التوصية ITU-R S.1716*

# أهداف الأداء والتيسر لأنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم الخاصة بالخدمة الثابتة الساتلية

(المسألة ITU-R 262/4)

(2005)

## مجال التطبيق

انبثقت هذه التوصية عن دراسات استغرقت عدة سنوات في فرقة العمل 4B للاتصالات الراديوية، وهي تقدم توجيهات لمصممي أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) عن الجوانب التقنية والتشغيلية لأنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم (TT&C).

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

*إذ تضع في اعتبارها*

أ ) أن لجميع سواتل الخدمة الثابتة الساتلية احتياجات متعلقة بالقياس عن بعد والتتبع والتحكم؛

ب) أن عمليات القياس عن بعد والتتبع والتحكم تجرى على سواتل الخدمة الثابتة الساتلية أثناء وجودها في مدار النقل، ومن أجل التشغيل على المحطة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

ج) أن المعلومات المتعلقة بإشارات القياس عن بعد والتتبع والتحكم تنشأ وتنتهي تحت سيطرة مشغل الساتل؛

د ) أن الموجات الحاملة للقياس عن بعد والتتبع والتحكم تحتاج إلى أهداف تعويل على مستويات أعلى من الأداء من الموجات الحاملة لحركة الاتصالات العادية؛

هـ ) أن فقدان الموجات الحاملة للتحكم على الوصلة الصاعدة إلى الساتل والموجات الحاملة لقياس المسافات والقياس عن بعد على الوصلة الهابطة خلال المناورات المدارية أو أثناء فترات الكسوف الشمسي يمكن أن يؤدي إلى فقدان الساتل؛

و ) أن بعض السواتل التي لها وصلات خدمة في النطاقات الأعلى من 17 GHz يمكن أن تشغل أيضاً وصلات الخدمة في النطاقات الأدنى من 17 GHz؛

ز ) أن بعض مشغلي الخدمة الثابتة الساتلية في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض قد يضعون سواتلهم العاملة في النطاقات الأعلى من 17 GHz جنباً إلى جنب مع السواتل العاملة في النطاقات الأدنى من 17 GHz؛

ح) أنه ينبغي منح مشغلي الخدمة الثابتة الساتلية في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO FSS) قدراً من المرونة لتشغيل أنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم في أنسب نطاق تردد؛

ط) أن الاحتياجات الطيفية لعمليات القياس عن بعد والتتبع والتحكم التي تقوم بها السواتل التي تعمل في النطاقات الأعلى من 17 GHz قد تؤثر في أنظمة السواتل التي تعمل في النطاقات الأدنى من 17 GHz،

*توصي*

**1** بأن يصمم مشغلو سواتل الخدمة الثابتة الساتلية أنظمتهم الخاصة بالقياس عن بعد والتتبع والتحكم على أساس الاعتبارات التقنية والتشغيلية الواردة في الملحق 1.

**الملاحظة 1** – يشجع مشغلو السواتل على تقديم مزيد من المعلومات عن عملياتهم الخاصة بالقياس عن بعد والتتبع والتحكم.

* ينبغي أن تعرض هذه التوصية على لجنة الدراسات 6 للاتصالات الراديوية.

# الملحق 1

# الخصائص التقنية والتشغيلية لأنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم الخاصة بالخدمة الثابتة الساتلية (FSS TT&C)

## 1 وصف عمليات القياس عن بعد والتتبع والتحكم

تقدم هذه التوصية الخصائص التقنية والتشغيلية لأنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم الخاصة بالخدمة الثابتة الساتلية، بما في ذلك أهداف تيسر وأداء وصلتها التي ينبغي أن يراعيها مشغل الساتل. وتقدم هذه التوصية توجيهات إلى مشغلي الخدمة الثابتة الساتلية عن تصميم واختيار التردد لأنظمتهم الخاصة بالقياس عن بعد والتتبع والتحكم على أساس احتياجاتهم الخاصة.

ومن الجدير بالذكر أنه قد استعيض عن اختصار TT&C بالاختصار TC&R في صناعة السواتل التجارية، وهو يرمز إلى القياس عن بعد والتحكم وقياس المسافات. وحيث إن القياس عن بعد في الفضاء والتتبع الفضائي والتحكم عن بعد في الفضاء قد عُرّفت كلها في المادة 1 من لوائح الراديو فقد استخدم الاختصار TT&C في هذه التوصية على الرغم من أنه يشير إلى الوظائف التي من نوع القياس عن بعد والتحكم وقياس المسافات (TC&R).

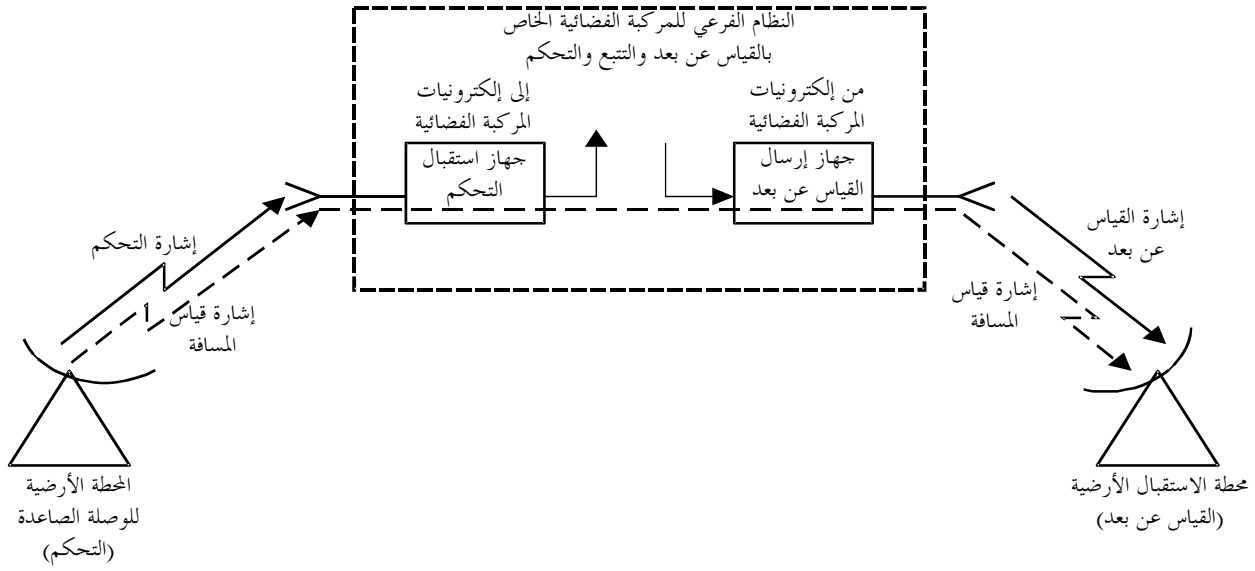
والنظام الفرعي للقياس عن بعد والتحكم والتتبع لمركبة فضائية مصمم لأداء ثلاث وظائف رئيسية هي:

- التحكم عن بعد لتمكين المتحكمين على الأرض من التحكم في مختلف الوحدات الإلكترونية الموجودة على متن المركبة الفضائية.
- القياس عن بعد لتمكين المتحكمين على الأرض من رصد السلامة التشغيلية لمختلف الوحدات الإلكترونية الموجودة على متن المركبة الفضائية.
- التتبع/قياس المسافات لتمكين المتحكمين على الأرض من تحديد موقع واتجاه المركبة الفضائية.

يبين الشكل 1 نظاماً فرعياً نموذجياً للقياس عن بعد والتحكم والتتبع.

الشكل 1

**وصلة نمطية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم**



للتحكم عن بعد ترسل إشارة تحكم من المحطة الأرضية للوصلة الصاعدة. وبعد ذلك يلتقط جهاز استقبال التحكم الموجود على متن المركبة الفضائية هذه الإشارة ويعالجها ويوجهها إلى الوحدات الإلكترونية المناسبة.

