الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التقرير ITU-R SM.2056-1

(2014/06)

أجهزة التحقق المحمولة جواً لمخططات هوائي المحطات الإذاعية

السلسلة SM

إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

150 ITU 1865-2015

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	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 الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
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، 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.2056-1

أجهزة التحقق المحمولة جواً لمخططات هوائي المحطات الإذاعية

(2014-2005)

1 موجز تنفيذي

يرد في هذا التقرير وصف لإجراءات القياس والتجهيزات المطلوبة وإجراءات الإبلاغ الخاصة بعمليات قياس مخططات إشعاع الهوائي التي تستعمل فيها طائرة. وهو تقرير مستقل عن المنصة المحمولة جواً المختارة ويمكن استعماله بصرف النظر عن نظام البث الإذاعي المستعمل. غير أنه يتضمن اقتراحات إضافية عن منصات محددة محمولة جواً وأنظمة بث إذاعي محددة، بحيث يمكن تعديله ليلائم الاحتياجات المحددة لأي شخص.

وينقسم التقرير إلى ثلاثة ملحقات:

- ترد في الملحق 1 الأنماط المختلفة لمخططات الهوائي التي يمكن التمييز بينها، وإجراءات القياس اللازمة لقياسها. كما يرد فيه وصف للتجهيزات اللازمة لإجراء هذه القياسات. ويرد هذا الوصف بالتفصيل الكافي الذي يسمح للمرء بتجميع نظامه الخاص، بدون تقييد اختيار التجهيزات. كما يرد في الملحق وصف لتحليل ما بعد الطيران، وهو وصف مهم في تقييم دقة القياس، ويليه معيار للإبلاغ.
- ويحتاج كل نمط من أنماط البث الإذاعي وكل مدى من مديات الترددات إلى إعداداته الخاصة وله نقاط الاهتمام خاصة به. ويُخصص الملحق 2 لهذه البنود.
- ويرد في الملحق 3 وصف للمشكلات المحددة التي صودفت عند اختيار نمط طائرة محدد، وترد فيه حلول مقترحة عندما يكون ذلك ممكناً.

الملحـــق 1

أجهزة التحقق المحمولة جواً لمخططات هوائي المحطات الإذاعية

1 مقدمة

يرد في هذا الملحق وصف لإجراءات القياس، والتجهيزات اللازمة، وإجراءات الإبلاغ الخاصة بقياسات مخططات إشعاع الهوائي التي تستعمل طائرة. ويرد فيما يلي وصف لهيكل هذا الملحق:

ويرد في القسم 2 وصف لأنماط مخططات الهوائي المختلفة التي يمكن التمييز بينها. ويتضمن القسم 3 طريقة القياس بشكل عام. ويحدد القسم 4 الأنماط المختلفة لرحلات الطيران الخاصة بالقياس. ويصف القسم 5 التجهيزات اللازمة لأداء هذه القياسات. ويرد هذا الوصف بالتفصيل الكافي الذي يسمح للمرء بتجميع النظام الخاص به بدون تقييد اختيار التجهيزات. ويصف القسم 6 إجراءات القياس المستعملة. وتتناول الأقسام 7 إلى 9 الجوانب المختلفة لمعالجة البيانات وحساب عدم يقين القياسات والإبلاغ.

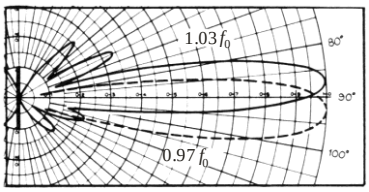
والتوصيات الواردة في هذا الملحق مستقلة عن نمط الطائرة المختارة ويمكن استعمالها بصرف النظر عن نظام البث الإذاعي المستعمل. وترد في الملحقين 2 و3 توصيات إضافية بشأن منصات محددة محمولة جواً وأنظمة بث إذاعي محددة.

2 أنماط مخططات الهوائي

يكون مخطط إشعاع أي هوائي ثلاثي الأبعاد. أما مخططات الهوائي المقيسة فهي عامةً قطع ثنائي الأبعاد لهذا المخطط ثلاثي الأبعاد. وأساليب القطع الشائعة هي "مخطط الهوائي الرأسي" و"مخطط الهوائي الأفقي". ومخطط الهوائي الرأسي هو قطع رأسي لمخطط الهوائي يخترق الهوائي واتجاه سمت محدد. ومخطط الهوائي الأفقي هو قطع أفقي لمخطط الهوائي يخترق الهوائي وزاوية ارتفاع أو ميل نحو أسفل محددة. انظر الشكلين 1 و2. ويرد وصف لأنظمة الإحداثيات المستعملة في التوصية ITU-R BS.705.

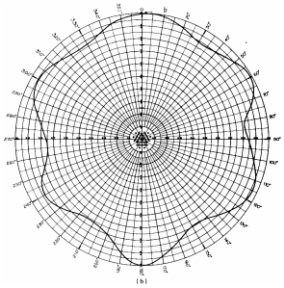
الشـــكل 1

مخطط الهوائي الرأسي



الشـــكل 2

مخطط الهوائي الأفقي

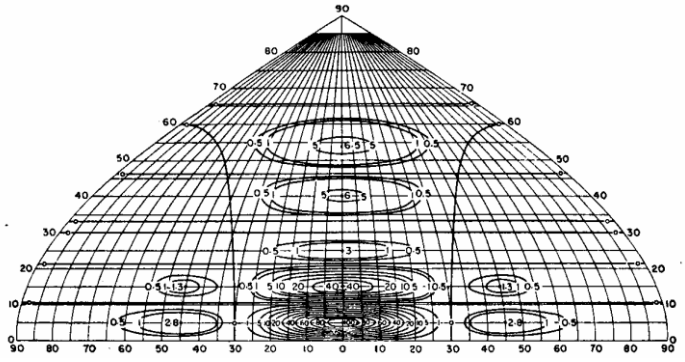


Report SM.2056-01

وفي حالات معينة، يكون قطاع واحد محدد من الهوائي موضع تركيز شديد. وفيما يتعلق بهوائيات الإذاعة بالموجات الديكامترية (HF) عالية الاتجاهية، فإن الشكل والموضع الدقيقان للفص الرئيسي، وكذلك القدرة المشَعَّة الفعّالة (ERP) في هذا الفص الرئيسي، تحدد البصمة على المنطقة المستهدفة، وهي لذلك شديدة الأهمية. ويمكن لقياس مخطط هوائي محدد أن يرسم شكل هذا الجزء من مخطط الهوائي. ويرد في الشكل 3 مثال على مخطط هوائي من هذا النمط، وهو المخطط الإشعاعي بطريقة سانسون فلامستيد (Sanson-Flamsteed).

الشـــكل 3

مخطط هوائي الفص الرئيسي



Report SM.2056-03

ويمكن تكرار قياسات مخطط الهوائي لسموت مختلفة أو لزوايا ارتفاع مختلفة للحصول على مزيد من المعلومات عن المخطط الكامل ثلاثي الأبعاد للهوائي. ويمكن اختيار هذه السموت أو زوايا الارتفاع بطريقة استراتيجية على أساس هندسة الهوائي، وعمليات المحاكاة، والتجارب المستخلصة من حملات القياس السابقة.

ويتطلب قياس أي من هذه الأنماط لمخططات الهوائيات مجموعته الخاصة من رحلات طيران القياس، ولكن تكون إجراءات القياس متشابهة للغاية إن لم تكن هي نفسها.

3 طريقة القياس

إن قياس مخطط الهوائي هو في الأساس مجموعة من قياسات شدة المجال التي تؤخذ كل منها من مسافة معروفة بدقة من الهوائي المطلوب قياسه. وبهاتين القيمتين، يمكن حساب القدرة المشعة المكافئة المتناحية (EIRP) المطلقة في هذه النقطة. وإذا قمنا بقياس القدرة المشعة المكافئة المتناحية عند سلسلة من النقاط تقع على دائرة حول الهوائي، يبرز لنا مخطط الهوائي الأفقي. ويمكن قياس قطع أخرى في المخطط حسب الرغبة. والمعادلة المستعملة لحساب القدرة المشعة المكافئة المتناحية المطلقة، في شكلها الخطي، هي:

$$p_{EIRP} = \frac{p_{RX} . R^2}{g_{RX}} . \left(\frac{4 \pi f}{c} \right)^2 \quad (1)$$

حيث:

p_{EIRP} : القدرة بالنسبة إلى عنصر مشع متناح (W)

p_{RX} : القدرة عند مطاريف مدخل المستقبل (W)

R : المسافة (m) بين هوائي الاستقبال وهوائي الإرسال

g_{RX} : كسب (القيمة الخطية) هوائي الاستقبال بالنسبة إلى عنصر مشع متناح

f : التردد (Hz)

c : سرعة الضوء (m/s).

ويجب الحرص على قياس الموقع وp_{RX} في نفس الوقت بالضبط. وإذا لم يتحقق هذا الشرط، لا تكون قيمة القدرة المشعة المكافئة المتناحية الناتجة صحيحة. وقد تم التعبير في هذه المعادلة عن p_{EIRP} وg_{RX} بالنسبة إلى عنصر مشع متناح. وينبغي إدراج خسائر إضافية مثل خسائر الكبل أو خسارة تراصف الهوائي أو خسارة الاستقطاب في قيمة G_{RX}. وبشكل عام فإن استعمال نسخة لوغاريتمية من نفس المعادلة يعتبر عملياً بدرجة أكبر:

$$P_{EIRP} = P_{RX} + 20 \log (R) - G_{RX} + 20 \log (f) + 20 \log (4\pi / c) \quad (2)$$

وفي المعادلة (2) تم التعبير عن P_{EIRP} وP_{RX} بوحدة dBW، والتعبير عن G_{RX} بوحدة dBi.

وحسب تطبيق الإذاعة ونطاق الإذاعة المستعملين، قد يختلف الهوائي المرجعي الموحد عن العنصر المشع المتناحي، أي هوائي ثنائي الأقطاب نصف موجي أو هوائي أحادي القطب قصير بلا خسارة. ولحساب القدرة المشعة الفعّالة (المرجع ثنائي الأقطاب نصف موجي)، يمكن استعمال المعادلة التالية:

$$P_{ERP} = P_{EIRP} - 2{,}15 \text{ dB} \quad (3)$$

حيث إن كسب الهوائي ثنائي الأقطاب نصف موجي هو 2,15 dBi.

4 أنماط رحلات طيران القياس

يعتمد نمط رحلات الطيران الخاصة بالقياس اعتماداً كاملاً على موقع الهوائي والطائرة المستعملة. وعلى سبيل المثال، يحتاج قياس الرسم البياني لهوائي إذاعي يستعمل الموجة المترية (VHF) باستعمال طائرة مروحية إلى نهج مختلف عن النهج المستعمل في قياس صفيف متوسط الموجة بطائرة عادية. ويرد في هذا القسم وصف لأنماط رحلات طيران القياس المختلفة وتطبيقها.

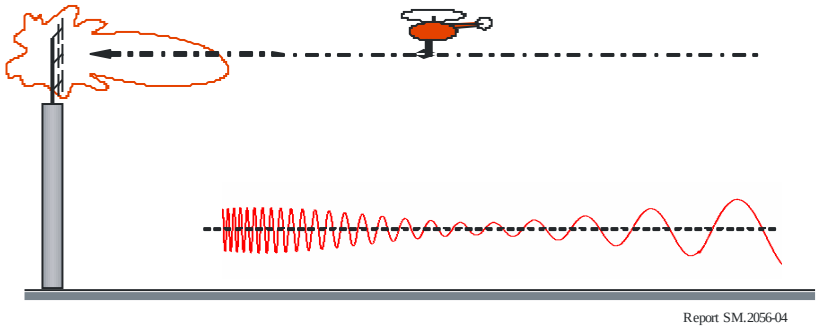
1.4 رحلات طيران الانتشار

لتحديد مسافة القياس المثلى، يمكن إجراء رحلة طيران للانتشار. وهي رحلة طيران تسير في خط مستقيم نحو هوائي الإرسال، وعلى ارتفاع هوائي الإرسال بالضبط. وبهذه الطريقة يكون الموضع الزاوي لهوائي القياس كما يُشاهَد من هوائي الإرسال ثابتاً، ولذلك تكون القدرة المشعة الفعّالة المرسَلة في هذا الاتجاه ثابتة. وإذا لم تكن هناك أي انعكاسات، ستكون القدرة المشعة الفعّالة

المقيسة أثناء رحلة طيران الانتشار ثابتة أيضاً. وإذا كانت هناك انعكاسات أرضية أو مباني منتشرة، فإن تأثيرها سيظهر في شكل انحرافات عن ذلك الخط المستقيم، كما يظهر في الشكل 4.

الشـــكل 4

رحلات طيران الانتشار

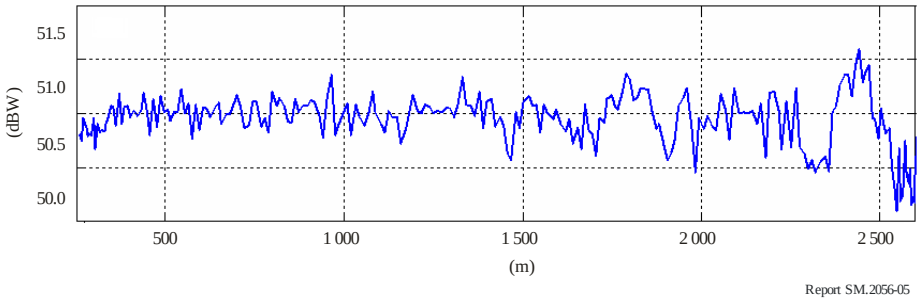


ويكون اتجاه القياس المقترح لرحلة طيران الانتشار في اتجاه الفص الرئيسي في مخطط الهوائي. ويوصَى بإجراء رحلات طيران انتشار متعددة للهوائيات ذات اتجاهات إشعاع متعددة وفي الحالات التي تختلف فيها الظروف الأرضية وبالتالي الانعكاسات الأرضية.

وبالإضافة إلى الرسم البياني النظري الوارد في الشكل 4، تظهر نتيجة قياس فعلي في الشكل 5. ويتكون هذا الرسم من مُرسِل إذاعة بتشكيل التردد في الموجات المترية قدرته 50 kW. وكان هوائي الإرسال يتكون من صفيف من هوائيات ثنائية الأقطاب لوغاريتمية دورية باستقطاب رأسي يتم تركيبها على برج يرتفع 150 متراً تقريباً فوق سطح الأرض. وتشير الدائرة إلى المسافة التي تم اختيارها لرحلة طيران دائرية لاحقة.

الشـــكل 5

نتيجة رحلة طيران الانتشار الفعلية



ويتم اختيار مسافة مثلى لإجراء قياسات لاحقة من نتيجة رحلة طيران الانتشار. والمسافة المثلى هي المسافة التي:

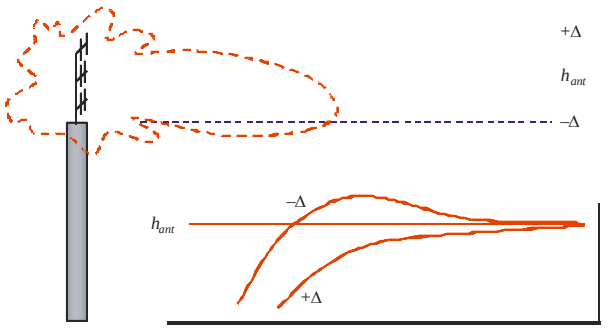
- يكون اتساع الانعكاسات فيها في أقل درجاته،
- تكون الحدود الدنيا والحدود القصوى كأقرب ما يكون من بعضها البعض.

