيلة أبسط بكثير على النحو المبين في الشكل 5 '2'.

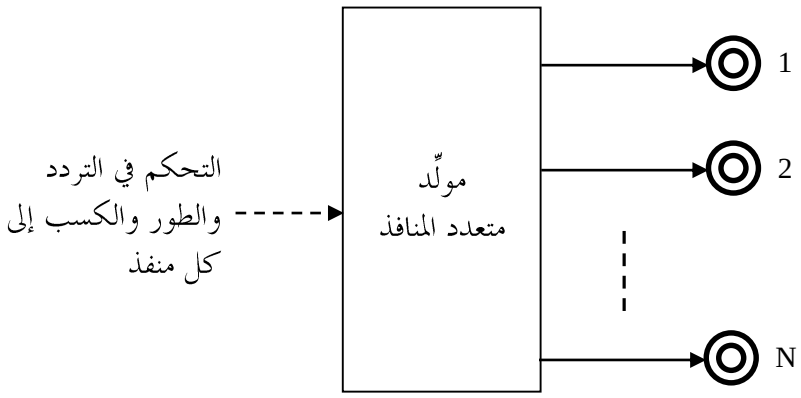
الشـــكل 5

تشكيلة جهاز محاكاة زاوية الورود (العينة 2)

‘1’



‘2’



الملحـــق 2

مقارنة بين نتائج قياس المحاكاة ونتائج القياس الفعلي

1 محاكاة المجال الكهرمغنطيسي للهوائي

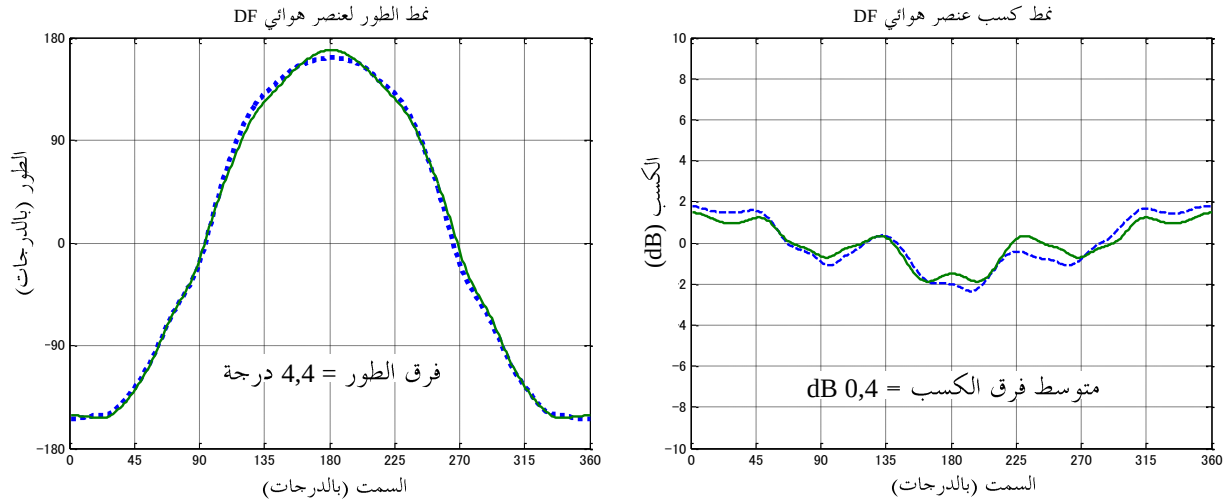
يمكن الحصول على استجابة الصفيف لهوائي جهاز تحديد الاتجاه من خلال المحاكاة باستخدام الآلة الحاسبة.

وتُستخدم تقنيات مثل أسلوب العزوم (MoM) وأسلوب الميدان الزمني بالفروق المحددة (FDTD) لتحليل المجال الكهرمغنطيسي. وتوفّر أنواع مختلفة من برمجيات تحليل المجال الكهرمغنطيسي بما فيها NEC-4 التي أُعدت في المختبر الوطني الأمريكي Lawrence Livermore وجامعة كاليفورنيا وغيرها الكثير من البرمجيات المتاحة تجارياً. وتماثل دقة بيانات استجابة الصفيف دقة نتائج القياس الفعلي التي يمكن الحصول عليها من خلال الحساب باستخدام البرمجيات القائمة على أحدث أسلوب لتحليل المجال الكهرمغنطيسي.

ويبين الشكل 6 أمثلة على نتائج التحليل ونتائج القياس الفعلي لطور وكسب عنصر هوائي معين من صفيف خمسة عناصر هوائي. ويمثل الخطان المستمر والمنقط على التوالي نتائج الحساب ونتائج القياس الفعلي. وكان تردد الاختبار 402 MHz. وناهز الفرق بين نتائج التحليل ونتائج القياس الفعلي 4,4 درجات للطور dB 0,4 للاتساع.

الشـــكل 6

مقارنة بين نتائج تحليل المجال الكهرمغنطيسي (خط مستمر) ونتائج القياس الفعلي (خط منقط)



2 مقارنة بين نتائج الاختبار ضمن مواقع اختبار في الفضاء الطلق (OATS) ونتائج الاختبار القائم على محاكاة

يبين الشكل 7 نتائج اختبار جهاز تحديد اتجاه ذي صفيف بخمسة عناصر هوائي. وكان تردد الاختبار 402 MHz. وكانت بيئة الاختبار المستخدمة للاختبار ضمن موقع اختبار في الفضاء الطلق تعادل تلك الموضحة في الشكل 1 من التوصية ITU-R SM.2060.

وبلغت دقة جهاز تحديد الاتجاه المقيسة في بيئة اختبار ضمن موقع اختبار في الفضاء الطلق جذر متوسط تربيع (RMS) 0,31 درجة، في حين بلغت دقة جهاز تحديد الاتجاه التي حُصل عليها عن طريق تحليل استجابة الصفيف باستخدام جهاز محاكاة جذر متوسط تربيع 0,11 درجة. وتشمل نتائج القياس الفعلي أخطاء السمت الناجمة عن ظروف موقع الاختبار، وكيفية نصب هوائي جهاز تحديد الاتجاه وحركة المنصة الدوارة، ناهيك عن أخطاء قياس جهاز تحديد الاتجاه نفسه. وإذ تبين نتيجة الاختبار التي حُصل عليها عن طريق استخدام جهاز محاكاة خطأ أقل في قياس السمت من نتيجة الاختبار ضمن موقع اختبار في الفضاء الطلق، يمكن الاستنتاج أن هذا الأسلوب يوفر دقة كافية لتقييم دقة جهاز تحديد الاتجاه.

الشـــكل 7

مقارنة بين دقتي جهاز تحديد الاتجاه التي حُصل عليهما بالقياس الفعلي وبالمحاكاة

'1' القياس الفعلي **'2' المحاكاة**