وللقياس عن بعد ترسل الوحدات المخصصة على متن المركبة الفضائية إشارة عن الوضع إلى جهاز الإرسال الخاص بالقياس عن بعد. وبعد ذلك يقوم جهاز الإرسال بتضمين وتضخيم هذه الإشارات على الموجة الحاملة الرئيسية للقياس عن بعد. وتوجه إشارة الموجة الحاملة المضمنة من جهاز الإرسال إلى هوائي القياس عن بعد، حيث ترسل إلى الأرض لكي تستقبلها المحطة الأرضية.

ولقياس المسافات ترسل إشارة تحكم على الوصلة الصاعدة إلى جهاز الاستقبال الخاص بالتحكم الموجود على متن المركبة الفضائية. ثم توجه هذه الإشارة إلى جهاز الإرسال الخاص بالقياس عن بعد لإرسالها مرة أخرى إلى الأرض. وتحدد المسافة من المحطة الأرضية إلى المركبة الفضائية ببساطة بقياس التغير في المرحلة بين الإشارة المرسلة والإشارة المستقبَلة.

### 1.1 العمليات التي تجري في المدار وفي مدار النقل

النظام الفرعي للقياس عن بعد والتتبع والتحكم لمعظم السواتل المستعملة الآن له نمطان تشغيليان: نمط التشغيل على متن المحطة ونمط الطوارئ/مدار النقل (المشار إليه فيما بعد بنمط الطوارئ). ومدار النقل لساتل للخدمة الثابتة الساتلية في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض هو مرحلة حرجة في حياة الساتل التجاري. فأثناء تحرك الساتل من مدار أرضي منخفض إلى مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض يجب أن تتوافر باستمرار قناة التحكم وقناة القياس عن بعد، وقد أقام عدد كبير من المشغلين شبكات يعول عليها إلى حد بعيد لمحطات أرضية يمكنها تتبع الساتل خلال مرحلة الإطلاق والمدار المبكر (LEOP)بواسطة محطتين أرضيتين على الأقل في جميع الأوقات.

وعموماً فإنه متى وصل الساتل إلى موقعه المداري في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض يحوّل جهاز الاستقبال الخاص بالقياس عن بعد والتتبع والتحكم من الهوائي الشامل الاتجاهات إلى الهوائي البوقي ذي فتحة الحزمة الواسعة. ونتيجة لذلك تختلف في العادة احتياجات الوصلة لعمليات نمط التشغيل على المحطة ونمط الطوارئ.

ومن أجل تحديد مدى توافر وصلة للقياس عن بعد والتتبع والتحكم تلزم المعلمات التشغيلية لكل من المحطة الأرضية والمحطة الفضائية. وعلى جانب التحكم يلزم موقع المحطة الأرضية للوصلة الصاعدة وقدرتها التشغيلية المشعة المكافئة المتناحية وكذلك عتبة التحكم الخاصة بالساتل لتحديد هامش الوصلة الفعلي. وحسب الخاصية المطرية للمنطقة التي توجد فيها المحطة الأرضية للوصلة الصاعدة يمكن حساب مدى توافر وصلة التحكم المعبر عنها بنسبة مئوية.

وبالنسبة إلى القياس عن بعد يلزم موقع المحطة الأرضية المستقبلة وعتبة الاستقبال المصاحبة وكذلك القدرة المشعة المكافئة المتناحية للقياس عن بعد بواسطة المركبة الفضائية لتحديد الهامش الفعلي لهذه الوصلة. كما أنه حسب الخصائص المطرية للمنطقة التي توجد فيها المحطة الأرضية المستقبلة يمكن تحديد مدى توافر وصلة القياس عن بعد.

## 2 أنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم في النطاق GHz 6/4

توجد الموجات الحاملة للقياس عن بعد والتتبع والتحكم الخاصة بالساتل لمشغل ساتل للخدمة الثابتة الساتلية في النطاق MHz 18 في الميين 166 6-184 6 MHz و941 3-959 3 MHz. وحسب السلاسل الخاصة للسواتل يمكن أن توجد خمس موجات حاملة للقياس عن بعد والتتبع والتحكم في هذا النطاق، أربع منها للتحكم والقياس عن بعد وواحدة باعتبارها مناراً للوصلة الهابطة. ويتضمن الجدولان 1 و2 مزيداً من المعلومات التقنية عن ميزانيات الوصلة وخصائص أنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم في النطاق GHz 6/4 تستخدم على سواتل نمطية. ولأن مشغلي السواتل كثيراً ما ينقلون سواتلهم إلى حيزات

مدارية جديدة حسب حركة مرور السواتل وسلامتها جعلت المرونة التشغيلية للاحتفاظ بمجموعة مشتركة من المعلمات الأساسية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم الشبكة أكفأ وأكثر فعالية من حيث التكاليف.

وعادة ما تكون كل محطة أرضية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم متصلة بمركز للتحكم الساتلي عن طريق منشآت ساتلية وأرضية مكرسة. ويعتبر توافر ونوعية إشارات القياس عن بعد والتتبع والتحكم أساسيين في المحافظة على وضع الساتل وسلامته (قدرته واستقراره ودرجة حرارته، إلخ.) ويجب أن تتسم المعطيات المرسلة من الساتل وإليه بأكبر قدر من التوافر والأداء، لا سيما بالنسبة للتحكم عن بعد.

الجدول 1

**ميزانيات الوصلة لموجات حاملة نموذجية للقياس عن بعد GHz 6/4**

| **القياس عن بعد وقياس المسافات لمدار نقل نمطي في النطاق C** | |
|---|---|
| *المعلمة* | |
| تردد الموجة الحاملة على الوصلة الهابطة | MHz 3 950 |
| قدرة الإرسال | dBW 13 |
| خسارة الإرسال | dB 9,5– |
| كسب الهوائي | dBi 1,9 |
| القدرة المشعة المكافئة المتناحية (النمطية) | dBW 1,6 |
| خسارة المسار (km 40 671)<br>ارتفاع 10° | dB 196,6– |
| *نسبة البدالة البعيدة* | dB/K 35 |
| نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء غير المتأثرة بالتداخل | dB-Hz 68,2 |
| *الموجة الحاملة الفرعية العادية والموجة الحاملة للمكوث* | |
| نسبة الإشارة الموجودة إلى الضوضاء ونسبة الإشارة إلى الموجة الحاملة للوصلة الهابطة المتاحة | dB-Hz 58,6 |
| نسبة الإشارة اللازمة إلى الضوضاء | 50,2 |
| هامش الموجات الحاملة الفرعية | dB 8,4 |
| *نسبة الإشارة إلى الموجة الحاملة في قياس المسافات* | |
| نسبة الإشارة إلى الضوضاء على الوصلة الهابطة | dB-Hz 58,6 |
| نسبة الإشارة إلى الضوضاء في الوصلة الصاعدة | 60 |
| مجموع نسبة الإشارة إلى الضوضاء | 56,2 |
| نسبة الإشارة اللازمة إلى الضوضاء | dB-Hz 41 |
| هامش قياس المسافات | dB 15,2 |

الجدول 2

**ميزانيات الوصلة للموجات الحاملة النموذجية للتحكم وقياس المسافات**

| المعلمة | مدار النقل | مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض | الوحدات |
|---|---|---|---|
| تردد الموجات الحاملة | 6 175 | 6 175 | (MHz) |
| القدرة المشعة المكافئة المتناحية | 90 | 73,2 | (dBW) |
| عامل التمديد في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض | 163,2– | 163,2– | ($dB/m^2$) |
| كثافة تدفق القدرة عند الساتل | 73,2– | 90– | ($dB(W/m^2)$) |
| فقدان متنوع | 0,5– | 0,4– | (dB) |
| كسب $1\ m^2$ | 37,3– | 37,3– | (dBi) |
| قدرة متناحية واردة | 111– | 127,7– | (dBW) |
| كسب هوائي الساتل | 5,1– | 7,3 | (dBi) |
| فقدان التغذية والانقسام | 6,5– | 6,6– | (dB) |
| قدرة مدخلات بدالة بعيدة | 122,6– | 127– | (dBW) |
| قدرة عتبة بدالة بعيدة | 142– | 142– | (dBW) |
| الهامش | 19,4 | 15 | (dB) |