والمعيار الأول واضح، أما الثاني فقد يحتاج إلى التوضيح. فإذا كانت الحدود الدنيا والحدود القصوى الناتجة عن الانعكاسات الأرضية متباعدة، وكانت الأرض مسطحة ومتجانسة، يمكن، مثلاً، إجراء رحلة طيران في دائرة كاملة عند المسافة التي يحدث عندها الحد الأدنى أو الحد الأقصى. وسينتج عن هذا أكبر خطأ قياس يمكن أن يتحقق، في حين ستظهر المشكلة في أقل صورها بوصفها اختلافات في نتيجة القياس. ولهذا ينبغي تفادي هذه الحالة. وفي المثال الموضح، ستصل المسافة المثلى للقياس إلى نحو 1 300 متر. وهذه المسافة عليها علامة دائرة في الشكل 5.

وإذا اختلف الارتفاع الذي تُجرى عنده رحلة طيران الانتشار عن الارتفاع الفعلي للهوائي، سينحدر الرسم البياني عندما تقترب الطائرة من الهوائي. وعند الطيران على ارتفاع منخفض للغاية وقياس هوائي الإرسال بميل نحو الأسفل، فإن الأشكال البيانية قد يظهر فيها ارتفاع مؤقت قبل حدوث هذا الانخفاض في القيمة. ويظهر هذا التأثير في الشكل 6.

الشـــكل 6

تأثير الارتفاع غير الصحيح أثناء رحلة طيران الانتشار



Report SM.2056-06

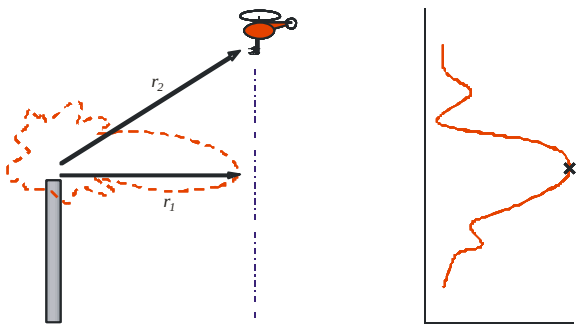
وقبل طيران الانتشار، فإن شاشة الطيار تساعده بإظهار الموقع الفعلي للطائرة بالنسبة إلى هوائي الإرسال، وكذلك موقع البدء المطلوب لطيران الانتشار. ويمكن وصف هذا الموقع بزاوية السمت المطلوبة بالنسبة إلى هوائي الإرسال والارتفاع المطلوب. وأثناء طيران الانتشار، فإن شاشة الطيار تساعده بإظهار الابتعاد بالأمتار عن مسار الطيران المطلوب. ويصبح أداء طيران الانتشار أكثر سهولة بطائرة تتمتع بتحكم جيد وقدرة على المناورة عند الطيران بسرعة منخفضة، مثل الطائرة المروحية. فيمكن الطيران في خط مستقيم حتى 200 متر من البرج، ثم التوقف والطير بعيداً. ولا يمكن القياس بذلك بالطائرات الأخرى. وينبغي الاحتفاظ في جميع الأوقات بمسافة دنيا حتى الهوائي المرسِل (الهوائيات المرسِلة)، لتفادي التعرض الكهرمغناطيسي المفرط. وإذا كان هوائي الإرسال مركباً على الأرض مباشرة، كما هو الحال في معظم هوائيات الموجة الطويلة، والموجة المتوسطة، والموجة القصيرة، فإن طيران الانتشار لا يكون ممكناً.

2.4 رحلات الطيران الرأسي

للحصول على مخطط الهوائي الرأسي لهوائي بث إذاعي في اتجاه سمت معين، يمكن أداء رحلة طيران رأسي. وقد يكون قياس مخطط الهوائي الرأسي ضرورياً لتحديد أمثل ارتفاع طيران لقياس مخطط الهوائي الأفقي، على النحو المشار إليه في الشكل 7.

الشـــكل 7

رحلات الطيران الرأسي



Report SM.2056-07

وللقيام بطيران رأسي، يتحرك الطيار أولاً إلى اتجاه السمت المطلوب، ثم ينزل إلى ارتفاع البدء المطلوب. وشاشة الطيار تساعده بإظهار الموقع الفعلي للطائرة بالنسبة إلى هوائي الإرسال، وكذلك موقع البدء المطلوب بالنسبة للطيران الرأسي. ثم يبدأ الطيار في الصعود في خط رأسي مستقيم، محاولاً الاحتفاظ بوضعه الأفقي كأفضل ما يكون. وإذا ما استُعملت طائرة مروحية، يتم الحصول على أقصى ثبات عند الطيران بالطيران من ارتفاع منخفض إلى ارتفاع أعلى بأقصى سرعة.

وأثناء رحلة الطيران الرأسي، فإن شاشة الطيار تساعده بإظهار الابتعاد بالأمتار عن مسار الطيران المطلوب. ويمكن أن يتم ذلك بتمثيل الطائرة بنقطة على شاشة دائرية. ويمثل مركز الدائرة الموقع الأفقي المطلوب، وتبين الدائرة نفسها الحد الأقصى للابتعاد الأفقي المسموح به. وينبغي أن يحافظ الطيار على النقطة داخل الدائرة أثناء طيرانه إلى أعلى. كما يمكن ربط الشاشة الدائرية ببوصلة لمحاذاة اتجاهها باتجاه الطائرة. وهذا يجعل توجيه الطائرة أيسر، حيث تملي الرياح الاتجاه الذي تشير إليه مقدمة الطائرة.

وفي حالة عدم توفر طائرة لرحلات الطيران الرأسي، لا يمكن الحصول على الرسم البياني الرأسي بهذه الطريقة. وهنا ينبغي تقديره بالاستكمال الداخلي لنقاط القياس الخاصة برحلات الطيران الأفقية اللاحقة.

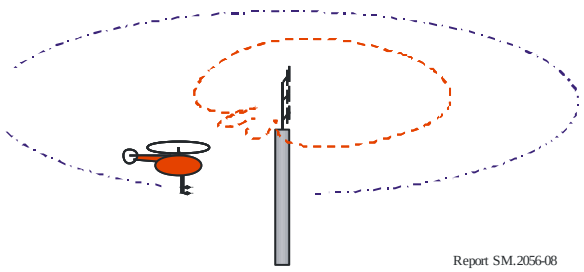
ويجب تطبيق عاملي التصحيح أثناء رحلة الطيران الرأسي. وهما تعويض عن الفرق في الكسب في الرسم البياني للهوائي الرأسي لهوائي القياس وتعويض عن الفرق في المسافة (r_1 وr_2 في الشكل 4).

3.4 رحلات الطيران الدائري

للحصول على مخطط الهوائي الأفقي لهوائي البث الإذاعي، يبدأ الطيار بالطيران في دائرة حول هوائي الإرسال مع تصحيح ارتفاعه والمسافة إلى هوائي الإرسال حتى يتم الحصول على القيم المستهدفة. ثم يبدأ القياس عندئذ، ويستمر الطيار في الطيران بطول دائرة حول البرج حتى إكمال عمليات القياس. وأثناء هذه العملية، يحصل الطيار على المساعدة من المعلومات التي تظهر على شاشة الطيار. وتعرض هذه الشاشة الموقع الفعلي للطائرة بالنسبة إلى المسار المثالي حول هوائي الإرسال في الوقت الحقيقي. وأثناء الطيران الدائري، يحصل الطيار على مساعدة من شاشة الطيار التي تعرض الابتعاد بالأمتار عن مسار الطيران المطلوب (المسافة والارتفاع). وبشكل عام، من الضروري الطيران لجزء من الدائرة للدخول إلى مسار الطيران المطلوب وبالتالي فإن تعريف سمت بدء محدد سلفاً ليس عملياً. وفي معظم الحالات يجب الطيار أن يرى الشيء الذي يطير حوله وبالتالي فإن هيكل مقصورة الطائرة يُملي ما إذا كان يتم طيران الدائرة في اتجاه عقارب الساعة أو عكس ذلك الاتجاه. وينبغي تعديل البرمجية ونظام الهوائي ليلائم ذلك. ويتم الحصول على أفضل ثبات عندما تطير الطائرة بسرعة ثابتة وليست بطيئة للغاية. ومع طيران الطائرة حول الهوائي، يتغير اتجاه الرياح النسبي مع تغير زاوية السمت، ونتيجة لذلك، فإن ذلك الجزء من الطائرة الذي يشير إلى الهوائي يتغير أثناء الطيران. ولذلك، يكون من الضروري في معظم الحالات توجيه الهوائي أثناء الطيران.

الشـــكل 8

رحلات الطيران الدائري



4.4 أنماط الطيران الأخرى

تحتاج قياسات مخطط إشعاع الهوائي حول الهوائيات المركبة على الأرض، مثل الصفائف الستارية للموجات الديكامترية (HF) والأبراج أو الصفائف المتوسطة الموجة إلى نهج مختلف عن مُرسِلات الإذاعة التلفزيونية أو تشكيل التردد القائمة على الأبراج. وعلى سبيل المثال، يمكن أن تعطي رحلات الطيران الدائرية على ارتفاعات أخرى غير ارتفاع الفص الرئيسي نقاط القياس اللازمة لتكوين صورة ثلاثية الأبعاد لمخطط الإشعاع، ويمكن لرحلات الطيران المستقيمة على ارتفاعات منخفضة في سمت الفص الرئيسي أن تعطي انطباعاً عن مخطط الإشعاع الرأسي.

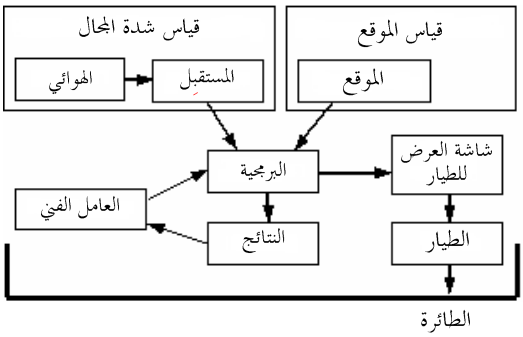
وطالما كان الموقع الثلاثي الأبعاد لنقطة القياس معروفاً بدقة، وتم حساب القدرة المشعة الفعّالة عند نقطة القياس هذه، لن تكون هناك حدود لمسار الطيران الفعلي المستعمل، ما دام المهندس الذي يفسر بيانات القياس لديه معرفة عميقة بالمسألة.

5 تجهيزات القياس

كما يتضح من الفقرة 3، يمكن قياس القدرة المشعة الفعّالة عن طريق قياس الموقع وشدة المجال بدقة. ويمكن قياس الموقع باستعمال أي جهاز لتحديد المواقع يعطي معلومات سريعة ودقيقة عن الموقع في شكل ثلاثي الأبعاد. كما يمكن قياس شدة المجال باستعمال هوائي تمت معايرته في الفضاء الحر ومُستقبِل قياس تمت معايرته. ويتم تسجيل قيم الموقع وشدة المجال ومعالجتها باستعمال الحاسوب. فيحسب القدرة المشعة الفعّالة وموقع نقطة القياس بالنسبة إلى الهوائي الذي يجري اختباره، ويعرض النتائج بشكل ملائم على العامل الفني. ويتحكم العامل الفني في نظام القياس ويتخذ قرارات بناءً على النتائج المعروضة على الشاشة. كما تقوم البرمجية بتوليد معلومات للطيار، لمساعدته في الملاحة حول موقع الهوائي. ويكون الطيار مسؤولاً عن رحلة الطيران ذاتها وجميع المسائل الأمنية ذات الصلة. ويظهر في الشكل 9 عرض تخطيطي لبنية قياس نموذجي، وتناقش في الفقرات التالية أقسامها الفرعية.

الشـــكل 9

عرض تخطيطي لنظام قياس مخطط هوائي محمول جواً



Report SM.2056-09

1.5 تجهيزات تحديد موقع

بالنظر إلى أن المسافة المستعملة في المعادلة هي مسافة ثلاثية الأبعاد، يجب معرفة موقع القياس وموقع هوائي الإرسال على ثلاثة محاور، وهي خط العرض، وخط الطول، والارتفاع. وينبغي أن يوضع في الحسبان الفرق بين الموقع الثلاثي الأبعاد لهوائي القياس بالنسبة إلى جهاز تحديد الموقع.

وينبغي لنظام تحديد الموقع المستعمل في أي حال من الأحوال أن يفي بالمعايير المتعلقة بالدقة ومعدل التحديث. وتعتمد الدقة على التطبيق ولكنها عادةً ما تكون في حدود ±1 متر في جميع الاتجاهات. ويمكن الاطلاع على متطلبات معدل التحديث في نهاية هذا القسم وفي الفقرة 5.5 من هذا الملحق. ويمكن استعمال أنظمة تحديد مواقع هجين تستعمل فيها منارات مرجعية. وقد تحد تغطية هذه المنارات من المرونة. وتحدد دقة الموقع دقة المسافة المحسوبة حتى الهوائي الذي يجري اختباره. وتحدد هذه

بدورها دقة قيمة القدرة المشعة الفعّالة المحسوبة والموقع النسبي. وتتطلب القياسات القريبة من الهوائي الذي يجري اختباره دقة أكبر بشأن الموقع من دقة القياسات التي تتم على مسافة أكبر. وتعتمد مسافة القياس المثلى على طول الموجة، وأبعاد الهوائي الذي يجري اختباره، والظروف البيئية التي تسبب الانعكاسات. وتبلغ دقة الموقع المطلوبة 2 m.

وينبغي أن يكون معدل تحديث جهاز تحديد الموقع كافياً لتوليد نقاط قياس كافية على طول منحنى الطيران. ويُعد هذا دالة للسرعة الأرضية الزاوية للطائرة. كما ينبغي أن يكون معدل تحديث شاشة عرض الطيار قريباً من الوقت الحقيقي. والحد الأدنى المطلق لمعدل التحديث قدره 2 Hz، وينصح بأن يكون هذا المعدل قدره 10 Hz أو أكثر.

2.5 هوائي القياس

1.2.5 الكسب

لقياس شدة المجال المطلقة، ينبغي معايرة الهوائي في الفضاء الحر. ويجب التعبير عن الكسب بالنسبة إلى الهوائي المرجعي الملائم. وتعتبر دقة معايرة الهوائي أحد العوامل الرئيسية التي تؤثر على دقة القياس الكاملة. ويمكن تحقيق دقة معايرة قيمتها 0,5 dB إلى 1 dB وينصح بهذه القيمة.

ولا تُعدّ القيمة الفعلية لكسب الهوائي ذات أهمية كبيرة ما دامت معروفة بدقة. غير أن كسب الهوائي الذي يقل عن –20 dBi سيجعل الالتقاط غير المرغوب فيه لكبل الهوائي هو المهيمن. وإذا زادت الاتجاهية عن 6 dBi سينتج عن ذلك دقة أقل بسبب أخطاء التراصف.

2.2.5 مخطط هوائي القياس

لا يُظهر هوائي القياس رقم كسبه الذي تمت معايرته إلا عند تراصفه مع خط التسديد للهوائي الذي يجري اختباره. ونظراً لصعوبة التراصف الدقيق لهوائي القياس أثناء الطيران، يفضل استعمال هوائي قياس يكون تباين الكسب فيه حول الفص الرئيسي أقل ما يمكن. وبهذه الطريقة يصبح التراصف أقل أهمية، الأمر الذي يحسن دقة القياس.

وعندما تتم رحلة الطيران على ارتفاع مختلف عن ارتفاع الهوائي الذي يجري اختباره، مثلاً أثناء الطيران الرأسي، سوف يتباين كسب هوائي القياس بتباين زاوية الموجة الواردة. وفي حالة معرفة النمط الرأسي لهوائي القياس، يمكن تعويض ذلك في برمجية القياس. ولكي يمكن القيام بذلك، ينبغي أن يكون مخطط الهوائي المستعمل للقياس منتظماً.

ولا توجد حاجة إلى تصميم هوائي قياس بحيث تكون فيه نسبة الإشعاع الأمامي والإشعاع الخلفي كبيرة. ويكون الهوائي الذي يجري اختباره قريباً نسبياً من الهوائي المطلوب، وتكون المرسِلات الإذاعية الأخرى الواقعة على نفس التردد بعيدة نسبياً. وبما أن شدة الإشارة تتناسب تناسباً عكسياً مع المسافة، فإن شدة الإشارة المطلوبة تكون أقوى عدة مرات من إشارة المرسِلات الإذاعية الأخرى التي يتم استقبالها من أبراج إذاعية أخرى. وبشكل عام، لا توجد حاجة إلى ضغطها أكثر من ذلك باستعمال اتجاهية هوائي القياس.

3.2.5 تراصُف هوائي القياس

يكون هوائي القياس مزوداً بخاصية تحديد الاتجاهية في معظم الحالات. وبالتالي، يجب الاحتفاظ بهوائي القياس أثناء الطيران كأقرب ما يكون إلى خط تسديد الهوائي الذي يجري اختباره. ويمكن القيام بذلك باستعمال مُدوّر ميكانيكي أو إلكتروني ميكانيكي يتحكم فيه العامل الفني. ولا بد من وجود إشارة ما إلى الموقع الفعلي للهوائي في جميع الحالات، لتوجيه الهوائي بشكل تقريبي نحو الهوائي الذي يجري اختباره. ولضبط الاتجاه بشكل أكثر دقة، يلزم وجود وسيلة ما لتحديد الهدف. ويمكن أن تكون كاميرا صغيرة يتم تركيبها على الهوائي أو بالقرب منه وتصور في نفس الاتجاه حلاً جيداً وفعّالاً من حيث التكاليف. كما أن هناك حاجة إلى ترشيح ضوء الشمس لمنع الحمل الزائد على رقاقة الكاميرا.

ويؤدي استبعاد أي وسيلة لتوجيه هوائي القياس نحو الهوائي الذي يجري اختباره إلى نتائج غير صحيحة. وبشكل عام، لا يمكن تثبيت الطائرة عند زاوية محددة باتجاه الهوائي الذي يجري اختباره، لأن اتجاه الرياح سيُحدث انحداراً في مسار الطيران. كما أن التراصف غير ممكن في المستوى الرأسي بشكل عام.

وينبغي أن يوضع سوء التراصف وخطأ القياس الناتج عن ذلك في الحسبان عند تحليل عدم يقين القياس.

4.2.5 إلغاء الانعكاسات الأرضية

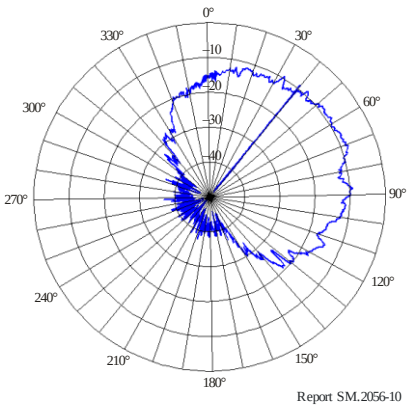
للحصول على تمثيل دقيق لمخطط الهوائي، ينبغي قياس الموجات المباشرة الواردة من هوائي الإرسال إلى هوائي القياس فقط. غير أن أي جسم يقع في مرمى نظر الهوائيين قد يجعل الموجات المرسَلة تنعكس. وينبغي أن ندرك أنه إذا لم تتخذ أي تدابير، سيتم قياس الموجات المباشرة والمنعكسة، مما يؤدي إلى نوع من "التشكيل" غير المرغوب فيه على مخطط الهوائي الذي يتم قياسه وعرضه.

وتتوقف هذه المشكلة بشكل كبير على الاتجاهية الرأسية لهوائي الإرسال وهوائي الاستقبال، وارتفاع هوائي الإرسال مقابل مسافة القياس. وعلى سبيل المثال، تمثل هوائيات تشكيل التردد المنخفضة الكسب في الموجات المترية (VHF) في المواقع المنخفضة مشكلة أكبر بكثير في هذا الصدد من المواقع التلفزيونية المرتفعة ذات هوائيات عالية كسب في الموجات الديسمترية (UHF). كما يجب أن يوضع في الاعتبار انعكاس الإشارة المستقبلة على أجزاء من الطائرة. ونظراً لأن الانعكاسات الأرضية تعد من بين الأسباب الرئيسية التي تسهم في حدوث عدم يقين القياس الكلي، فإن هذا الجزء يستحق أن يولى عناية أكبر.

ويمكن أن يؤدي التصميم الصحيح لهوائي القياس إلى أن يكون نظام القياس أقل عرضة للتداخل من جانب الانعكاسات الأرضية. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق تصميم هوائي يلغي الاتجاهات المتوقع حدوث الانعكاسات منها ويشجع الموجة المباشرة. ويظهر ذلك مع مثال عملي في الشكلين 10 و11:

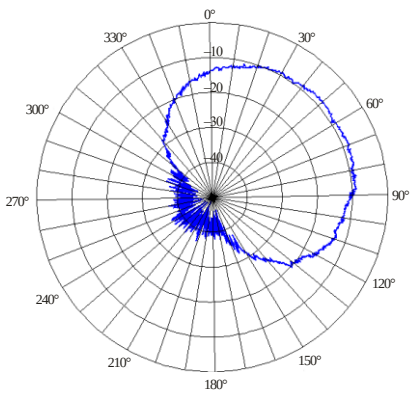
الشـــكل 10

القياس الفعلي باستعمال هوائي قياس بسيط



الشـــكل 11

القياس الفعلي باستعمال هوائي قياس مصمم خصيصاً لذلك



وفي هذا المثال تم قياس هوائي الإذاعة بتشكيل التردد على الموجات المترية مرتين، مرة باستعمال هوائي قياس بسيط، ثم مرة أخرى بهوائي صمم خصيصاً لقياسات مخطط الهوائي المحمول جواً. وتظهر الانعكاسات بوصفها "تشكيلات" في القياس الأول. ومزية هوائي القياس الثاني المصمم خصيصاً واضحة تماماً.

ويمكن أن تتمثل طريقة أخرى لتوهين الانعكاسات في نشر هوائيات قياس متعددة تتبعها مُستقبلات متعددة وباستعمال برمجية معالج الإشارة الرقمية (DSP). ويمكن أن تستعمل هذه البرمجية لوغاريتم MUSIC مثلاً لاستخلاص الإشارة المباشرة فقط من مجموع الإشارة المنعكسة والمباشرة. وأياً كانت الطريقة المستعملة لإزالة الانعكاسات، يجب توخي الحذر للتأكد من أن مستوى الإشارة المعاد إنتاجها لا يزال يمثل تمثيلاً دقيقاً لمستوى إشارة الموجة المباشرة.

ويمكن استعمال عمليات محاكاة لتقدير أثر الانعكاسات الأرضية في حالات محددة. وينبغي أن يحتوي النموذج على ارتفاع القياس، ومسافة القياس، وارتفاع الهوائي الذي يجري اختباره، ومخطط الهوائي الرأسي المتوقع، والمخطط الرأسي المعروف لهوائي الاستقبال ونموذج أرضي واقعي مع المعلمات الأرضية الفعلية. وباستعمال كل ذلك، يمكن الحصول على فكرة جيدة عن الصعوبات الخاصة التي يمكن أن تصادف في حالة قياس محدد. غير أن عمليات المحاكاة لا يمكن أبداً أن تحل محل القياسات الحقيقية.

5.2.5 الاستقطاب

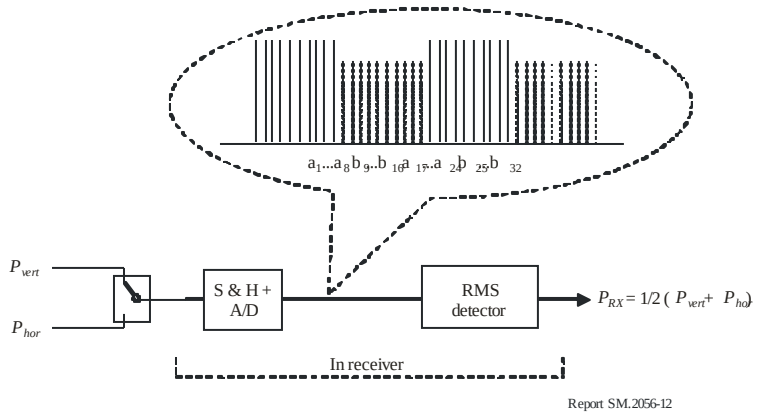
يجب تعديل استقطاب هوائي القياس ليلائم استقطاب الهوائي الذي يجري اختباره. وقد أصبحت الهوائيات المستقطَبة غير الخطية شائعة في ترددات الموجات VHF والموجات UHF. وباستعمال هذه الهوائيات، يتباين الاستقطاب الفعلي بتباين الموقع بالنسبة إلى الهوائي. ولذلك، فإن قياس الاستقطاب بصورة مستقلة يعد من المزايا. وتوجد طريقتان لتحقيق ذلك:

- استعمال هوائيين للقياس باستقطابات عمودية ومُستقبلين للقياس. ويتم تحقيق المزامنة في المستقبلين. ويؤدي جمع قيم القدرة المقاسة بكل مُستقبِل إلى الحصول على مجموع القدرة المستقبَلة بصورة مستقلة عن استقطاب الإشارة المرسَلة. وبهذا الإعداد يمكن عرض مخططات لمسطحات الاستقطاب الأفقية والرأسية بشكل منفصل، فضلاً عن مخطط الهوائي المجمع مستقلاً عن الاستقطاب.
- استعمال مُستقبِل واحد ونفس هوائيي القياس. ويتم تبديل المرسِل بين الهوائيين ويجمع مكشاف جذر متوسط التربيع للمُستقبِل قدرة المسارين. وهذه الطريقة منخفضة التكاليف.

وباستعمال الطريقة الأخيرة، يتم قياس كل مستوى استقطاب أثناء 50 في المائة من زمن القياس، وتكون النتيجة النهائية أقل بما قيمته 3 dB تماماً من القيمة الحقيقية، انظر الشكل 12. وينبغي اختيار وقت التبديل ووقت القياس على أساس خواص تشكيل الإشارة المقيسة وعرض نطاق المستقبِل. وباستعمال الهندسة الملائمة يمكن أن تكون هذه الطريقة بنفس دقة الطريقة الأولى.

الشـــكل 12

مبدأ النظام المستقل للاستقطاب المنخفض التكاليف



وعندما تكون لفترة تبديل واحدة لمفتاح تبديل الهوائي: $p_{VERT} = \frac{\sqrt{\sum_0^T a_k^2}}{z_0}$ و $p_{HOR} = \frac{\sqrt{\sum_0^T b_k^2}}{z_0}$ ،

فإن:

$$p_{RX} = \frac{\sqrt{\sum_{0}^{T/2} a_k^{\,2} + \sum_{T/2}^{T} b_k^{\,2}}}{z_0} \approx \tfrac{1}{2}\frac{\sqrt{\sum_{0}^{T} a_k^{\,2}}}{z_0} + \tfrac{1}{2}\frac{\sqrt{\sum_{0}^{T} b_k^{\,2}}}{z_0} \approx \tfrac{1}{2}\left(p_{VERT} + p_{HOR}\right)$$

حيث (بالقيم الخطية) إن:

z_0 : معاوقة النظام

p_{VERT} : قدرة دخل جذر متوسط التربيع من الهوائي المستقطَب الرأسي

p_{HOR} : قدرة دخل جذر متوسط التربيع من الهوائي المستقطَب الأفقي

p_{RX} : القدرة المقيسة بالمستقبِل، باستعمال مكشاف جذر متوسط التربيع

a_n : اتساع التوتر من عينة قياس واحدة من الهوائي الرأسي

b_n : اتساع التوتر من عينة قياس واحدة من الهوائي الأفقي

T : زمن فترة تبديل الهوائي.

6.2.5 الأبعاد

يتناسب حِمل الرياح الناتج عن الهوائي مع السطح الفعلي للهوائي وسرعة الطائرة أثناء القياس. ولذلك فإن أبعاد ووزن هوائي القياس المسموح بها تعتمد كثيراً على نمط الطائرة المستعملة والطريقة الفردية لتركيب الهوائي على هذه الطائرة. وعلى سبيل المثال، في حالة هوائي مثبت عند نهاية خيط مسحوب وراء الطائرة، ينبغي أن يكون حِمل الرياح لهذا الخيط صغيراً ليحول دون فقدان الطائرة للسرعة بسبب سحب الخيط. وفي حالة هوائي مثبت على سارية هوائيات ممتدة أسفل طائرة مروحية، فإن الهوائي لا ينبغي أن يتداخل مع دوار الذيل عند سحب السارية. ويعتمد أقصى وزن مسموح به أيضاً على طريقة التركيب. وعلى السارية القابلة للتمديد، مثلاً، يمكن لهوائي يكون وزنه أثقل من اللازم أن يحول دون تمديد هذه السارية بالشكل الملائم.

7.2.5 السلامة

بالنظر إلى أن الهوائي يُركب خارج الطائرة، من الضروري الحصول على شهادة سلامة صادرة عن هيئة تنظيم الملاحة الجوية. وأثناء تقييم هذه الهيئة للسلامة، يعتبر الهوائي والتركيب وحدة واحدة. وفي حالات كثيرة، يحدث تعارض بين التصميم الكهربائي الأمثل والتصميم الميكانيكي الأمثل للهوائي. ولذلك من المستصوب استشارة المتخصصين في تصميم الطائرات أثناء تطوير الهوائي.

3.5 المُستقبِل

يمكن أن يكون المستقبِل المستعمل في هذا النمط من البيئة مُستقبِل قياس عادي، غير أنه من المستصوب استعمال مُستقبِل خفيف ومقاوم للصدمات والذبذبة. وتستعمل بعض المستقبِلات الحديثة أقراصاً صلبة ميكانيكية لتخزين البيانات. وعند استعمال هذا النمط، من الأفضل الاستعاضة عن أقراص المستقبِلات هذه بنسخ صلبة.