## 1.2 تيسرات القياس عن بعد والتتبع والتحكم

يستطيع مشغلو الخدمة الثابتة الساتلية في النطاق GHz 6/4 أن يحافظوا على هوامش وصلاتهم للقياس عن بعد والتتبع والتحكم لضمان أن يتراوح تيسر الوصلة بين 99,99 % و 99,999 % من الوقت. وهذه التيسرات تماثل تيسر العنصر الفضائي للشبكة الساتلية. وفي حالة مشغل ساتل كان متوسط تيسر الجهاز المرسل المستجيب لسواتله 99,9996% في سنة 2000. واستطاعت محطاتهم الأرضية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم لتحقيق تيسرات أفضل من 99,95% ، وبتغطية هوائيات سواتلهم ذات فتحة الحزمة الواسعة عادة ما تكون محطتان أرضيتان للقياس عن بعد والتتبع والتحكم مركبتين لكل ساتل. وتصل بنية تحتية لشبكة ساتلية أرضية ذات مسار معناه مركز التحكم في السواتل بالمحطة الأرضية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم. ويبلغ هدف تيسر الشبكة فيما يتعلق بهذا المسار أرض/ساتل 99,99 %. وبالتالي يكون تيسر الوصلة TT&C الذي يتراوح بين 99,99 % و 99,999 % هدفاً معقولاً.

ويتضمن الجدولان 1 و2 أهداف ميزانية وصلات نمطية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم لساتل في النطاق GHz 6/4. وقد حدد أداء وصلتين للقياس عن بعد والتتبع والتحكم في النطاق GHz 6/4 بالنسبة لمعظم الأنظمة الساتلية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم. ومن الجدير بالملاحظة أيضاً أن قيم القدرة المشعة المكافئة المتناحية للوصلتين الصاعدة والهابطة نمطية ويمكن أن تختلف وفقاً للمحطات الأرضية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم التي تعمل مع ذلك الساتل. ولا يراعى في هذه القيم تقادم أجهزة الإرسال ومضخمات القدرة في الساتل، وخصائص الوصلة الصاعدة للمحطة الأرضية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم. ويمكن حساب مدى تيسر وصلة للقياس عن بعد والتتبع والتحكم وفقاً للهامش المتاح وارتفاع التشغيل والظروف المناخية للأمطار لكل محطة أرضية للقياس عن بعض والتتبع والتحكم. وتتضمن الجداول 3 إلى 5 أمثلة للتيسرات التي يمكن تحقيقها بميزانيات الوصلات النمطية هذه بافتراض احتمالات توهين بسبب الانتشار لثلاثة مواقع للقياس عن بعد والتتبع والتحكم. ومن المعطيات الواردة أعلاه للتوهين بسبب الانتشار يتضح أن لتحقيق تيسر أداء أفضل من 99,999% في النطاق GHz 6/4 يلزم هامش أدنى قدره dB 6,5 على الوصلة الصاعدة، وهامش أدنى قدره dB 1,9 على الوصلة الهابطة.

وقد حسبت هوامش للانتشار على الوصلتين في هذه المواقع لأداء القياس عن بعد والتتبع والتحكم بنفس النسب المئوية من الوقت للنطاقات GHz 14/11-12 وGHz 30/20 وGHz 50/40, وإذا أريد أن تحقق الشبكات الساتلية التي تعمل في نطاق

أعلى من GHz 17 أهدافاً مماثلة يتعين أن تقيم محطتها الأرضية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم في مناطق جافة وعلى زوايا ارتفاع أكبر.

الجدول 3

**موقع كلاركسبرغ للقياس عن بعد والتتبع والتحكم (زاوية الارتفاع 23,2°)**

| *كلاركسبرغ* | | | | |
|---|---|---|---|---|
| تردد الوصلة الصاعدة | التوهين (dB) | | | |
| | GHz 6,17 | GHz 14,50 | GHz 30,00 | GHz 50,00 |
| النسبة المئوية للوقت | | | | |
| 1 | 0,32 | 1,64 | 7,14 | 17,93 |
| 0,1 | 0,68 | 5,49 | 22,92 | 47,84 |
| 0,01 | 1,77 | 14,98 | 55,97 | 105,61 |
| 0,001 | 4,17 | 29,9 | 98,05 | 171,73 |
| تردد الوصلة الهابطة | | | | |
| | GHz 3,95 | GHz 11,70 | GHz 20,20 | GHz 40,00 |
| النسبة المئوية للوقت | | | | |
| 1 | 0,22 | 1,08 | 4,03 | 11,19 |
| 0,1 | 0,35 | 3,61 | 12,01 | 34,7 |
| 0,01 | 0,59 | 10,18 | 30,18 | 81,51 |
| 0,001 | 1,17 | 21,12 | 55,88 | 137,36 |

الجدول 4

**موقع رستنغ للقياس عن بعد والتتبع والتحكم (زاوية الارتفاع 15,8°)**

| *رستنغ* | | | | |
|---|---|---|---|---|
| تردد الوصلة الصاعدة | التوهين (dB) | | | |
| | GHz 6,17 | GHz 14,50 | GHz 30,00 | GHz 50,00 |
| النسبة المئوية للوقت | | | | |
| 1 | 0,38 | 1,35 | 5,32 | 16,07 |
| 0,1 | 0,69 | 4,32 | 16,73 | 38,37 |
| 0,01 | 1,56 | 11,94 | 41,59 | 83,06 |
| 0,001 | 3,52 | 24,37 | 74,92 | 136,85 |
| تردد الوصلة الهابط | | | | |
| | GHz 3,95 | GHz 11,70 | GHz 20,20 | GHz 40,00 |
| النسبة المئوية للوقت | | | | |
| 1 | 0,28 | 0,92 | 3,22 | 8,77 |
| 0,1 | 0,43 | 2,81 | 9,19 | 26,49 |
| 0,01 | 0,67 | 7,95 | 23,27 | 63,05 |
| 0,001 | 1,17 | 16,86 | 44,05 | 108,76 |

الجدول 5

**موقع بكين للقياس عن بعد والتتبع والتحكم (زاوية الارتفاع 13,5°)**

| بكين | | | | |
|---|---|---|---|---|
| تردد الوصلة الصاعدة | التوهين (dB) | | | |
| | GHz 6,17 | GHz 14,50 | GHz 30,00 | GHz 50,00 |
| النسبة المئوية للوقت | | | | |
| 1 | 0,53 | 2,59 | 10,47 | 26,53 |
| 0,1 | 1,13 | 8,5 | 32,04 | 66,45 |
| 0,01 | 2,9 | 22,46 | 75,49 | 140,73 |
| 0,001 | 6,5 | 43,11 | 128,06 | 221,49 |
| تردد الوصلة الهابطة | | | | |
| | GHz 3,95 | GHz 11,70 | GHz 20,20 | GHz 40,00 |
| النسبة المئوية للوقت | | | | |
| 1 | 0,36 | 1,65 | 6,19 | 16,1 |
| 0,1 | 0,58 | 5,39 | 17,35 | 47,61 |
| 0,01 | 0,99 | 14,74 | 41,72 | 108,07 |
| 0,001 | 1,9 | 29,5 | 74,5 | 176,64 |

### 2.2 الملخص

إن المعلومات التقنية الواردة أعلاه خصائص القياس عن بعد والتتبع والتحكم في النطاق GHz 6/4 لمشغل للخدمة الثابتة الساتلية تسلط الضوء على هدفي الأداء والتيسر اللذين أخذا في الاعتبار في تصميم وصلاته للقياس عن بعد والتتبع والتحكم.