1.3.5 المدى الديناميِ

ينبغي أن يكون المدى الديناميِ للمُستقبِل كبيراً بالدرجة الكافية. فأولاً، لا ينبغي تحميل الطرف الأمامي من المستقبِل بكل الإشارات أكثر مما ينبغي (وليس الإشارة المطلوبة فقط) داخل نطاق التمرير في الطرف الأمامي من المستقبِلات. ويحدد مجموع قدرة هذه الإشارات التوهين المطلوب عند دخل المستقبِل. ومع زيادة القدرة بتناقص المسافة، يجب وضع الموهّن على المسافة الدنيا المتوقعة. ولا تستعمل موهّنات أوتوماتية، نظراً لأن التباطؤ يمكن أن يتسبب في حجب المستقبِل أيضاً.

وباستعمال هذا الإعداد للموهّن، ينبغي أن يترك مدى دينامي كاف لقياس مخطط الهوائي المطلوب بدقة. وفي حالة مخطط الهوائي الأفقي، يمكن أن يتجاوز التباين في القدرة المشعة الفعّالة بسهولة 30 dB. وإذا تباينت المسافة، فإن هذا التباين يزداد تبعاً لذلك. ولدقة قياس أقل مستوى إشارة يمكن أن يحدث، ينبغي أن تكون ضوضاء خلفية المستقبِل أقل من هذا المستوى بما قيمته 10-20 dB.

2.3.5 الانتقائية

ينبغي إعداد انتقائية المستقبِل بحيث تنتقل قدرة الإشارة المقيسة بالكامل إلى المكشاف وتُرفض إشارات القنوات المجاورة بالدرجة الكافية في نفس الوقت. وإذا تم اختيار مرشاح أصغر مما يجب، فإن تشكيل مرسِل الإذاعة المطلوب سيسبب تباينات في الإشارة، مما يقلل دقة القياس. وإذا كان المرشاح أوسع مما يجب، ستضاف قدرة من القنوات المجاورة إلى قدرة القناة المطلوبة، إن وُجدت.

وسوف يكون رفض مُرسِلات القنوات المجاورة على نفس البرج صعباً في الحالات التي يستعمل فيها هوائي الإذاعة قدرة مشعة فعّالة أقل من القنوات المجاورة والتي يكون فيها للهوائيين مخططات هوائيات ذات اتجاهية عالية. وفي هذه الحالة، يكون التخطيط السليم لرحلات الطيران وإعدادات الموهّنات ذا أهمية بالغة. ويكون المدى الديناميِ وجودة مراشيح المستقبِلات هما العاملين اللذين يقيدان الحصول على نتائج جيدة.

وينبغي تزويد المستقبِل بمكشاف يتطابق مع تشكيل المحطة الإذاعية، بحيث يتم قياس كثافة قدرة الإشارة بدقة. ويرد في الملحق 2 وصف لنمط المكشاف المفضل وإعدادات المستقبِلات ذات الصلة. وفي حالة توفر مكشاف اعتيان فقط، يمكن تحسين هذا النمط من المكشافات في برمجية القياس شريطة أن تكون سرعة القياس في المستقبِل كبيرة بما فيه الكفاية وشريطة أن يكون حاسوب القياس سريعاً بما فيه الكفاية.

4.5 البرمجيات وتجهيزات الحوسبة

إن أكثر طريقة عملية للتحكم في التجهيزات هي عن طريق وحدة صغيرة الحجم للتحكم عن بُعد، مثل الحاسوب المحمول أو الحاسوب اللوحي. وتتصل هذه الوحدة ببقية التجهيزات بخيط وحيد من الكبلات. وبهذه الطريقة، فإن عملية الإعداد لا تكون في وضعها الأمثل لمشغل واحد فقط، بل يستطيع جميع المشغلين العثور على أكثر الوسائل راحة للجلوس في الطائرة. ونظراً لأن الحيز محدود في معظم الطائرات، ينبغي أن تكون الوحدة صغيرة. وإذا أمكن، فإن استعمال الحاسوب المدمج في مُستقبِل القياس يوفر الوزن وكبلات الشاشات ويحد أيضاً من التداخل الكهرمغنطيسي (EMI) الناتج عن الحاسوب.

والفأرة أو كرة التتبع غير عملية بالمرة في الطائرة، وبالتالي ينبغي أن يكون من الممكن تشغيل جميع وظائف البرمجيات باستعمال لوحة المفاتيح. ويمكن استعمال مفاتيح الاختصار ومفاتيح الوظائف للقيام بذلك. وينبغي توخي الحذر عند اختيار ألوان شاشة المستعمل، حيث ينبغي استعمال الألوان المثلى للشاشة لتكون المعلومات مقروءة في ضوء الشمس وفي الظلام. ولا ينبغي عرض آثار متعددة في شاشة واحدة؛ لأن ذلك سوف يسبب اللبس. ويتعين عرض البيانات الخام فقط لأن البيانات المعالجة أو الممهدة تجعل من الصعب تقدير جودة القياس.

وينبغي أن تحتوي البرمجية على جميع المعلومات اللازمة لحساب القدرة المشعة الفعّالة أثناء الطيران وعرض الموقع النسبي للطائرة، مثل موقع البرج، وارتفاع الهوائي، ومخطط الهوائي المقرر والقدرة المشعة الفعّالة، والتردد، وما إلى ذلك. وينبغي تخزين مسارات رحلة الطيران المخطط لها سلفاً والارتفاعات والمسافات المثلى باعتبارها معلومات محددة سلفاً. كما يمكن تخزين معلومات أخرى لمساعدة العامل الفني، مثل ترددات المرسِلات الأخرى الموجودة على نفس البرج، وقدرتها وارتفاع هوائيها. ودائماً ما تختلف الحالة العملية قليلاً عن الحالة المخطط لها، ولذلك ينبغي أن يكون من السهل تغيير المعلمات أثناء رحلة الطيران.

وينبغي أن تحتوي البرمجية على اختبار تكامل أوتوماتي لفحص عملية الإعداد كلها وإجراء معايرة سريعة للتجهيزات. ويمكن البدء في تنفيذ فحص التكامل هذا يدوياً كما يُجرى أوتوماتياً قبل كل قياس.

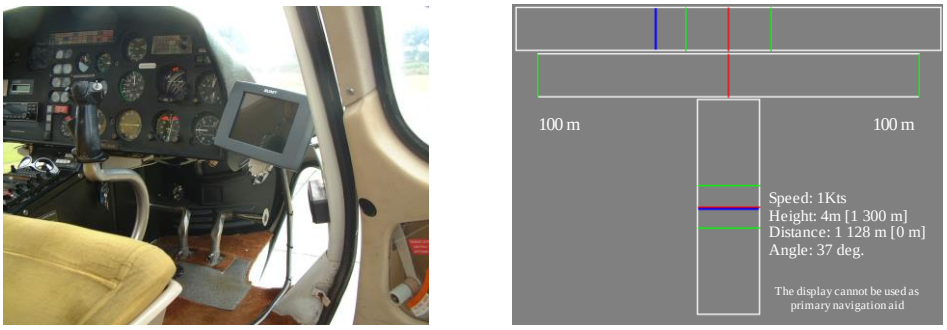
5.5 شاشة الطيار

شاشة الطيار هي شاشة صغيرة تُركب أمام الطيار. وهي ترشد الطيار، قبل بدء القياس، إلى الموقع الذي ينبغي أن يبدأ منه القياس. وتعرض أثناء القياس معلومات في الوقت الحقيقي عن الخروج عن مسار الطيران المحدد. ويمكن استعمال أشكال شاشة مختلفة لأنماط القياسات المختلفة.

وتكون شاشات العرض الصغيرة المستعملة في صناعات السيارات متينة ومناسبة كما يمكن أن تكون كبلات الشاشة أطول من كبلات شاشات الحاسوب العادية من قبيل VGA.

الشـــكل 13

شاشة الطيار وشكل العرض على الشاشة



Report SM.2056-13

وفي مثال شكل العرض على الشاشة الذي يظهر في الشكل 13، يمثل الخط الأزرق في الشريط الأفقي العلوي الموقع الأفقي الفعلي للطائرة. ويمثل الخط الأزرق في الشريط الرأسي الموقع الرأسي الفعلي للطائرة. وتمثل الخطوط الخضراء أقصى انحراف مسموح به عن الخط المثالي الذي تمثله الخطوط الحمراء. والشريط الأفقي الأسفل هو تكبير للجزء الواقع بين الخطوط الخضراء في الشريط العلوي. وأثبتت التجارب أنه يتعين وجود معدل تحديث قيمته 5-10 Hz لتزويد الطيار ببيانات كافية للقيام بطيران انسيابي.

6.5 العمال الفنيون

ينبغي أن يقوم بالقياسات اثنان من العمال الفنيين وطيار. فيقوم أحد العمال الفنيين بالقياس ويهتم الآخر بتوجيه الهوائي وتمديده والمسائل العامة مثل الاتصال بالأرض. وينبغي أن يكون الفنيان قادرين على تحليل البيانات أثناء القياس وتعديل خطة القياس لتتلاءم مع الحالة الفعلية. ولذلك، من الضروري أن تتوفر لهما معرفة واسعة بالهوائيات وقياسها. كما أن ثمة حاجة إلى معرفة مفصّلة بأنظمة البث الإذاعي المطلوب قياسها. ونظراً لأن هذا النمط من القياس عالي التكاليف وينطوي على قدر كبير من التوتر، فإنه ينبغي للفنيين أن يكونا قادرين على العمل بشكل جيد كفريق من أجل اتخاذ القرارات اللازمة في الوقت المناسب.

7.5 الطيار

ينبغي أن يطير الطيار داخل حدود مسار الطيران المحددة سلفاً غير أن مسار الطيران ليس هو العامل الأهم. فالطيران الثابت له نفس الأهمية. وينبغي أن يكون لدى الطيار معرفة كافية بالقياسات المطلوب تنفيذها لينصح باستعمال مسارات طيران بديلة في حالة ما إذا تسببت مسارات الطيران المختارة في صعوبات عملية أو صعوبات تتعلق بالسلامة.

8.5 الطائرة

يعتمد اختيار طائرة محددة على عوامل كثيرة، كما أنه يؤدي إلى احتمالات وقيود محددة على نظام القياس وعلى رحلات الطيران المخصصة للقياس. ولذلك يُنصح بتصميم نظام القياس على الطائرة التي ستستعمل. ويمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات عن الاختلافات بين الطائرات في الملحق 3.

6 إجراءات القياس

يرد في هذا القسم وصف لإجراءات القياس التي يتعين اتباعها في وقت لاحق، من أجل الحصول على نتائج قياس عالية الجودة من قياسات مخطط الهوائي المحمول جواً:

1.6 استطلاع الموقع

قبل القيام برحلة طيران للقياس أو حتى تخطيطها، يجب جمع معلومات كثيرة عن موقع الإذاعة المستهدف:

- يجب معرفة الموقع الثلاثي الأبعاد لمركز طور هوائيات الإذاعة بدقة. وتتم جميع عمليات التوجيه بالنسبة إلى هذا الموقع وتكون المسافة المستعملة في حساب القدرة المشعة الفعّالة بالنسبة إلى هذا الموقع أيضاً. ويجب تحديد الموقع الأفقي والارتفاع باستعمال جهاز لتحديد الموقع المركب في الطائرة، للحد من اختلافات المعايرة. ويجب قياس مركز طور الهوائي وليس موقع برج الهوائي. ولا ينبغي الوثوق في قيم ارتفاع الهوائي وموقعه على الورق بدون التحقق منها بالقياس.
- يجب أن تكون حدود مخطط الهوائي (معبراً عنها بالقدرة المشعة الفعّالة) لتراخيص الهيئة الإذاعية معروفة مسبقاً. ويمكن إدخالها في برمجية القياس لمساعدة العامل الفني.
- من الضروري معرفة نمط هوائي الإذاعة، واتجاهه، وأبعاده لتقدير تأثير الانعكاسات الأرضية وتخطيط رحلات القياس.
- يجب معرفة نمط الأرض وتشكيلها لمراعاة العوائق ومشكلات الانعكاس المحتملة.
- يجب معرفة قدرة الترددات الراديوية (RF) ومخططات هوائيات المرسِلات الأخرى الموجودة في نفس الموقع وذلك لتقدير تدهور قياس مخطط الهوائي بسبب الإشارات الصادرة عن القنوات المجاورة ولحساب إعدادات موهِّن المستقبل المثلى. كما يجب حساب المسافة الدنيا من البرج وذلك للحيلولة دون الإفراط في تعرض الأشخاص والطائرة للمجالات الكهرمغنطيسية.
- يجب فحص عرض النطاق المشغول وشكل الطيف في المرسِل المطلوب للتأكد من أن مراشيح المستقبل قد أعدت بشكل مناسب. كما يجب فحص عرض النطاق المشغول لمرسِلات القنوات المجاورة لضمان الحماية الكافية.

وبالنظر إلى أن معظم هذه المعلومات يتم جمعها في موقع الإذاعة، فإننا نطلق على هذه المرحلة في جمع البيانات اسم *استطلاع الموقع*.

2.6 تخطيط القياس

يجب تخطيط حملة القياس بالتجهيزات المحمولة جواً بشكل جيد لتحقيق أفضل النتائج. ويتعين في كثير من الأحوال قياس عدة مواقع إذاعة في وقت لاحق، وفي حالات كثيرة يجب قياس أكثر من مخطط هوائي واحد في نفس الموقع. ويجمع التخطيط الصحيح بين هذه القياسات على نحو يتسم بالكفاءة.

ويشمل تخطيط القياس حساب زمن رحلة الطيران إلى مواقع الإذاعة وبينها، والزمن اللازم لإجراء جميع رحلات الطيران المطلوبة. ويمكن تحديد أنماط رحلات الطيران اللازمة وارتفاعات ومسافات ومسارات الطيران المثلى باستعمال المعلومات التي يتم جمعها أثناء عملية استطلاع الموقع. ومن الممكن بشكل عام، وليس في كل الأحوال، قياس مخططات متعددة تستعمل فيها مُرسِلات أخرى نفس الهوائي. وينبغي أن تناقش مع الطيار أوقات ومواقع إعادة التزود بالوقود والمسائل الأخرى المتعلقة بالطيران، حيث يبقى الطيار مسؤولاً عن سلامة الطيران.

3.6 اختبار ما قبل الطيران

بالنظر إلى أن زمن الطيران هو أكثر مكونات زمن القياس تكلفة، يجب اختبار جميع التجهيزات بصورة شاملة بعد تجميعها في الطائرة وقبل الإقلاع. وبهذه الطريقة يمكن تفادي أي مفاجآت قد تحدث أثناء رحلات طيران القياس.

4.6 رحلات طيران القياس

يعتمد نمط رحلات طيران القياس تماماً على موقع الهوائي والطائرة المستعملة. وعلى سبيل المثال، لقياس مخطط هوائي إذاعة في الموجات VHF باستعمال طائرة مروحية، يلزم استعمال نهج مختلف عن النهج المستعمل في قياس صفيف متوسط الموجة بطائرة عادية. ويرد في الفقرتين 6 و7 وصف لأنماط رحلات طيران القياس المختلفة وتطبيقها. وأثناء عمليات القياس يتعين رصد الإشارة القادمة من الهوائي الذي يجري اختباره على الأرض، لكفالة أن تظل الإشارة المرسَلة ثابتة بدرجة كافية.

5.6 تقييم التجهيزات بعد رحلة الطيران

بعد رحلة طيران القياس مباشرة، يجب تكرار اختبار ما قبل الطيران للتأكد من أن جميع التجهيزات لا تزال تعمل على النحو المتوقع. وينبغي تسجيل أي حالات شاذة للمساعدة في عملية التجهيز اللاحقة.