## 3 أنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم في النطاقين GHz 14/10-11

### 1.3 وصف النظام

بالنسبة إلى هذه الدراسة حسبت مدى تيسر وصلتي القياس عن بعد والتحكم لمركبات فضائية لمشغلي ساتل تعمل في النطاقين GHz 14/12-11. ويقدم الجدولان 6 و7 المعلومات المتعلقة بوصلة التحكم وميزانيات وصلة التحكم لهذه المركبات الفضائية في نمط التشغيل على المحطة ونمط الطوارئ، على التوالي. ويقدم الجدولان 8 و9 المعلومات المتعلقة بوصلة القياس عن بعد وميزانيات وصلة القياس عن بعد لهذه المركبات الفضائية في نمط التشغيل على المحطة ونمط الطوارئ، على التوالي.

والمعطيات المدرجة في هذه الجداول مقسمة إلى أربع مجموعات:

- خصائص الإشارة العامة
- معلمات تشغيل المركبة الفضائية
- معلمات تشغيل المحطة الأرضية للوصلة الصاعدة/للوصلة الهابطة

– ميزانية وصلة قناة التحكم/القياس عن بعد.

بالنسبة لوصلة التحكم قدمت نسبتان مئويتان للتيسر. ورقم التيسر الأول يستند إلى القدرة المشعة المكافئة المتناحية التشغيلية الراهنة للمحطة الأرضية، ويمكن أن يعتبر "مدى التيسر التشغيلي" للوصلة. ويستند رقم التيسر الثاني إلى القدرة المشعة المكافئة المتناحية القصوى التي يمكن أن تحققها المحطة الأرضية، ويشار إليه باسم "أقصى تيسر" للوصلة. وخلال عملية نمط الطوارئ، عندما قد يكون اتجاه المركبة الفضائية مجهولاً يفترض أن المحطة الأرضية للتحكم تعمل بأقصى قدرة مشعة مكافئة متناحية متيسرة لضمان إقامة واستدامة وصلة مستقرة مع المركبة الفضائية.

بالنسبة إلى ميزانيات الوصلات المقدمة في الجداول 6 إلى 9 افترضت خسارة نظام إضافية قدرها 1 dB لتمثل خسائر ضئيلة متنوعة مثل عدم ضبط الهوائي وخسائر المسار الناجمة عن الامتصاص الجوي، إلخ. وافترض أن خسائر المسار الأولية ناجمة عن خسائر تمديد والتوهين بسبب المطر والزيادة في درجة حرارة ضوضاء المحطة الأرضية المستقبلة بسبب المطر. وحُدد مدى تيسر الوصلة باستخدام خرائط معدل المطر (واحتماله) الواردة في التوصية ITU-R P.618 والهوامش المحسوبة للوصلة في السماء الصافية.

الجدول 6

**مدى تيسّر التحكم في نمط التشغيل العادي (على المحطة)**

| المركبة الفضائية: الاسم | USASAT-24K | USASAT-23F | USASAT-25K | USASAT-14I-2 | USASAT-14H |
|---|---|---|---|---|---|
| المركبة الفضائية: الموقع المداري (الارتفاع°) | 91,00– | 94,95– | 45,00– | 68,50 | 166,00 |
| *المعلومات المتعلقة بإشارة التحكم* | | | | | |
| المركبة الفضائية: تردد التحكم (GHz) | 145-140 | 140-135 | 140-135 | 140-135 | 140-135 |
| المركبة الفضائية: استقطاب التحكم (انخفاض الفولت، الحرارة الكامنة، الاستقطاب الدائري اليميني، الاستقطاب الدائري اليساري) | LV | LV | LH | RHCP | RHCP |
| المركبة الفضائية: النمط التشغيلي (نمط المحطة أو نمط الطوارئ أو كلاهما) | على المحطة | على المحطة | على المحطة | على المحطة | على المحطة |
| *المعلومات المتعلقة بالتحكم في المركبة الفضائية* | | | | | |
| المركبة الفضائية: وصف نمط هوائي التحكم المستقبل (عالمي أو غير عالمي) | عالمي | عالمي | عالمي | عالمي | عالمي |
| المركبة الفضائية: كثافة تدفق قدرة الاستقبال على عتبة التحكم من اتجاه موقع المحطة الأرضية للتحكم ($dB(W/m^2)$) | 105,00– | 97,00– | 108,00– | 87,00– | 87,00– |
| *المعلومات المتعلقة بالمحطة الأرضية للتحكم* | | | | | |
| المحطة الأرضية للتحكم: محدد الموقع | ATLANTA. GA | FILMORE. CA | ATLANTA. GA | PERTH. AUS | PERTH. AUS |
| المحطة الأرضية للتحكم: ارتفاع الموقع (أمتار فوق متوسط مستوى سطح البحر) | 236,22 | 306,00 | 236,22 | 15,00 | 15,00 |
| المحطة الأرضية للتحكم: حجم هوائي الإرسال (m) | 9,30 | 6,10 | 13,00 | 11,00 | 11,00 |
| المحطة الأرضية للتحكم: الكسب الذروي لهوائي الإرسال (dB) | 61,26 | 56,80 | 63,80 | 62,00 | 62,00 |
| المحطة الأرضية للتحكم: القدرة المشعة المكافئة المتناحية القصوى المتيسرة (dBW) | 86,00 | 85,00 | 89,50 | ? | ? |
| المحطة الأرضية للتحكم: القدرة المشعة المكافئة المتناحية (dBW) | 68,00 | 77,57 | 78,00 | 85,90 | 84,70 |
| المحطة الأرضية للتحكم: معدل المطر في الموقع لما نسبته 0,01% من سنة متوسطة (mm/h) | 80,00 | 25,00 | 80,00 | 25,00 | 25,00 |
| *ميزانية الوصلات* | | | | | |
| القدرة المشعة المكافئة المتناحية للوصلة الصاعدة من المحطة الأرضية للتحكم (dBW) | 68,00 | 77,57 | 78,00 | 85,90 | 84,70 |
| زاوية ارتفاع المحطة الأرضية (درجات فوق الأفق) | 50,19 | 42,54 | 32,81 | 27,33 | 25,13 |
| المسافة بين المحطة الأرضية للتحكم والساتل (m) | 37 066 125,27 | 37 588 473,28 | 38 365 626,21 | 38 853 188,51 | 39 057 710,39 |
| خسارة التمديد (dB) | 162,37 | 162,49 | 162,67 | 162,78 | 162,83 |
| الخسارة الناجمة عن الآثار الجوية (dB) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| خسائر النظام الإضافية (dB) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| كثافة تدفق القدرة في قناة التحكم في الوصلة الصاعدة ($dB(W.m^2)$) | 94,37– | 84,92– | 84,67– | 76,88– | 78,13– |
| كثافة تدفق القدرة على عتبة التحكم في المركبة الفضائية ($dB(W.m^2)$) | 105,00– | 97,00– | 108,00– | 87,00– | 87,00– |
| هامش التحكم (dB) | 10,63 | 12,08 | 23,33 | 10,12 | 8,87 |
| تيسر قناة التحكم (%) | 99,97650 | 99,99856 | 99,99597 | 99,99432 | 99,99090 |

**الملاحظة** 1 – جميع قيم عتبة تحكم المركبة الفضائية هي قيم محددة.

الجدول 7

**مدى تيسّر التحكم في نمط الطوارئ**

| المركبة الفضائية: الاسم | USASAT-24K | USASAT-23F | USASAT-25K | USASAT-14I-2 | USASAT-14H |
|---|---|---|---|---|---|
| المركبة الفضائية: الموقع المداري (الارتفاع°) | 91,00– | 94,95– | 45,00– | 68,50 | 166,00 |
| *المعلومات المتعلقة بإشارة التحكم* | | | | | |
| المركبة الفضائية: النطاق التردد للتحكم (GHz) | 145-140 | 140-135 | 140-135 | 140-135 | 140-135 |
| المركبة الفضائية: استقطاب التحكم (انخفاض الفولت، الحرارة الكامنة، الاستقطاب الدائري اليميني، الاستقطاب الدائري اليساري) | LV | LV | LH | RHCP | RHCP |
| المركبة الفضائية: النمط التشغيلي (نمط المحطة أو نمط الطوارئ أو كلاهما) | طوارئ | طوارئ | طوارئ | على المحطة | طوارئ |
| *المعلومات المتعلقة بالتحكم في المركبة الفضائية* | | | | | |
| المركبة الفضائية: وصف نمط هوائي التحكم المستقبل (عالمي أو غير عالمي) | عالمي | عالمي | عالمي | عالمي | عالمي |
| المركبة الفضائية: كثافة تدفق قدرة الاستقبال على عتبة التحكم من اتجاه موقع المحطة الأرضية للتحكم ($dB(W/m^2)$) | 105,00– | 78,00– | 108,00– | 82,00– | 82,00– |
| *المعلومات المتعلقة بالمحطة الأرضية للتحكم* | | | | | |
| المحطة الأرضية للتحكم: محدد الموقع | ATLANTA. GA | FILMORE. CA | ATLANTA. GA | PERTH. AUS | PERTH. AUS |
| المحطة الأرضية للتحكم: ارتفاع الموقع (أمتار فوق متوسط مستوى سطح البحر) | 236,22 | 306,00 | 236,22 | 15,00 | 15,00 |
| المحطة الأرضية للتحكم: حجم هوائي الإرسال (m) | 9,30 | 6,10 | 13,00 | 11,00 | 11,00 |
| المحطة الأرضية للتحكم: الكسب الذروي لهوائي الإرسال (dB) | 61,26 | 56,80 | 63,80 | 62,00 | 62,00 |
| المحطة الأرضية للتحكم: القدرة المشعة المكافئة المتناحية القصوى المتيسرة (dBW) | 86,00 | 85,00 | 89,50 | ? | ? |
| المحطة الأرضية للتحكم: القدرة المشعة المكافئة المتناحية (dBW) | 68,00 | 77,57 | 78,00 | 85,90 | 84,70 |
| المحطة الأرضية للتحكم: معدل المطر في الموقع لما نسبته 0,01% من سنة متوسطة (mm/h) | 80,00 | 25,00 | 80,00 | 25,00 | 25,00 |
| *ميزانية الوصلات* | | | | | |
| القدرة المشعة المكافئة المتناحية في الوصلة الصاعدة من المحطة الأرضية للتحكم (dBW) | 86,00 | 85,00 | 89,50 | 85,90 | 84,70 |
| زاوية ارتفاع المحطة الأرضية (درجات فوق الأفق) | 50,19 | 42,54 | 32,81 | 27,33 | 25,13 |
| المسافة بين المحطة الأرضية للتحكم والساتل (m) | 37 066 125,27 | 37 588 473,28 | 38 365 626,21 | 38 853 188,51 | 39 057 710,39 |
| خسارة التمديد (dB) | 162,37 | 162,49 | 162,67 | 162,78 | 162,83 |
| الخسارة الناجمة عن الآثار الجوية (dB) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| خسائر النظام الإضافية (dB) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| كثافة تدفق القدرة في قناة التحكم في الوصلة الصاعدة ($dB(W/m^2)$) | 76,37– | 77,49– | 73,17– | 76,88– | 78,13– |
| كثافة تدفق القدرة على عتبة التحكم في المركبة الفضائية ($dB(W/m^2)$) | 105,00– | 78,00– | 108,00– | 82,00– | 82,00– |
| هامش التحكم (dB) | 28,63 | 0,51 | 34,83 | 5,12 | 3,87 |
| نسبة تيسر قناة التحكم (%) | 99,99884 | 99,19300 | 99,99915 | 99,97633 | 99,95327 |

**الملاحظة 1** – جميع قيم عتبة التحكم في المركبة الفضائية هي قيم محددة.

الجدول 8

**مدى تيسّر التحكم في النمط العادي (على المحطة)**

| المركبة الفضائية: الاسم | USASAT-24K | USASAT-23F | USASAT-25K | USASAT-14I-2 | USASAT-14H |
|---|---|---|---|---|---|
| المركبة الفضائية: الموقع المداري (الارتفاع°) | 91,00– | 94,95– | 45,00– | 68,50 | 166,00 |
| *المعلومات المتعلقة بإشارات القياس عن بعد* | | | | | |
| المركبة الفضائية: تردد القياس عن بعد (GHz) | 12,2-11,7 | 11,7-11,45 | 11,7-11,45 | 11,7-11,45 | 12,75-12,5 |
| المركبة الفضائية: استقطاب التردد (انخفاض الفولت، الحرارة الكامنة، الاستقطاب الدائري اليميني، الاستقطاب الدائري اليساري | LV | RHCP | LV | LH | LH |
| المركبة الفضائية: نمط التشغيل (نمط المحطة أو نمط الطوارئ أو كلاهما) | عادي | عادي | عادي | عادي | عادي |
| المركبة الفضائية: القياس عن بعد (في النمط العادي أو في نمط المكوث أو في كليهما) | كلاهما | كلاهما | كلاهما | كلاهما | كلاهما |
| *المعلومات المتعلقة بالقياس عن بعد من على متن المركبة الفضائية* | | | | | |
| المركبة الفضائية: وصف نمط هوائي القياس عن بعد (عالمي أو غير عالمي) | عالمي | عالمي | عالمي | عالمي | عالمي |
| المركبة الفضائية: القدرة المشعة المكافئة المتناحية لقناة القياس عن بعد في الوصلة الهابطة في اتجاه المحطة الأرضية المستقبلة (dBW) | 5,00 | 10,00 | 11,26 | 12,50 | 12,50 |
| *المعلومات المتعلقة بالمحطة الأرضية للقياس عن بعد* | | | | | |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: محدد الموقع | ATLANTA. GA | FILMORE. CA | ATLANTA. GA | PERTH. AUS | PERTH. AUS |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: ارتفاع الموقع (m) | 236,22 | 306,00 | 236,22 | 15,00 | 15,00 |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: حجم هوائي الإرسال (m) | 9,30 | 6,10 | 13,00 | 11,00 | 11,00 |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: الكسب الذروي لهوائي الاستقبال (dBi) | 60,01 | 55,30 | 62,20 | 60,00 | 60,00 |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: نسبة كسب الهوائي إلى حرارة ضوضاء النظام | 37,50 | 34,00 | 40,40 | 38,50 | 38,50 |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: الحد الأدنى اللازم لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء غير المتأثرة بالتداخل لاستقبال القياس عن بعد باستخدام المركبة الفضائية (dB) | 48,50 | 48,50 | 48,50 | 48,50 | 48,50 |
| معدل المطر في الموقع لما نسبته 0,01% من سنة متوسطة (mm/h) | 80,00 | 25,00 | 80,00 | 25,00 | 25,00 |
| *ميزانية الوصلات* | | | | | |
| القدرة المشعة المكافئة المتناحية للوصلة الهابطة في اتجاه المحطة الأرضية (dBW) | 5,00 | 10,00 | 11,26 | 12,50 | 12,50 |
| زاوية ارتفاع المحطة الأرضية (درجات فوق الأفق) | 50,19 | 42,54 | 32,81 | 27,33 | 25,13 |
| المسافة بين الساتل والمحطة الأرضية المستقبلة (m) | 37 066 125,27 | 37 588 473,28 | 38 365 626,21 | 38 853 188,51 | 39 057 710,39 |
| خسارة المسار (dB) | 205,19 | 205,13 | 205,49 | 205,41 | 206,39 |
| الخسارة الناجمة عن الآثار الجوية (dB) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| خسائر النظام الإضافية (dB) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| *نسبة كسب الهوائي إلى درجة حرارة الضوضاء* في المحطة الأرضية – في السماء الصافية (dB/K) | 37,50 | 34,00 | 40,40 | 38,50 | 38,50 |
| تدهور *نسبة كسب الهوائي إلى درجة حرارة الضوضاء* في المحطة الأرضية بسبب المطر (dB) | 3,48– | 4,30– | 4,31– | 4,49– | 4,47– |
| *نسبة كسب الهوائي إلى درجة حرارة الضوضاء* في المحطة الأرضية – أثناء الهطول (dB/K) | 34,02 | 29,71 | 36,09 | 34,01 | 34,04 |
| ثابت بولتزمان | 228,60– | 228,60– | 228,60– | 228,60– | 228,60– |
| *نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء غير المتأثرة بالتداخل* (dB) | 62,43 | 63,18 | 70,46 | 69,70 | 68,75 |
| *النسبة* اللازمة *للموجة الحاملة إلى الضوضاء غير المتأثرة بالتداخل* (dB) – @ bit/s 4 000 | 54,50 | 54,50 | 54,50 | 54,50 | 54,50 |
| الهامش | 7,93 | 8,68 | 15,96 | 15,20 | 14,25 |
| نسبة التيسر (%) | 99,9846 | 99,9986 | 99,9962 | 99,9997 | 99,9990 |