6.6 معالجة البيانات وتحليلها

يتم تسجيل جميع بيانات القياس الخام أثناء رحلة الطيران. وبالجمع بين هذه البيانات والقيم المعروفة مثل كسب هوائي القياس، وموقع هوائي الإرسال، وعوامل التصحيح الأخرى، يتم الحصول على مخططات الهوائيات المطلوبة في الوقت الحقيقي، مما يعطي العامل الفني فكرة جيدة عن القياس أثناء رحلة الطيران. ولا يمكن القيام بتحليل أكثر تفصيلاً إلا على الأرض، حيث يتوفر المزيد من الوقت. وتستعمل المعلومات الإحصائية المستمدة من بيانات القياس ومعلومات معايرة التجهيزات لتقدير دقة القياس. ويمكن استعمال مسارات القياس المكررة أو المتقاطعة لتحقيق الارتباط بين بيانات القياس. ويرد وصف هذه البنود في الفقرة 7.

7.6 الإبلاغ

إن شكل الإبلاغ الموحد، الذي تستعمل فيه مكونات التقرير الموحد والأشكال البيانية الموحدة ومقايسة الأشكال البيانية ييسر تفسير مختلف القياسات ومقارنتها بشكل أسرع، ولذلك يوصى به. وتتناول الفقرة 9 هذه البنود. ويعتبر تحليل عدم اليقين في القياس جزءاً أساسياً من هذا التقرير، حيث يصبح تقرير القياس بدونه قليل الفائدة. ويرد في الفقرة 8 مثال على هذا الحساب.

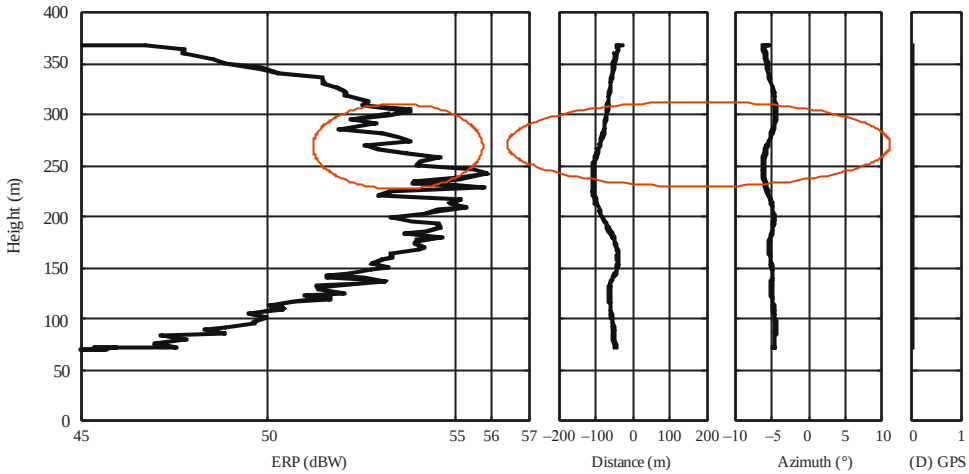
7 معالجة البيانات المقيسة

1.7 فحص البيانات

يجب تحليل البيانات بعد الانتهاء من القياسات من أجل تحديد ما إذا كان قد تم الوفاء بمعايير الدقة. وللقيام بذلك، تُرسم عدة منحنيات، تبين جميع نقاط القياس الفردية التي تم جمعها. وينبغي وضع معلومات إضافية مثل الارتفاع والأخطاء في المسار على نفس الرسم البياني لنتائج القياس حتى يمكن ربط أخطاء رحلة الطيران مثلاً بحالات الشذوذ في النتائج المقاسة. ويرد في الشكل 14 مثال على ذلك. وهو مخطط هوائي رأسي تم جمعه بثلاثة مخططات إضافية. وتشير المخططات من اليسار إلى اليمين إلى القدرة المشعة الفعّالة، منعكسة من المسافة المستهدفة، ومنعكسة من السمت المستهدف، وخطأ جهاز تحديد الموقع. والأجزاء التي عليها علامة في المخطط هي أجزاء من المحتمل أن تكون غير قابلة للاستعمال بسبب مجموعة من أخطاء المسافة والسمت. ويمكن استعمال هذا التحليل الأول لاستبعاد أجزاء معينة من المخططات أو لاتخاذ قرار بشأن قياس هذه الأجزاء مرة أخرى. وينبغي إجراء نفس العملية في رحلات الطيران الدائرية والأفقية.

الشـــكل 14

المخطط الرأسي مع معلومات رحلة الطيران



Vertical flight			LOPIK 2004-05-11 LPs 94.3 MHz Radio 4				
Height			Distance	Azimuth	Date	Time	Measurement data file
From	To					10:14 uur	
70 m	367 m		950 m	314°	12 May 2004	10:15 uur	LOPIK 2004-05-11 LPs.M01

Report SM.2056-14

2.7 تحقيق الارتباط بين رحلات الطيران المختلفة

عند إجراء رحلات طيران مختلفة على مرسِل واحد يمكن في كثير من الأحيان تحقيق الارتباط بين هذه القياسات. ويمكن القيام بذلك عند تكرار نفس نمط رحلة الطيران، ولكن يمكن القيام بذلك أيضاً عندما تتقاطع مسارات رحلات الطيران المختلفة. وعن طريق تسجيل عدد كاف من النقاط من كل رحلة طيران حول هذا التقاطع، يمكن حساب قيم الوسيط والانحراف المعياري. ويمكن تقييم هذه القيم لتقدير الارتباط وتقدير الدقة المحققة.

3.7 معالجة البيانات

تُملي متطلبات دقة القياس اتخاذ نقاط قياس أكثر من النقاط المطلوب عرضها. ولذلك، يمكن استعمال طريقة تقليص البيانات. ويزيد ذلك من الدقة النهائية لكل نقطة يجري عرضها، ويصبح المخطط المعروض أكثر تمهيداً ومن الأيسر مقارنته بالمخططات أو المنحنيات المرجعية الأخرى.

وعلى سبيل المثال، إذا كان يلزم نقطة قياس واحدة لكل درجة من السمت في مخطط إشعاع أفقي وتم تنفيذ 20 قياساً لكل درجة، فإن احتساب المتوسط على فاصلة من درجة واحدة سيؤدي إلى قيمة أقرب إلى القيمة الفعلية.

وأكثر الوسائل شيوعاً للقيام بذلك هي استعمال متوسط مُقسّم على نوافذ على فترة فاصلة. وينبغي تعديل شكل النافذة وطولها لتلائم الفترة الفاصلة التي يتوقع فيها حدوث تغيرات ملموسة في القيمة. والطريقة المفضلة هي استعمال متوسط مُقسّم على نوافذ على فترة فاصلة. وإلى جانب القيمة الوسيطة يمكن أيضاً حساب الانحراف المعياري على امتداد النافذة. ويؤثر حجم النافذة وشكلها تأثيراً كبيراً على النتائج النهائية وينبغي اختيارهما بحرص. ولنفس السبب، ينبغي الإشارة في تقرير القياس النهائي إلى كمية ونمط التمليس.

8 عمليات حساب عدم يقين القياس

ينبغي أن يكون كل مخطط هوائي مقيس مصحوباً بحساب لعدم يقين القياس. وبدون ذلك، يصبح القياس بلا فائدة لأغراض التحقق.

1.8 عدم اليقين النموذجي للقياس

يمكن استعمال حساب معمم لعدم يقين القياس لتمييز دقة القياس النموذجية لنظام القياس. فيتم تحديد وتقدير جميع مصادر عدم اليقين التي توجد عادةً في نظام القياس وأثناء القياس، ويجرى حساب شامل لعدم اليقين، نطلق عليه اسم *عدم اليقين النموذجي في القياس*. ويقدم هذا الشكل فكرة عامة عن دقة نظام القياس لحالة القياس المتوسطة. ويمكن اعتبار عدم اليقين النموذجي في القياس بما يتراوح بين 1,5 dB و2,5 dB لفترة فاصلة نسبتها 95 في المائة إنجازاً طيباً. ولا يمكن تحقيق ذلك إلا عند تقليص جميع المصادر الرئيسية المكونة للخطأ إلى الحد الأدنى وعند إجراء القياس بدقة شديدة.

2.8 عدم اليقين الفعلي للقياس

غير أنه يجب إجراء حساب فردي لعدم يقين القياس لكل قياس فردي، مع مراعاة الظروف المحددة عند حدوثها أثناء القياسات الفعلية. وعلى سبيل المثال، فإن التباينات الناتجة عن الانعكاسات وأخطاء الطيران سوف تختلف في كل قياس ولكل موقع إرسال وتشكيلة هوائي الإرسال. ولا يمكن عرض رقم صحيح لدقة القياس في كل قياس فردي إلا عن طريق أخذ هذه التباينات في الحسبان.

وهناك طريقة جيدة للقيام بذلك وهي البدء بالحساب المعمم لدقة القياس، وفحص جميع القيم الواردة في هذا الحساب وتصحيحها لتلائم الظروف المحددة التي حدثت أثناء القياس. وسوف يوفر تحليل لبيانات القياس على غرار التحليل الوارد في الفقرة 7 مدخلات مهمة لهذه العملية. ويطلق على القيمة التي يتم حسابها على هذا النحو *عدم اليقين الفعلي للقياس*، وهي قيمة فريدة لكل قياس. ويجب ذكر هذا الرقم، *وليس* إلى القيمة النموذجية، في تقرير القياس.

3.8 المنهجية

يجب إجراء وعرض حساب عدم يقين القياس بطريقة تتفق مع المعايير الدولية المطبقة، مثلاً، "دليل التعبير عن عدم يقين القياسات" الصادر عن المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO).

وعند استعمال هذه الطريقة، يوصف كل قياس أولاً، ويليه المعادلة الرياضية التي يتم بها حساب النتيجة النهائية من المتغيرات الفردية المشمولة. ثم توصف كل هذه المتغيرات مع عدم اليقين الخاص بها، وتحدد عوامل ترجيح تأثيرها على النتيجة النهائية. وعند التعبير عن متغيرات المصدر لوغاريتمياً، يجب أولاً تحويلها إلى قيم خطية. وبهذه المعلومات، يتم حساب عدم يقين النتيجة النهائية وعرضها بالشكل الموحد. كما يتم أيضاً تحديد العوامل الرئيسية المؤدية إلى عدم اليقين العام.

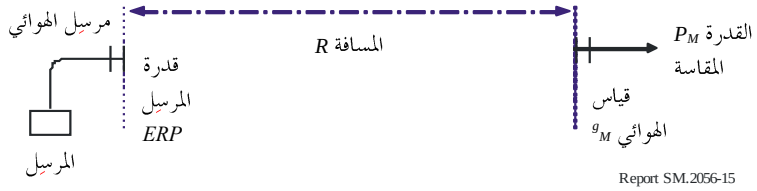
4.8 مثال على حساب عدم يقين القياس

يرد في هذا القسم مثال عملي على الحساب الفعلي لعدم اليقين في نظام قياس مخطط الهوائي. ويوضح المثال تأثير مصادر الخطأ المختلفة، والهدف منه المساعدة في إجراء التحليل الذاتي لعدم يقين القياس. والقيم الواردة في هذا المثال هي قيم عشوائية، ويمكن أن تكون في الممارسة أفضل أو أسوأ حسب الجهد المبذول لوضع التصميم في أمثل شكل.

ويصف المثال نظاماً افتراضياً للقياس يعتمد على طائرة مروحية لقياس مخطط هوائي أفقي لمرسِل إذاعة بتشكيل التردد على الموجات المترية معبراً عنه بالقدرة المشعّة الفعّالة ويبدأ بقياس القدرة المشعة المكافئة المتناحية، في حالة التعبير عنها بوحدة dB، أو بالقدرة المشعة المكافئة المتناحية بخلاف ذلك. ويتم قياس القدرة، P_M، من مسافة، R، من هوائي الإرسال. ويتم ذلك باستعمال هوائي قياس يتضمن كسباً للهوائي، g_M، ومُستقبِل قياس (انظر الشكل 15):

الشـــكل 15

قياس القدرة المشعة المكافئة المتناحية



وعند كل نقطة قياس يتم إجراء الحساب التالي باستعمال المعادلة (1):

$$eirp = \frac{16\pi^2}{c^2} \cdot \frac{p_M . R^2 . f^2}{g_M}$$

حيث:

p_{EIRP} : القدرة بالنسبة إلى عنصر مشع متناح (W)

p_{RX} : القدرة عند مطاريف مدخل المستقبل (W)

R : المسافة (m) بين هوائي الاستقبال وهوائي الإرسال

g_{RX} : كسب (القيمة الخطية) هوائي الاستقبال بالنسبة إلى عنصر مشع متناح

f : التردد (Hz)

c : سرعة الضوء (m/s).

ولا تحسب المعادلة السابقة إلاّ القدرة المشعة المكافئة المتناحية عند هذه النقطة المعينة في الفضاء. وهناك عوامل إضافية أخرى يمكن أن تجعل القدرة المشعة المكافئة المتناحية المقيسة تختلف عن القدرة المشعة المكافئة المتناحية الفعلية لهوائي المرسِل. وعند إدخال هذه العوامل في المعادلة فإنها تصبح كما يلي:

$$p_{EIRP} = \frac{16\pi^2}{c^2} \cdot \frac{p_M . R^2 . f^2}{g_M} . a_{REF} . a_H$$

حيث:

a_{REF}: الانعكاسات: تداخل الموجة المباشرة والموجة المنعكسة

a_H: تأثير ارتفاع الطيران غير الصحيح.

ويتم تحويل القدرة المشعة المكافئة المتناحية التي تم الحصول عليها إلى قدرة مشعة فعّالة باستعمال المعادلة (3). ونظراً لأن هذه المعادلة لا تحتوي إلا على ثابت نظري واحد فقط، فإن إسهامها في عدم اليقين المجمع للقياس هو صفر. وعدم يقين قياس القدرة المشعة الفعّالة هو نتيجة لعدم اليقين في قياس معلمات المدخلات. كما أن بعض هذه المعلمات بها مصادر خطأ متعددة تنشئ عدم يقين خاص بها. وتناقش مصادر الخطأ ذات الصلة بهذا المثال في قسم لاحق.

الثوابت تحتوي المعادلة على الثوابت 16، وπ وسرعة الضوء (c). ونظراً لكونها ثابتة تماماً ومعروفة بشكل مطلق، فإن إسهامها في عدم اليقين الشامل هو صفر.

التردد التردد f المستعمل في هذه المعادلة هو تردد الموجة الحاملة، وقدره في هذا المثال 100.1 MHz. وفي الواقع الفعلي لا تكون جميع مكونات القدرة المقيسة على هذا التردد بسبب تشكيل المرسِل. وعلى افتراض أن معظم القدرة تتركز في حدود 100 kHz من الموجة الحاملة، فإن عدم اليقين النسبي Δf يكون حوالي 0,1 في المائة. ويفترض أن توزيع الخطأ متماثل.