**الملاحظة 1** – جميع قيم القدرة المشعة المكافئة المتناحية في القياس عن بعد من المركبة الفضائية هي قيم مسقطة.

**الملاحظة 2** – تتعلق نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء غير المتأثرة بالتداخل في المحطة الأرضية بمعدل بتات مزال تشكيله يبلغ 4 000 bit/s ومعدل خطأ في البتات يبلغ $10^{-6}$.

الجدول 9

**مدى تيسّر القياس عن بعد في نمط الطوارئ**

| المركبة الفضائية: الاسم | USASAT-24K | USASAT-23F | USASAT-25K | USASAT-14I-2 | USASAT-14H |
|---|---|---|---|---|---|
| المركبة الفضائية: الموقع المداري (الارتفاع°) | 91,00– | 94,95– | 45,00– | 68,50 | 166,00 |
| *المعلومات المتعلقة بإشارة القياس عن بعد* | | | | | |
| المركبة الفضائية: تردد القياس عن بعد (GHz) | 12,2-11,7 | 11,7-11,45 | 11,7-11,45 | 11,7-11,45 | 12,75-12,5 |
| المركبة الفضائية: استقطاب التردد (انخفاض الفولت، الحرارة الكامنة، الاستقطاب الدائري اليميني، الاستقطاب الدائري اليساري | LV | RHCP | LV | LH | LH |
| المركبة الفضائية: نمط التشغيل (نمط المحطة أو نمط الطوارئ أو كلاهما) | طوارئ | طوارئ | طوارئ | طوارئ | طوارئ |
| المركبة الفضائية: القياس عن بعد (في النمط العادي أو القياس عن بعد في نمط المكوث (dwell) أو في كليهما) | كلاهما | كلاهما | كلاهما | كلاهما | كلاهما |
| *المعلومات المتعلقة بالقياس عن بعد من على متن المركبة الفضائية* | | | | | |
| المركبة الفضائية: وصف نمط هوائي القياس عن بعد (عالمي أو غير عالمي) | عالمي | عالمي | عالمي | عالمي | عالمي |
| المركبة الفضائية: القدرة المشعة المكافئة المتناحية في قناة القياس عن بعد في الوصلة الهابطة في اتجاه المحطة الأرضية المستقبلة (dBW) | 5,00 | 5,00 | 6,73 | 0,00 | 0,00 |
| *المعلومات المتعلقة بالمحطة الأرضية للقياس عن بعد* | | | | | |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: محدد الموقع | ATLANTA. GA | FILMORE. CA | ATLANTA. GA | PERTH. AUS | PERTH. AUS |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: ارتفاع الموقع (m) | 236,22 | 306,00 | 236,22 | 15,00 | 15,00 |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: حجم هوائي الإرسال (m) | 9,30 | 6,10 | 13,00 | 11,00 | 11,00 |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: الكسب الذروي لهوائي الاستقبال (dBi) | 60,01 | 55,30 | 62,20 | 60,00 | 60,00 |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: *نسبة كسب الهوائي إلى درجة حرارة الضوضاء* (K/dB) | 37,50 | 34,00 | 40,40 | 38,50 | 38,50 |
| المحطة الأرضية للقياس عن بعد: لنسبة الحد الأدنى اللازم لموجة الحاملة إلى الضوضاء غير المتأثرة بالتداخل لاستقبال معطيات القياس عن بعد باستخدام المركبة الفضائية (dB) | 48,50 | 48,50 | 48,50 | 48,50 | 48,50 |
| معدل المطر في الموقع لما نسبته 0,01% من سنة متوسطة (mm/h) | 80,00 | 25,00 | 80,00 | 25,00 | 25,00 |
| *ميزانية الوصلات* | | | | | |
| القدرة المشعة المكافئة المتناحية في الوصلة الهابطة في اتجاه المحطة الأرضية (dBW) | 5,00 | 5,00 | 6,73 | 0,00 | 0,00 |
| زاوية ارتفاع المحطة الأرضية (درجات فوق الأفق) | 50,19 | 42,54 | 32,81 | 27,33 | 25,13 |
| المسافة بين الساتل والمحطة الأرضية المستقبلة (m) | 37 066 125,27 | 37 588 473,28 | 38 365 626,21 | 38 853 188,51 | 39 057 710,39 |
| خسارة المسار (dB) | 205,19 | 205,13 | 205,49 | 205,41 | 206,39 |
| الخسارة الناجمة عن الآثار الجوية (dB) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| خسائر النظام الإضافية (dB) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| *نسبة كسب الهوائي إلى درجة حرارة الضوضاء في* المحطة الأرضية – في السماء الصافية (dB/K) | 37,50 | 34,00 | 40,40 | 38,50 | 38,50 |
| *تدهور نسبة كسب الهوائي إلى درجة حرارة الضوضاء* في المحطة الأرضية بسبب المطر (dB) | 3,48– | 3,53– | 4,18– | 3,25– | 2,97– |
| *نسبة كسب الهوائي إلى درجة حرارة الضوضاء* في المحطة الأرضية – أثناء الهطول (dB/K) | 34,02 | 30,47 | 36,22 | 35,25 | 35,53 |
| ثابت بولتزمان | 228,60– | 228,60– | 228,60– | 228,60– | 228,60– |
| *نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء غير المتأثر بالتداخل* (dB) | 62,43 | 58,95 | 66,06 | 58,44 | 57,74 |
| *النسبة* اللازمة *للموجة الحاملة إلى الضوضاء غير المتأثر بالتداخل* (dB) – @ 4 000 bit/s | 54,50 | 54,50 | 54,50 | 54,50 | 54,50 |
| الهامش | 7,93 | 4,45 | 11,56 | 3,94 | 3,24 |
| مدى التيسر (%) | 99,9846 | 99,9913 | 99,9905 | 99,9823 | 99,9526 |

**الملاحظة** 1 – جميع قيم القدرة المشعة المكافئة المتناحية في القياس عن بعد من المركبة الفضائية هي قيم مستقطة.

**الملاحظة** 2 – تتعلق نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء غير المتأثرة بالتداخل في المحطة الأرضية بمعدل بتات مزال تشكيله يبلغ 4 000 bit/s ومعدل خطأ في البتات يبلغ $10^{-6}$.