المسافة ينتج عدم يقين المسافة من عدم يقين قياس الموقع الثلاثي الأبعاد لهوائي المرسِل وهوائي القياس على الطائرة. وفي هذا المثال يتم الطيران في دائرة على نفس ارتفاع هوائي المرسِل تقريباً مع ميل نحو الأسفل مقداره 5°. ولذلك فإن الأخطاء الأفقية يكون تأثيرها على الدقة الناتجة أكبر من تأثير الأخطاء الرأسية، ولذلك يتم حساب واستعمال معاملات الحساسية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن موقع مركز الطور الكهربائي لهوائي المرسِل، واختلاف الموقع الأفقي والرأسي لهوائي القياس، وجهاز تحديد الموقع على الطائرة كلها مصادر عدم اليقين. ويحسب عدم يقين المسافة R بشكل منفصل لاستعماله كمُدخل لمزيد من الحسابات.(يمثل حساب عدم يقين R عادةً جزءاً من التقرير ولكنه استبعد من هذا المثال.) وعدم اليقين الناتج هو مسافة 6 m موزعة توزيعاً طبيعياً، بنسبة احتمال 95 في المائة. وفي هذا المثال، حيث يتم الطيران في دائرة على مسافة 1 100 m، يمثل ذلك عدم يقين نسبته 0,56 في المائة.

كسب الهوائي ينتج عدم يقين كسب الهوائي من عدم يقين معايرة الهوائي، وكبلات التردد الراديوي، وعدم تطابق الاستقطاب المتبقي، وسوء تراصف الهوائي الأفقي والرأسي. وفي معادلة (g_M كقيمة خطية، وG_M بوحدة dB):

$$g_M = g_{CAL} \cdot a_{CBL} \cdot a_{HOR} \cdot a_{VERT} \cdot a_{POL}$$

RX power ينتج عدم يقين القدرة المستقبَلة عن عدم يقين معايرة المستقبِل، وعدم التطابق بين الهوائي والمستقبِل، وخسائر مرشاح التردد المتوسط (IF) الناتجة عن إفراط عرض نطاق المرسِل، والتسرب من مُرسِلات القنوات المجاورة. وفي المعادلة ($_{PM}$ كقيمة خطية، وP_M بوحدة dBW):

$$p_M = p_{M-CAL} \cdot a_{MIS} \cdot a_{FILT} \cdot a_{NABU}$$

الانعكاسات من العوامل الرئيسية التي تساهم في عدم اليقين الشامل للقياس هو الانعكاس الأرضي. ويعتمد الاتساع النسبي للانعكاسات على انعكاسية الأرض والأشياء المبنية عليها. ويتم توهين الانعكاس بالاختلاف النسبي في طول المسار بين الموجة المباشرة والموجة المنعكسة وبالمخطط الرأسي لهوائي المرسِل وهوائي المستقبِل. وقد تم اشتقاق حجم الانعكاس الأرضي في هذا المثال من تحليل القياسات الفعلية، وقدره 1,7 dB في هذه الحالة.

خطأ الارتفاع عند الطيران على ارتفاع يختلف عن الارتفاع الذي ينبغي قياس المخطط عنده، تختلف القدرة المشعة الفعّالة المعروضة عن القدرة المشعة الفعّالة لهوائي المرسِل. وينتج الخطأ في الارتفاع عن عدم يقين قياس ارتفاع الهوائي أثناء استطلاع الموقع، وعدم يقين قياس جهاز تحديد الموقع على الطائرة، وخطأ الطيران أثناء القياس. ويتوقف خطأ القدرة المشعة الفعّالة الناتج على المسافة من هوائي المرسِل والاتجاهية الرأسية لهوائي المرسِل.

وفي المثال، يبلغ خطأ الارتفاع المجمع 23 m بتوزيع طبيعي وبنسبة ثقة قدرها 95 في المائة. وعلى مسافة 1 100 m، يتطابق هذا مع زاوية رأسية قيمتها 1,2°. وبطبيعة مخطط الهوائي الرأسي لهوائي إذاعة من أربع طبقات، فإن الخطأ الناتج في القدرة المشعة الفعّالة هو حوالي 0,1 dB.

ويرد في الجدول 1 حساب عدم اليقين الشامل من القياس في هذا المثال.

الجـــدول 1

حساب عدم اليقين الشامل من القياس

الرمز	المصدر	عدم اليقين (±dB)	عدم اليقين (%)	التوزيع	المقسم	معامل الحساسية c_i	الانحراف المعياري للمصدر $u_i(a_x)$ (%)	درجات الحرية v_i أو v_{eff}
سرعة الضوء								
c	سرعة الضوء	صفر						
التردد								
f	التردد الراديوي (RF)		0,1	موحد	1,7321	2	0,1	∞
المسافة								
R	المسافة بين هوائي المرسِل وهوائي المستقبِل		0,6	طبيعي	2	2	0,6	∞
كسب الهوائي								
$g_{M\text{-}CAL}$	معايرة كسب الهوائي	1,0	26	طبيعي	2	1	12,9	∞
a_{HOR}	سوء التراصف الأفقي	0,2	4,7	موحد	1,7321	1	2,7	∞
a_{VERT}	سوء التراصف الرأسي	0,3	7,2	موحد	1,7321	1	4,1	∞
a_{POL}	خسارة الاستقطاب	0,3	7,2	موحد	1,7321	1	4,1	∞
قياس القدرة								
$p_{RX\text{-}CAL}$	معايرة المستقبِل	1,5	41	طبيعي	2	1	20,6	∞
a_{MIS}	عدم التطابق	0,09	2,1	على شكل حرف U	1,4142	1	1,5	∞
a_{FILT}	الطاقة خارج عرض نطاق المرشاح	0,15	3,5	موحد	1,7321	1	2,0	∞
a_{ADJ}	تداخل القنوات المجاورة	لا يكاد يذكر						
الانعكاسات								
a_{REF}	تأثير الانعكاسات	1,7	47,9	موحد	1,7321	1	27,7	∞
خطأ الارتفاع								
a_H	تأثير خطأ الارتفاع	0,1	2,3	طبيعي	2	1	1,2	∞
$UERP$	عدم اليقين القياسي المجمع			طبيعي			38	∞
U	عدم اليقين القياسي الممتد (95 في المائة فترة الثقة)			طبيعي (k=2)			75	∞

ولذلك فإن عدم يقين القياس الفعلي في هذا المثال هو $10 \log_{10} (1 + U) = 2{,}4$ dB.

9 الإبلاغ

ينبغي الإبلاغ عن مخطط إشعاع الهوائي في تقرير يحتوي على المخطط المقيس واستكماله بموجز والاستنتاجات. ويفضل استعمال شكل موحد لأن ذلك يساعد في المقارنة بين القياسات المختلفة. وينبغي أن يكون هذا الشكل مختصراً بقدر الإمكان، دون حذف المعلمات الرئيسية.

1.9 التقرير الموحد

يمثل تقرير المثال التالي أسهل وصف للتقرير الموحد. وقد كُتبت عناوين التقرير ***بالحروف المتصلة***، بينما وُضعت خطوط تحت المعلومات الواجب استكمالها لتوافق الحالة المحددة. ويمكن تعديل النص حسب النتيجة أو أحداث محددة أثناء القياسات. ويبقى الهيكل العام كما هو:

1.1.9 الموجز

في 12 و14 سبتمبر 2003 أجرت الهيئة الراديوية في البلد ألف قياسات لمخطط الهوائي المحمول جواً حول برج الإرسال في المدينة باء. وأثناء حملة القياس هذه، أجريت قياسات على إشارة الراديو جيم على 102,2 MHz. وباستعمال هذه القياسات تم تحديد مخطط هوائي نظام الهوائي المستعمل.

2.1.9 الاستنتاجات

إن القدرة المشعة الفعّالة للراديو جيم في المدينة باء، المرسلة على 102,2 MHz تتجاوز حدود الرخصة بمقدار يصل إلى 15 dB باتجاه السمت 210-270°. وفي اتجاه السمت 0-340° تقل القدرة المشعة الفعّالة بمقدار 7 dB عما كان مخططاً لها.

3.1.9 مقدمة

كانت الشكاوى المتعلقة باستقبال الراديو جيم في المنطقة المحيطة بشمال المدينة باء هي السبب في هذا التحري. وأعطت نتائج قياسات شدة المجال المتنقلة انطباعاً بأن مخطط هوائي الراديو جيم لم يكن في الحالة المثلى، ولذلك أجريت قياسات محمولة جواً لمخطط الهوائي. وفي 12 سبتمبر 2003 أجرت الهيئة الراديوية في البلد ألف قياسات للهوائي المحمول جواً حول برج الإرسال في المدينة باء. وأثناء حملة القياس هذه، أجريت قياسات لإشارة الراديو جيم على 102,2 MHz. ومن هذه القياسات، تم تحديد مخطط الهوائي الخاص بنظام الهوائي المستعمل. وتكررت القياسات في 14 سبتمبر 2003 لإثبات إمكانية إجراء القياسات مرة أخرى. ولا يعبر هذا التقرير إلا عن نتائج القياسات ولكن يمكن استعماله كمُدخل لأنشطة التفتيش أو الإجراءات التصحيحية.

4.1.9 نتائج القياس

في 12 سبتمبر 2003، تم إجراء قياسين لمخطط إشعاع الهوائي الأفقي للراديو جيم في المدينة، الذي يرسل على 102,2 MHz. وكان المخططان متشابهين تقريباً الأمر الذي يثبت إمكانية تكرار القياس. وفي 14 سبتمبر 2003 تم قياس نفس المخطط مرتين مرة أخرى. وكانت هناك علاقة ارتباط قوية للغاية بين نقاط القياس في كل رحلات الطيران لدرجة أنه لم يكن من الممكن التمييز بين المخططين. وبالتالي، تعتبر إمكانية تكرار القياس مرتفعة جداً.

ويرد مخطط إشعاع الهوائي في الشكل 16. وتم التعبير عن القدرة المشعة الفعّالة في اتجاهات السمت المختلفة على المحور الإشعاعي (dBW). ويعرض الخط الأحمر الحدود كما ترد في الترخيص. ويمثل الخط الأزرق مخطط إشعاع الهوائي المقيس.

5.1.9 دقة القياس

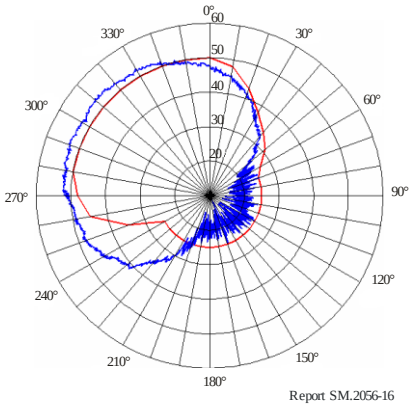
تبلغ دقة قياس القدرة المشعة الفعّالة المطلقة 1,5 dB بنسبة ثقة 95 في المائة في هذا القياس المحدد. ويتوفر وصف نظام القياس وحساب عدم يقين القياس كتقرير منفصل.

6.1.9 مخالفة شروط الترخيص

ترد في الجدول 2 مقارنة بين النتائج المقيسة وحدود الترخيص. ويتجاوز المخطط الأفقي حدود القدرة المشعة الفعّالة الواردة في الترخيص في اتجاهات السمت بين 210° و270° بما يصل إلى 15 dB. وفي اتجاهات السمت بين 340° و360° تصل القدرة المشعة الفعّالة إلى 7 dB أقل من الوارد في الترخيص.

الشـــكل 16

مخطط إشعاع الهوائي للراديو جيم – المدينة باء – 102,2 MHz



الجـــدول 2

بيانات القدرة المشعة الفعّالة وبيانات الترخيص في شكل جدولي

اتجاه السمت	الترخيص	المقيس	الفرق
	(dBW)		
°0	50	43	dB 7–
°10	48	41	dB 7–
°20	43	37	dB 6–
°30	38	32	dB 6–
°40	34	29	dB 6–
°50	31	20	dB 11–
°60	27	18	dB 9–
°70	25	18	dB 7–
°80	25	17	dB 8–
°90	25	16	dB 9–
°100	25	18	dB 7–
°110	25	17	dB 8–
°120	25	19	dB 7–
°130	25	18	dB 7–
°140	25	17	dB 9–
°150	25	17	dB 8–
°160	25	19	dB 6–
°170	25	18	dB 8–

اتجاه السمت	الترخيص	المقيس	الفرق
	(dBW)		
°180	25	17	dB 6–
°190	25	18	dB 7–
°200	25	20	dB 5–
°210	25	25	dB 0–
°220	25	31	dB 5+
°230	26	37	dB 10+
°240	25	41	dB 15+
°250	35	44	dB 8+
°260	45	45	dB 1–
°270	48	47	dB 1–
°280	50	48	dB 2–
°290	50	49	dB 1–
°300	50	48	dB 2–
°310	50	49	dB 1–
°320	50	48	dB 2–
°330	50	48	dB 3–
°340	50	47	dB 4–
°350	50	45	dB 6–

2.9 توحيد مخططات الهوائيات المبلغ عنها

سوف يؤدي تغيير مقياس مخطط الهوائي الموضح إلى تغيير هائل في المظهر البصري للشكل المبلغ عنه. ولذلك يُنصح بوضع بعض الأشكال المفضلة، حيث سيصبح من الأسهل بهذه الطريقة مقارنة النتائج التي يتم الحصول عليها من حملات مختلفة بل والمقارنة بين الإدارات المختلفة. ويرد هنا عدد صغير من الأشكال المفضلة لأكثر أنماط الطيران شيوعاً:

1.2.9 مخطط الإشعاع الأفقي

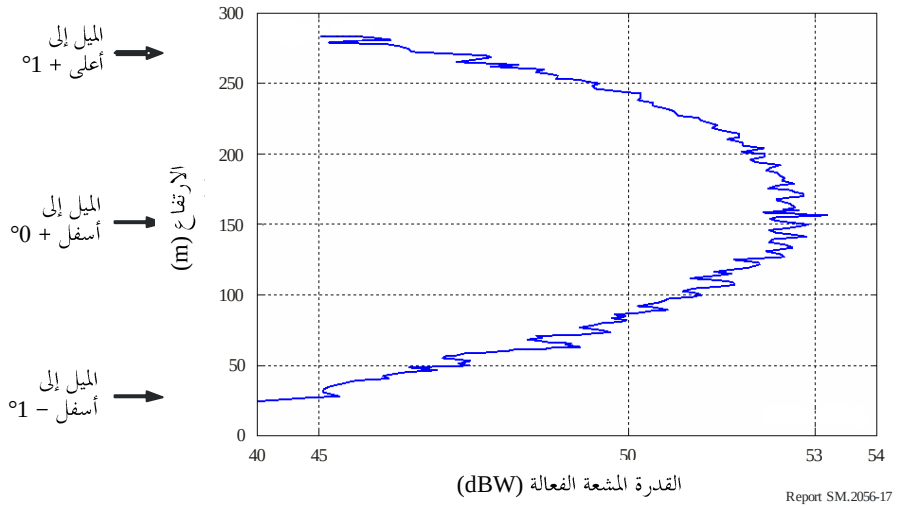
فيما يتعلق بمخطط الإشعاع الأفقي الموضح في المثال، ينبغي أن يكون المقياس الشعاعي خطياً لوغاريتمياً في حدود 50 dB. ولا فائدة من استعمال أكثر من 50 dB نظراً لأن الصفائف الأكبر من ذلك لا تزيد نسبة الإشعاع الأمامي إلى الإشعاع الخلفي فيها عن 50 dB. كما أنه من غير المحتمل أن يتضمن المخطط قطع يزيد عن 50 dB.