الجدول 10

**مدى تيسّر وصلة قياس المسافات**

| المركبة الفضائية: الاسم | USASAT-24K | USASAT-23F | USASAT-25K | USASAT-14I-2 | USASAT-14H |
|---|---|---|---|---|---|
| المركبة الفضائية: الموقع المداري (الارتفاع°) | 91,00– | 94,95– | 45,00– | 68,50 | 166,00 |
| المركبة الفضائية: نمط التشغيل (النمط العادي أو نمط التشغيل على المحطة أو نمط الطوارئ أو كلاهما) | على المحطة | على المحطة | على المحطة | على المحطة | على المحطة |
| مدى تيسر قناة التحكم (%) | 99,97650 | 99,99856 | 99,99597 | 99,99432 | 99,99090 |
| مدى تيسر قناة القياس عن بعد (%) | 99,9846 | 99,9986 | 99,9962 | 99,9997 | 99,9990 |
| مدى تيسر قناة قياس المسافات (%) | 99,96110 | 99,99716 | 99,99217 | 99,99402 | 99,98990 |

| المركبة الفضائية: الاسم | USASAT-24K | USASAT-23F | USASAT-25K | USASAT-14I-2 | USASAT-14H |
|---|---|---|---|---|---|
| المركبة الفضائية: الموقع المداري (الارتفاع°) | 91,00– | 94,95– | 45,00– | 68,50 | 166,00 |
| المركبة الفضائية: نمط التشغيل (النمط العادي أو نمط التشغيل على المحطة أو نمط الطوارئ أو كلاهما) | طوارئ | طوارئ | طوارئ | طوارئ | طوارئ |
| مدى تيسر قناة التحكم (%) | 99,99884 | 99,19300 | 99,99915 | 99,97633 | 99,95327 |
| مدى تيسر قناة القياس عن بعد (%) | 99,9846 | 99,9913 | 99,9905 | 99,9823 | 99,9526 |
| مدى تيسر قناة قياس المسافات (%) | 99,98344 | 99,18437 | 99,98965 | 99,95863 | 99,90589 |

### 2.3 مدى تيسر القياس عن بعد والتتبع والتحكم

كما عدد في الجدول 6 فإنه خلال التشغيل العادي على المحطة يتراوح "مدى التيسر التشغيلي" لوصلة التحكم بين 99,97650% و99,99856%، بقيمة متوسطة تبلغ 99,99125% وبالمثل فإنه بالنسبة للقياس عن بعد من على المحطة سيتراوح تيسر الوصلة بين 99,9846% و99,9997% بقيمة متوسطة تبلغ 99,99562% (انظر الجدول 8).

وفي ظل نمط الطوارئ عندما يكون اتجاه المركبة الفضائية غير معروف يكون من المعقول افتراض إرسال إشارة التحكم بأقصى قدرة مشعة مكافئة متناحية متيسرة للمحطة الأرضية لضمان وصلة يعول عليها للمركبة الفضائية. وتبعاً لذلك يكون "أقصى تيسر" للوصلة في هذا النمط التشغيلي عاملاً مهماً وقابلاً للتطبيق. ويتضح من الجدول 7 أن أقصى تيسر لوصلة التحكم أثناء نمط التشغيل في حالة الطوارئ يتراوح بين 99,193% و99,99915% بمتوسط يبلغ 99,82411% وبالنسبة لوصلة القياس عن بعد (انظر الجدول 9) يتراوح التيسر بين 99,9526% و99,9913% بمتوسط يبلغ 99,98026%.

وفيما يتعلق بقياس المسافات لم يتم الحصول على معطيات مقيسة مباشرة. بيد أنه يمكن التوصل إلى تقدير جيد للتيسر بضرب تيسر وصلتي التحكم والقياس عن بعد لكل حالة مبينة. وباستعمال هذه المنهجية، يتراوح تيسر هذه الوصلة بين 99,9611% و99,99716% بقيمة متوسطة تبلغ 99,98687% (انظر الجدول 10) عندما يفترض أن المركبة الفضائية تعمل في النمط العادي بالنسبة لوصلتي التحكم والقياس عن بعد. ويتراوح مدى التيسر ذي الصلة في نمط الطوارئ (لكل من التحكم والقياس عن بعد) بين 99,18437% و99,98965% بقيمة متوسطة تبلغ 99,8044%.

### 3.3 القيود المفروضة على حجم هوائي التحكم عن بعد

ضماناً للتشغيل الجدير بالثقة لعمليات القياس عن بعد والتتبع والتحكم في نطاق التردد GHz 14/11-12 يجب أن تكون وصلة التحكم الصاعدة إلى المركبة الفضائية جديرة جداً بالثقة، ومن ثم يجب أن يكون جهاز استقبال التحكم الموجود على متن المركبة الفضائية حساساً وقادراً على العمل على مجموعة دينامية كبيرة لاستيعاب هوامش كبيرة لخبو الوصلة الصاعدة بسبب المطر. وأجهزة استقبال التحكم الحساسة هذه تكون حساسة أيضاً للتداخل من الموجات الحاملة الأخرى المشتركة معه في التردد، التي يمكن أن تنتج أوامر زائفة في جهاز استقبال القياس عن بعد والتتبع والتحكم الموجود على متن المركبة الفضائية. وضماناً لأن يكون للتداخل في الوصلتين الصاعدة والهابطة من الموجات الحاملة للاتصالات والتحكم عن بعد من الشبكات الساتلية المجاورة أثر لا يذكر في خفض هامش الخبو المتيسر، تستعمل في العادة هوائيات كبيرة دقيقة التصويب للمحطات الأرضية المرسلة لإرسال الأوامر إلى المركبة الفضائية ولاستقبال القياس عن بعد منها. وأكثر العوامل تقييداً في تحديد حجم قطر هوائي القياس عن بعد والتتبع والتحكم هو الحد الأدنى للمباعدة اللازمة بين السواتل لإعادة استعمال نفس تردد التحكم على مركبة فضائية مجاورة.

ومن أجل نمذجة حالة السواتل المجاورة التي تعيد استخدام نفس التردد لتوفير وصلة صاعدة للتحكم جرى النظر في إجمالي التداخل من المحطات الأرضية للوصلة الصاعدة المرسلة إلى أقرب أربع شبكات ساتلية مجاورة. وحُسب هذا المستوى من التداخل وقورن بمعيار تداخل جهاز الاستقبال الخاص بالتحكم. وافترض أن المباعدة بين جميع السواتل كانت بمسافات فاصلة متساوية تساوي مضاعف الرقم الصحيح 2°. وعلى أساس هذا الافتراض يكون أقرب ساتلين عند مسافة φ° من الشبكة الساتلية المنشودة في حين يكون الساتلان التاليان عند مسافة 2 φ° من هذه الشبكة. ونظراً إلى أن مستوى حساسية جهاز الاستقبال الخاص بالتحكم كان يبلغ –125 dB (W/m$^2$) زائداً هامش إضافي مقداره 1 dB، للنظام قيد التحليل، فقد نوّع حجم هوائي المحطة الأرضية للتحكم بزيادات يبلغ كل منها نحو مترين من حد أدنى يبلغ 9 أمتار إلى حد أقصى يبلغ 15 متراً لتقييم أثر قطر الهوائي في المباعدة بين السواتل المشتركة في التردد.

ويبين الجدول 11 المباعدة المدارية الناجمة باعتبارها دالة لقطر هوائي الوصلة الصاعدة. وكما هو متوقع تبين النتائج أنه كلما ازداد قطر هوائي الوصلة الصاعدة من 9 أمتار إلى 15 متراً يمكن خفض مقدار المباعدة بين السواتل من 12° إلى 8°. وفي حالة شبكة ساتلية ذات جهاز استقبال للتحكم ذي معيار تداخل حساس للغاية توجه حماية جهاز استقبال التحكم المباعدة بين

السواتل. ونظراً إلى أن *نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل* للوصلتين الصاعدة والهابطة للوصلات النمطية الصاعدة للتحكم والوصلات الهابطة للقياس عن بعد الناتجة عن المباعدة تفوق 50 dB فإن عنصر تداخل السواتل المجاورة في الضوضاء الكلية للوصلة الصاعدة للتحكم يكون ضئيلاً للغاية، ولهذا السبب لم يراع تداخل السواتل المجاورة في حساب مدى تيسر الوصلة الصاعدة للتحكم أو الوصلة الهابطة للقياس عن بعد.