2.2.9 مخطط الإشعاع الرأسي

لم يتم الإبلاغ عن مخطط الطيران الرأسي في تقرير المثال، على الرغم من أنه قد تم إجراؤه فعلياً لتحديد الارتفاع الصحيح للقياس قبل إجراء الطيران في دائرة. وفي حالات معينة، يكون لمخطط الإشعاع الرأسي أهمية خاصة ولذلك ينبغي الإبلاغ عنه. وفي هذه الحالة يكفي الإبلاغ في مدى 10 dB. وبهذا المقياس يصبح من الأسهل تحديد زاوية الميل للفص الرئيسي وعرض الحزمة الرأسية للهوائي. ويعرض الشكل 17 مخططاً رأسياً بتباين يصل إلى حوالي 3 dB بسبب الانعكاس الأرضي. وفي حالة إجراء بحوث حول إلغاء الإشعاع مرتفع الزاوية، ينبغي أن يكون مجال المقياس في حدود 50 dB، كما هو الحال في مخطط الإشعاع الأفقي.

الشـــكل 17

مدى المخطط الرأسي البالغ 10 dB



في المخطط الوارد في المثال تم تحديد المقياس الرأسي بالأمتار بالنسبة إلى مستوى الأرض.

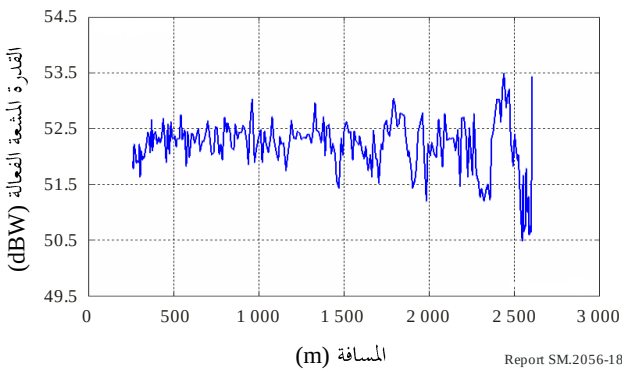
ومع ارتفاع الهوائي الميكانيكي ومسافة الطيران الفعليين يمكن أيضاً التعبير عن هذا المقياس بدرجات زاوية الميل.

3.2.9 مخطط الانتشار

ينبغي أن يكون لمخططات رحلات الطيران الأفقية التي تُجرى لتحديد نقطة أدنى انعكاس أرضي محور رأسي يبلغ نحو 5 dB. وهذا يكفي لتكوين فكرة عن انحراف القدرة في نقطة الانعكاس الدنيا لأن القدرة المشعة الفعّالة ينبغي أن تكون ثابتة على كل مسار رحلة الطيران.

الشـــكل 18

مدى مخطط الانتشار البالغ 5 dB



4.2.9 مخططات أخرى

يمكن تعديل مخططات أخرى لأغراض محددة حسب الحاجة، ولكن ينبغي استعمال المخططات المفضلة كلما أمكن.

الملحـــق 2

التطـــبيقات

1 مقدمة

ورد في الملحق 1 وصف لإجراءات القياس الموصى بها، والتجهيزات اللازمة، وإجراءات الإبلاغ عن قياسات مخططات إشعاع الهوائي باستعمال الطائرة. وهذه التوصيات مستقلة عن نمط الطائرة المختار ويمكن استعماله بصرف النظر عن نظام البث الإذاعي المستعمل.

وترد في هذا الملحق توصيات إضافية تتعلق ببعض أنظمة البث الإذاعي المحددة، مثلاً ما هي رحلات طيران القياس الواجب تنفيذها، وأي مخططات قياس ينبغي استعمالها، وأي إعدادات مُستقبلات ينبغي اختيارها. والهدف من أنظمة البث الإذاعي المذكورة أن تكون بمثابة أمثلة، وليس المقصود أن تكون كل محاولة كَاملة. ويرد في الفقرة 4 من الملحق 1 وصف أكثر تفصيلاً لأنماط الطيران المذكورة في هذا الملحق. وفي الممارسة العملية تعتمد أنماط رحلات طيران القياس الموصى بها بشكل كبير على الطائرة المستعملة أيضاً، ولكن لن تغطى هنا التوصيات التي تتعلق بالطائرات حيث يعالجها الملحق 3.

2 الإذاعة بتشكيل التردد (FM) على الموجات المترية (VHF)

التوصيات التالية صالحة للإذاعة الصوتية بتشكيل التردد أو الطور في النطاق MHz 108-87,5:

1.2 مخطط الإشعاع

في الإذاعة بتشكيل التردد (FM) على الموجات المترية (VHF)، يتم قياس مخطط إشعاع الهوائي الأفقي عند الحد الأقصى لمخطط الإشعاع الرأسي. ويتم التعبير عن مخطط الهوائي المقيس بالقدرة المشعة الفعّالة، مع استعمال هوائي ثنائي الأقطاب بنصف موجة كهوائي مرجعي.

2.2 رحلات طيران القياس

يتم تحديد الحد الأقصى لمخطط الإشعاع الرأسي بإجراء عملية طيران رأسي في اتجاه سمتي واحد أو أكثر. ويحدد هذا الحد الأقصى الارتفاع الذي تجرى عليه رحلة الطيران الدائري. وبالنظر إلى أن قياسات مخطط هوائي الموجة المترية (VHF) تتسم بحساسية خاصة للانعكاسات الأرضية، يتم اختيار مسافة القياس التي تكون الانعكاسات عندها مقبولة. ويمكن تحديد هذه المسافة بإجراء طيران انتشار. وبعد معرفة الارتفاع المثالي والمسافة المثالية، يتم إجراء طيران دائري، ينتج عنه مخطط إشعاع الهوائي المطلوب. ويجب إجراء رحلتي طيران دائريتين على الأقل عند الارتفاع والمسافة المحددين سلفاً للتأكد من إمكانية تكرارهما. ويكون تسلسل القياسات كما يلي: رحلة (رحلات) طيران انتشار، ثم رحلة (رحلات) طيران رأسية، فرحلة (رحلات) طيران دائرية.

3.2 مخطط القياس

يتم إجراء القياسات باستقطاب متطابق. وعندما يكون استقطاب المرسِل إهليليجياً أو متغيراً مع زاوية السمت يجب إجراء القياس للاستقطابين الأفقي والرأسي في نفس الوقت، أو بطريقة مستقلة للاستقطاب كما هو مطلوب في الفقرة 5.2.5 من الملحق 1.

وهوائي القياس الذي يصلح لهذا التطبيق يكون ذا زاوية فتح رأسية صغيرة بما يكفي لإلغاء الانعكاسات الأرضية بطريقة مناسبة، مقترنة بكسب ثابت معقول على المستويين الرأسي والأفقي حول الاتجاه الرئيسي لتحقيق تراصف سهل. ولا يلزم أن يكون لمخطط القياس كسب مرتفع، حيث يمكن استعمال قيم كسب تصل في انخفاضها إلى –15 dBd. والهوائيات الكاملة الحجم ليست عملية بالمرة في مدى الترددات هذا، نظراً لحِمل الرياح ومسائل ميكانيكية أخرى.

4.2 إعدادات المستقبِل

يتمثل إعداد مرشاح المستقبِل في المفاضلة بين تداخل القنوات المجاورة وتشكيل الاتساع (AM) غير المرغوب فيه الذي يولده المرشاح. وتقيد القواعد التنظيمية عرض نطاق إشارات الإذاعة بتشكيل التردد (FM) غير أنه ينبغي التأكد منه قبل القياس باستعمال طريقة القناع الواردة في التوصية ITU-R SM.1268. وعندما تكون الإشارات شديدة الاتساع بالنسبة إلى المرشاح المستعمل، يتم توليد AM غير مرغوب فيه على الإشارة المقيسة. ويتسبب هذا في زيادة عدم يقين القياس. وينبغي اختيار مرشاح واسع بعامل شكل مرتفع (غوسي)، إذا سمح شغل القنوات المجاورة بذلك.

ويكون مكشاف جذر متوسط التربيع هو الاختيار في حالة قياسات الاستقطاب المستقلة ولكن عند عدم استعمال هذه التقنية يمكن استعمال مكشاف المتوسط. ويمكن استعمال مكشاف ذروة أو مكشاف عينة عند توفر عدد كاف من نقاط القياس يسمح بإيجاد المتوسطات فيما بعد. وقد يكون هذا الأخير ضرورياً للحد من تأثيرات أخطاء القياس الصغيرة الناتجة عن التداخل من القنوات المجاورة أو عرض نطاق مراشيح المستقبِلات بالنسبة إلى الإشارة المقيسة.

3 الإذاعة على الموجة المتوسطة (MW) (بتشكيل التردد)

تتسم أنظمة الهوائيات المستعملة في إذاعة الموجة المتوسطة بالحجم الكبير. ومن منظور ميكانيكي تبدأ حالة المجال البعيد، في حالة الصفائف الكبيرة، أحياناً من مسافة أبعد من 1λ من الهوائي. وتكون القدرة عالية عموماً، ولذلك يمكن استعمال هوائيات صغيرة أقل كفاءة للقياس. ويكون الاستقطاب رأسياً في معظم الحالات. وتصمم محطات إذاعة الموجة المتوسطة في كثير من الأحيان لكي تخدم مناطق إقليمية كبيرة نسبياً ولا تستعمل الحزم الضيقة أو المروحية. ويكون عرض النطاق ثابتاً تقريباً وبالتالي يمكن استعمال مرشاح قنوات ذي عامل شكل منخفض (مرشاح قنوات). ويكون نمط التشكيل هو A3E وبالتالي فإن المكشاف المفضل هو AVERAGE. وأثناء القياس ينبغي إغلاق أنظمة توفير قدرة القياس مثل تشكيل الاتساع الديناميكي (DAM). وعادةً ما تكون هوائيات الموجة قائمة على الأرض، وتكون زاوية إشعاعها الرأسية منخفضة جداً. وهي عموماً شاملة الاتجاهات، أو اتجاهية بدرجة طفيفة فقط: الاتجاهية التي تزيد عن 8 dB تكون استثنائية. وللحصول على صورة جيدة للمخطط الإشعاعي الثلاثي الأبعاد للهوائي، يمكن إجراء عدة رحلات طيران دائرية حول الهوائي على ارتفاعات مختلفة، واستكمالها ببعض رحلات الطيران المنخفض. ومن نقاط القياس هذه، يمكن بناء مخطط الإشعاع الثلاثي الأبعاد الفعلي، باستعمال المعلومات التي تفيد بأن مخطط الهوائي الفعلي لا يمكن أن يختلف كثيراً مع حدوث زيادات صغيرة في الزاوية.

4 الإذاعة على الموجة الديكامترية (HF) (بتشكيل التردد)

تتسم أنظمة الهوائيات المستعملة في إذاعة الموجة الديكامترية بالحجم الكبير. ومن المنظور الميكانيكي تبدأ حالة المجال البعيد، في حالة الصفائف الكبيرة، على بُعد عدة أطوال موجات من الهوائي. وتكون القدرة عموماً مرتفعة جداً وبالتالي يمكن استعمال هوائيات صغيرة أقل كفاءة للقياس. ويكون الاستقطاب أفقياً في معظم الحالات. ويكون عرض النطاق ثابتاً تقريباً وبالتالي يمكن

استعمال مرشاح قنوات ذي عامل شكل منخفض (مرشاح قنوات). ويكون نمط التشكيل هو A3E وبالتالي فإن المكشاف المفضل هو AVERAGE. وأثناء القياس ينبغي إغلاق أنظمة توفير قدرة القياس مثل تشكيل الاتساع الديناميكي (DAM).

وتوجد هوائيات الإذاعة على الموجات الديكامترية (HF) في جميع الأشكال المحتملة، من المشعاعات شاملة الاتجاهات عالية الزاوية حتى الحزم الضيقة لخدمة مناطق بعيدة معينة في العالم. وينبغي تحديد استراتيجية القياس حسب مخطط الهوائي المتوقع. وفي حالة استعمال صفيفة ستارية للموجة الديكامترية ذات زاوية منخفضة، يمكن إجراء مزيج من رحلات الطيران الرأسية ورحلات الطيران الأفقية في المنطقة المحيطة بالحزمة الرئيسية. ويمكن استعمال نقاط القياس هذه لرسم مخطط الإشعاع في القطاع المحيط بالفص الرئيسي والفصوص الثانوية الأولى. ويمكن أن تعطي عدة رحلات طيران دائرية على ارتفاعات مختلفة فكرة عامة عن الإشعاع خارج الحزمة الرئيسية.

5 الإذاعة السمعية الرقمية للأرض (T-DAB)

تُنشر الإذاعة السمعية الرقمية للأرض عموماً في شبكات التردد الواحد. وللحصول على نتائج دقيقة وعدم قياس إلا المرسِل المطلوب فقط، يلزم استعمال هوائيات قياس اتجاهية ذات نسبة إشعاع أمامي إلى إشعاع خلفي مرتفعة. ويكون عرض النطاق MHz 1,5 ويكون ثابتاً حتى يمكن استعمال مرشاح القنوات. وكثيراً ما تستعمل هوائيات المرسِل ذات زاوية فتح رأسية صغيرة وميل إلى الأسفل ويكون المخطط الأفقي عامة ذا اتجاهية شاملة. وتنطبق هنا أنماط رحلات الطيران المذكورة في الفقرة الخاصة بالإذاعة بتشكيل التردد (FM). وتكون شروط هوائي قياس الإذاعة السمعية الرقمية للأرض مماثلة للشروط الخاصة بالإذاعة بتشكيل التردد. والإذاعة السمعية الرقمية للأرض نظام رقمي يستعمل تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) وبالتالي يكون مكشاف جذر متوسط التربيع هو الاختيار الصحيح.

6 الإذاعة الفيديوية الرقمية للأرض (DVB-T)

يمكن أن يعمل التلفزيون الرقمي بطريقة التردد الواحد المتزامن كما هو الحال في معظم الأحيان. وللحصول على نتائج دقيقة وعدم قياس إلا المرسِل المطلوب فقط، يلزم استعمال هوائيات قياس اتجاهية ذات نسبة إشعاع أمامي إلى إشعاع خلفي مرتفعة. ويكون عرض النطاق 2 أو 8 MHz ويكون ثابتاً بحيث يمكن استعمال مرشاح للقنوات. وكثيراً ما تستعمل هوائيات إرسال ذات زاوية فتح رأسية صغيرة وميل إلى أسفل ويكون المخطط الأفقي عامة ذا اتجاهية شاملة. وتنطبق هنا أنماط رحلات الطيران المذكورة في الفقرة الخاصة بالإذاعة بتشكيل التردد (FM). وتتميز هوائيات القياس في مدى الترددات هذا عامة باتجاهية رأسية كافية لإلغاء الانعكاسات. وينبغي تفادي استعمال عرض حزمة ضيق أكثر مما ينبغي، لأن ذلك قد يجعل التراصف الصحيح للهوائي صعباً.

الملحـــق 3

طائرات عمليات قياس مخطط الهوائي

1 مقدمة

إن التوصيات الواردة في الملحق 1 مستقلة عن نمط الطائرة المختار ويمكن استعمالها بصرف النظر عن نظام البث الإذاعي المستعمل. ويعتمد اختيار طائرة محددة على العديد من العوامل، كما أنه ينشئ احتمالات وقيوداً محددة لنظام القياس ورحلات طيران القياس المحتملة. ويعالج هذا الملحق هذه المسائل.

ويتكون هذا الملحق على النحو التالي: يتناول القسم 2 المسائل العامة التي ينبغي وضعها في الاعتبار بالنسبة لجميع أنماط الطائرات. بينما خُصص القسمان 3 و4 لاثنتين من أكثر الطائرات شيوعاً المستعملة في قياسات مخطط الهوائي وهما على الترتيب الطائرة المروحية والطائرة العادية. ويتناول القسم 5 طائرات أخرى أقل شيوعاً.

2 عن جميع أنماط الطائرات

ترد هنا بعض المسائل ذات الصلة بجميع الطائرات فيما يتعلق بتجهيزات القياس:

- يمكن أن تؤدي الذبذبة إلى تلف مكونات نظام القياس. وتعتبر الأقراص الصلبة في أجهزة الحاسوب والمستقبلات الحديثة والمرحِّلات في المستقبلات وشاشة الطيار سريعة التأثر. وينبغي تركيب تجهيزات القياس على قاعدة تمتص الصدمات، وينبغي أن يكون الرنين الميكانيكي لكل التجهيزات خارج نطاق ترددات ذبذبة الطائرة أثناء الطيران.
- يتولد التردد الراديوي (RF) عن تجهيزات في الطائرة مثل المحولات والبوصلات الجيروسكوبية. وينبغي الاحتراس من ذلك بوضع الهوائيات، بما فيها تلك المستعملة في الملاحة، في موضع تلتقط فيه أقل ترددات راديوية. ويتعين تركيب صمامات خانقة ومشابك حديدية حول الكبلات التي تشع الترددات الراديوية. وقد يكون ذلك صعباً، ولكن يجب فتح كل طائرة للصيانة على فترات منتظمة، ويمكن اغتنام تلك الفرصة للقيام بذلك.
- عادةً ما تكون إمدادات الطائرة بالطاقة غير مستقرة، ولذلك ينبغي دائماً استعمال محول أو مثبت منفصل.
- يجب استعمال حامل مثبت في الطائرة لتثبيت التجهيزات في الطائرة. وأسهل طريقة للقيام بذلك هي استعمال نقاط التركيب الموجودة في الطائرة، فهي معتمدة فعلاً لتحمل حمل محدد.
- الحد الأقصى من زمن الطيران المسموح به، لأنه ليس من الممكن دائماً الهبوط وإعادة التزود بالوقود بالقرب من الأشياء المطلوب قياسها.
- الحمولة النافعة: ينبغي أن تكون الطائرة قادرة على حمل التجهيزات والمهندسين.

3 الطائرة المروحية

كثيراً ما يتم اختيار طائرة مروحية لهذا النوع من القياسات. وربما يكون السبب في ذلك قدرتها على المناورة وإمكانية أن تقوم برحلات طيران رأسي أو التحرك ببطء شديد إلى موقع محدد. كما أنها تعاني من جوانب قصور محددة للغاية: فالذبذبة مسألة ذات أهمية كبيرة أكثر مما هو الحال مع الطائرات العادية وزمن الطيران مكلف نسبياً. وعند اختيار الطائرة المروحية كمنصة للأجهزة المحمولة جواً لإجراء القياسات، ينبغي إيلاء عناية زائدة للعوامل التالية.

1.3 القدرة على المناورة

تتمثل أكبر مزايا الطائرة المروحية في قدرتها على المناورة. فالطائرة المروحية يمكن أن تصحح موقعها بسهولة على ثلاثة محاور، مما يجعلها مناسبة لأداء رحلات طيران الانتشار، والطيران الدائري، والطيران الرأسي. وجدير بالذكر أنها تنفرد بالقدرة على الطيران الرأسي. وبالإضافة إلى ذلك، تستطيع الطائرة المروحية الطيران بسرعات منخفضة جداً، بما يمكنها من اتخاذ مواقع شديدة الدقة، إذا كان ذلك مطلوباً. وعند الطيران في مسار محدد سلفاً، فإن السرعة الجوية المنخفضة تسمح بأن يكون عدد القياسات في كل مسافة يتم تغطيتها مرتفعاً نسبياً. غير أن للسرعة الجوية المنخفضة آثار جانبية سلبية إذا وضعت في الاعتبار الحساسية تجاه الرياح.

2.3 الحساسية للرياح

تتميز الطائرة المروحية بسرعة جوية منخفضة نسبياً الأمر الذي يجعلها ذات حساسية تجاه الرياح. وسيتغير توجيهها فيما يتعلق ببرج الهوائي بتغير اتجاه الرياح وقوتها، الأمر الذي يجعل من الصعب الاحتفاظ بتراصف هوائي القياس. ولذلك يجب تحقيق تراصف هوائي القياس في الوقت الحقيقي أثناء الطيران.

وعند القيام بطيران دائري، فإن أي طائرة سيكون لها سرعة أرضية تختلف باختلاف زاوية السمت. فالقطاعات المتقابلة من الدائرة ستهب عليها رياح خلفية بدلاً من الرياح الأمامية. ويؤدي ذلك إلى عدد مختلف من القياسات لكل زاوية سمت يجري تغطيتها على الدائرة كلها. ويكون هذا التأثير أكثر قوة عند استعمال الطائرة المروحية بسبب السرعة الجوية المنخفضة.

3.3 التكاليف

يتسم طيران الطائرة المروحية بارتفاع تكلفته نسبياً. ويمكن اعتبار ذلك وجه القصور الرئيسي عند اختيار الطائرة المروحية. غير أن بعض التكاليف تكون أقل من نظيرتها في الطائرة العادية: يمكن خفض تكاليف الهبوط لأن المطارات ذات ممرات الهبوط ليست ضرورية دائماً.

4.3 المرونة

يمكن الإقلاع والهبوط وحتى إعادة التزود بالوقود عملياً في أي مكان بشرط توفر مساحة خالية كافية. ويعتبر ذلك عملياً للغاية حيث يلزم قياس عدة مواقع بالتتابع. غير أن مجال الطيران محدود، وتمثل الحاجة إلى الهبوط وإعادة التزود بالوقود بشكل متكرر أحد جوانب القصور في الطائرة المروحية.

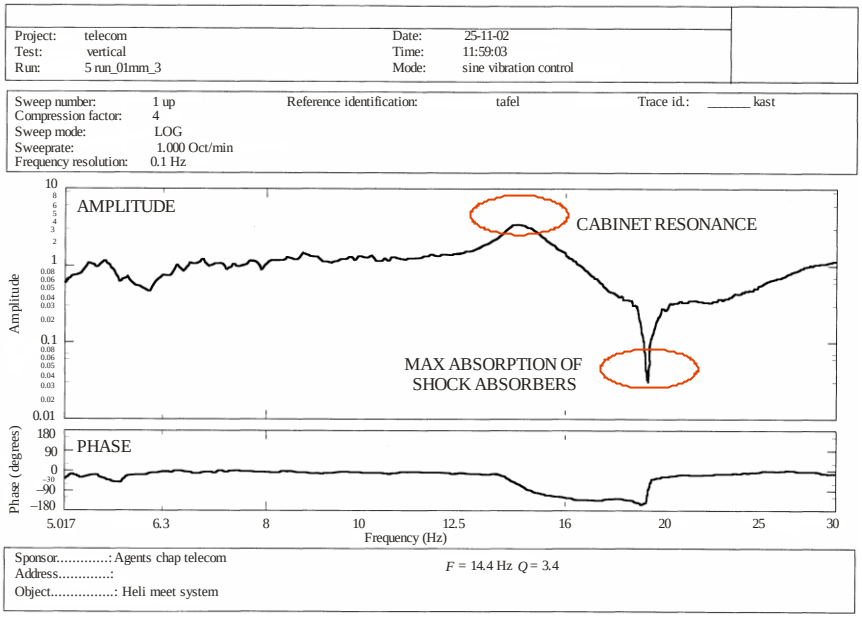
5.3 الذبذبة

تحدث الطائرة المروحية ذبذبةً ميكانيكية كبيرة مدمرة لتجهيزات القياس. وتقع هذه الذبذبة بصفة رئيسية على تردد شفرة الدوار في الدوار الرئيسي. ويبلغ هذا التردد نحو 10 Hz ويعتمد على نمط المروحية وعدد شفرات الدوار. والمكونات المحتمل أن تتأثر بالذبذبة هي المرحِّلات، والموصِلات التي لا تغلق مثل لوحات الدوائر المطبوعة في فتحات وأقراص الحاسوب الصلبة. وإذا تطابق تردد رنين أحد مكونات نظام القياس مع تردد ذبذبة الطائرة المروحية، تتفاقم الذبذبة. وتتميز المكونات الفردية من نظام القياس بترددات رنين عالية نسبياً. غير أن تردد رنين الحامل المجمع الكامل قد يقترب من تردد شفرة الدوار.

ولحل هذه المشكلة، ينبغي أن يكون الحامل صلباً لزيادة تردد رنينه. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تركيب الحامل على قواعد تتحمل الصدمات لزيادة إلغاء الذبذبة الناتجة عن شفرات الدوار. ولذلك، ينبغي أن تكون أقصى قدرة للكبح في القاعدة المقاومة للصدمات موجهة إلى تردد شفرات الدوار. وعلى الرغم من هذه التدابير، يمكن أن تظل المكونات الفردية لنظام القياس معرضة للذبذبات المتبقية. وينبغي النظر في حلول فردية لكل مكون. ويُنصح باختبار الإعدادات على حامل لاختبار الذبذبة بعد بناء النموذج. ويوضح الشكل 19 كنس ميكانيكي للتردد بالنسبة لحامل يبلغ تردد رنينه نحو 13 Hz.

الشـــكل 19

نتائج اختبار الذبذبة



Report SM.2056-19

وقد ساعد هذا القياس في شرح مشكلات الذبذبة الحادة التي ووجهت أثناء رحلات الطيران في الاختبار المبدئي. وبعد ذلك تم تعديل الحامل لزيادة تردد الرنين وتم تبديل القواعد المقاومة للصدمات بأنماط أخرى ذات تردد كبح أقل، لمعالجة المشكلات.

6.3 تركيب الهوائيات

عند تركيب الهوائي على الطائرة المروحية، ينبغي أن توضع في الاعتبار عدة عوامل. فمن الناحية الكهربائية، نريد للهوائي أن يعمل كما لو كان في فضاء حر، وبالتالي ينبغي إيلاء العناية الواجبة لتفادي الانعكاسات الصادرة عن جسم الطائرة المروحية أو شفرات الدوار. ويمكن أن توفر سارية قابلة للتمدد تحت الطائرة المروحية مزيداً من الفصل بين هوائي القياس وهذه العواكس، وتصميم مخطط إشعاع الهوائي بزاوية فتح رأسية صغيرة بقدر الإمكان. ويمكن أن تساعد السرعة الجوية المنخفضة والإقلاع الرأسي بوضع سارية الهوائي أسفل الطائرة المروحية. وبما أنه يتم تركيب الهوائي على طرف السارية، يظل حِمل الرياح مسألة مهمة، ويجب تصميم الهوائي تبعاً لذلك. والهوائي وسارية الهوائي هما أجزاء خارجية من الطائرة المروحية، ويجب أن يمتثلا لجميع لوائح سلامة الطائرة.

7.3 العوامل التنظيمية

تطبق قيود محددة على الطائرات المروحية حسب البلد الذي تتم فيه عمليات القياس. وأحياناً تطبق قيود إضافية على شركات الطائرات المروحية الأجنبية العاملة خارج بلدها الأصلي. وقد تتعلق القيود بالحد الأدنى لارتفاع الطيران، أو مناطق حظر الطيران، أو تقييد الطيران فوق مدن بطائرة ذات محرك واحد. وينبغي أن تكون شركة الطائرات المروحية قادرة على تقديم معلومات تفصيلية عن هذه المسائل، كما ينبغي في أفضل الأحوال تكليفها بالمسائل التنظيمية المتضمنة في عمليات قياس مخطط الهوائي. وهناك لوائح تفضل استعمال الطائرات المروحية على استعمال الطائرات الأخرى: فالطيران المنخفض بطائرة مروحية فوق المدينة يحظى بقبول أكبر في كثير من الأحيان مقارنةً بالطيران بطائرة عادية، وكثيراً ما يُسمح بالهبوط على رقعة هبوط ارتجالية.

4 الطائرة العادية

عند اختيار طائرة عادية كمنصة محمولة جواً لعمليات القياس ينبغي إيلاء عناية زائدة للعوامل التالية:

1.4 القدرة على المناورة

من المستحيل تنفيذ عملية طيران ثابتة لقياس رأسي باستعمال الطائرة العادية. كما أن الطيران في خط مستقيم نحو برج الهوائي وتغيير الاتجاه عند مجال قريب ليس ممكناً من الناحية العملية. غير أن ثباتها الأصلي يجعلها مناسبة لمسارات الطيران المستقيمة والدائرية.

2.4 الحساسية للرياح

بالنظر إلى سرعتها الجوية العالية، فإن الطائرة العادية تكون أقل حساسية للرياح. والطيران في دائرة كاملة في حالات الرياح القوية ليس مشكلة. وبالطبع، ينبغي أن يكون الطيار ذا خبرة ومزوداً بتجهيزات الملاحة الملائمة. وبالنظر إلى السرعة الجوية المرتفعة فإن عدد القياسات في كل مسافة يتم تغطيتها يكون منخفضاً نسبياً، ولكنها تتسم بالتوزيع المتساوي نسبياً حتى عندما تكون سرعة الرياح عالية.

3.4 التكاليف

يعتبر زمن الطيران باستعمال الطائرة العادية رخيصاً نسبياً. وهذه الميزة تقل في المناطق التي ترتفع فيها تكاليف رسوم الهبوط.

4.4 المرونة

يعتبر مجال الطيران للطائرة العادية كبيراً نسبياً. وقد يكون هذا عملياً جداً عند قياس مواقع متعددة، أو مواقع نائية. غير أن الإقلاع والهبوط يتطلبان مَدرجاً رسمياً، مما يحد من المرونة.

5.4 تركيب الهوائيات

ينبغي تركيب هوائي القياس قريباً من جسم الطائرة بسبب السرعة الجوية أو قد يتعين استعمال هوائي مسحوب. وهذا الأخير هو هوائي مثبت على خيط خلف الطائرة، ويسبب خطأ إضافياً في تحديد الموقع ولكن لا يمكن تجنبه أحياناً.

6.4 العوامل التنظيمية

في البلدان الكثيفة السكان، كثيراً ما لا يُسمح بالطيران المنخفض فوق المدن باستعمال طائرة. وفي هذه الحالات، لا يمكن قياس مخططات هوائيات المرسِلات الواقعة داخل المناطق الحضرية.

5 الطائرات الأخرى

يمكن تخيل حلول أخرى أيضاً. وقد تكون طائرات أخرى كسفن الفضاء المتوسطة والطائرات بدون طيار حلولاً جيدة في ظروف محددة. كما يمكن النظر في القياسات المقلوبة، مثل الطيران حول برج الهوائي باستعمال نموذج طائرة عادية مزود بمصدر للترددات الراديوية ويقيس الإشارة المستقبَلة على هوائي المرسِل نفسه. وينبغي تقييم الشروط الخاصة والإمكانيات المحددة للطائرة في كل تطبيق، ويجب تعديل نظام القياس ليلائم الطائرة.