الجدول 11

**مثال للمباعدة المدارية الدنيا اللازمة بين السواتل المتجاورة التي تعيد استعمال نفس تردد الوصلة الصاعدة للتحكم، باعتبارها دالة لقطر الهوائي للتردد 14 GHz**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| قطر هوائي الوصلة الصاعدة للتحكم (m) | 9 | 11,3 | 13 | 15 |
| كسب هوائي الوصلة الصاعدة (dBi) | 60,19 | 62,17 | 63,38 | 64,63 |
| الفصل المداري، *X* *(درجات)* | 12 | 10 | 10 | 8 |
| *نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل* من إجمالي أقرب أربعة سواتل (dB) | 52,41 | 52,39 | 53,61 | 52,41 |
| إجمالي كثافة تدفق القدرة عند الساتل المنشود من أقرب أربعة سواتل مسببة للتداخل dB ($W/m^2$) | 126,1– | 126,1– | 127,3– | 126,1– |

**الملاحظة 1** – يفترض أن تستعمل كل شبكة ساتلية معلمات محطات أرضية متجانسة. ويفترض أن ترسل كل محطة أرضية في الوصلة الصاعدة للتحكم كثافة تدفق قدرة في الوصلة الصاعدة للتحكم تبلغ 89 dBW على نفس التردد، وأن يكون عرض النطاق المشغول لكل موجة حاملة للتحكم واحداً.

**الملاحظة 2** – يفترض أن تكون أقطار هوائيات الوصلة الصاعدة متساوية في كل شبكة ساتلية. وكان غلاف نمط الإشعاع على الزوايا المهمة لكل هوائي لمحطة فضائية مرسلة:

$29 - 25 \log(\varphi)$ dBi for $2° < \varphi \leq 7°$
7,9 dBi for $7° < \varphi \leq 9{,}2°$
$32 - 25 \log(\varphi)$ dBi for $9{,}2° < \varphi \leq 48°$

حيث φ هي زاوية الفصل التي يقع على رأسها الساتل المسبب للتداخل.

وسوف يتمكن المشغلون الذين يستعملون هوائيات أكبر من خفض الفواصل المدارية بين سواتلهم التي قد تشترك في استخدام تردد واحد في التحكم. وعلاوة على ذلك فإن لبعض أجهزة استقبال التحكم عن بعد متطلبات حمائية أقل تشدداً، ومن ثم فإنه يمكنها أن تنجح في إعادة استعمال التردد مع خفض الفواصل بين السواتل.

وعلى الرغم من استخدام معيار تداخل تراكمي يبلغ –125 dB ($W/m^2$) فإن هذا المستوى لا يمنع تشغيل الموجات الحاملة الرقمية للوصلة الصاعدة على الساتل المجاور على نفس التردد، الأمر الذي قد يؤدي إلى متطلبات مباعدة أقل بين السواتل مما في الحالة التي تنسق فيها الوصلة الصاعدة للتحكم مع موجة حاملة مماثلة.

### 4.3 مقارنة مدى تيسر القياس عن بعد والتتبع والتحكم لشبكات الخدمة الثابتة الساتلية فوق ودون النطاق 17 GHz

أجري تحليل حساسية للوصلات الهابطة للقياس عن بعد والصاعدة للتحكم، في مجال القياس عن بعد والتتبع والتحكم، في النطاقين 30/20 GHz و50/40 GHz باستخدام تصميم لوصلة للقياس عن بعد والتتبع والتحكم في النطاق 14/12 GHz، باعتبار ذلك هدف الأداء الأساسي. ويتضمن الجدول 12 قائمة بالمعلمات الأساسية للنظام بالنسبة لنطاقات التردد الثلاث المختلفة، مع وصلات التحكم والقياس عن بعد ذات الصلة. ويرجى ملاحظة أن استعمال معلمات مفترضة مختلفة للوصلات في النطاقين 30/20 GHz و50/40 GHz قد يؤدي إلى نتائج مختلفة عن النتائج التي تم التوصل إليها في هذا التحليل. وقد كانت مستويات قوة أجهزة الإرسال ومكاسب هوائيات المحطات الأرضية ودرجات حرارة ضوضاء المحطات الأرضية والفضائية للنطاقين 30/20 GHz و50/40 GHz ومكاسب هوائيات السواتل مستندة إلى قيم نموذجية أو ممثلة من المعلومات المتيسرة. وبالنسبة لجميع الوصلات كانت المحطات الأرضية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم موجودة على خط عرض 44,2° شمالاً وخط طول 80,9° غرباً.

الجدول 12

**معلمات نظام الشبكة الساتلية**

| نطاق التردد | (GHz) | 40/50 | 20/30 | 12/14 |
|---|---|---|---|---|
| المركبة الفضائية: الموقع المداري | (درجات E) | 107,3– | 107,3– | 107,3– |
| المحطة الأرضية: زاوية الارتفاع | (درجات) | 32,7 | 32,7 | 32,7 |
| المحطة الأرضية: تجاوز معدل المطر لما نسبته 0,01% من السنة | (mm/h) | 35,7 | 35,7 | 35,7 |
| موقع المحطة الأرضية: فوق متوسط مستوى سطح البحر | (km) | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| *ميزانية الوصلة الصاعدة* | | | | |
| تردد الوصلة الصاعدة | (GHz) | 50,0 | 30,0 | 14,0 |
| استقطاب الوصلة الصاعدة | | C | C | C |
| قطر هوائي المحطة الأرضية | (m) | 2,4 | 6,3 | 9,0 |
| كسب هوائي المحطة الأرضية | (dBi) | 60,1 | 64,0 | 60,5 |
| كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية للمحطة الأرضية | (dBW) | 77,0 | 91,8 | 89,0 |
| الامتصاص الجوي | (dB) | 4,4 | 1,6 | 0,4 |
| خطأ توجيه المحطة الأرضية | (dB) | 0,2 | 0,4 | 0,1 |
| عرض نطاق الوصلة الصاعدة | (kHz) | 1 300,0 | 1 300,0 | 1 300,0 |
| *نسبة الموجة الحاملة إلى درجة حرارة ضوضاء* الوصلة الصاعدة (سماء صافية اسمية) | (dB) | 44,2 | 60,5 | 55,2 |
| *مستويات التشغيل الاسمية للوصلة الصاعدة* | | | | |
| قوة استقبال الوصلة الصاعدة للمركبة الفضائية | (dBW) | 99,3– | 99,3– | 99,3– |
| كثافة تدفق القدرة على عتبة الوصلة الصاعدة للمركبة الفضائية | ($dB(W/m^2)$) | 96,2– | 94,8– | 90,0– |
| كثافة تدفق القدرة للوصلة الصاعدة (سماء صافية اسمية) | ($dB(W/m^2)$) | 90,2– | 72,9– | 74,2– |
| هامش نطاق الوصلة الصاعدة | (dB) | 6,0 | 21,9 | 15,8 |
| مدى تيسر الوصلة الصاعدة للنطاق | (%) | 98,476 | 99,965 | 99,998 |
| *ميزانية الوصلة الهابطة* | | | | |
| تردد الوصلة الهابطة | (GHz) | 40,0 | 20,2 | 11,7 |
| استقطاب الوصلة الهابطة | | C | C | C |
| قطر هوائي المحطة الأرضية | (m) | 2,4 | 6,3 | 9,0 |
| كسب هوائي المحطة الأرضية | (dBi) | 58,1 | 60,6 | 58,9 |
| *مستويات التشغيل في السماء الصافية الاسمية* | | | | |
| درجة حرارة ضوضاء المضخم المنخفض الضوضاء في المحطة الأرضية | (K) | 300,0 | 200,0 | 160,0 |
| درجة حرارة ضوضاء نظام المحطة الأرضية | (K) | 447,7 | 367,8 | 242,1 |
| *نسبة كسب الهوائي إلى درجة حرارة الضوضاء* في المحطة الأرضية (في السماء الصافية) | (dB/K) | 31,6 | 34,9 | 35,1 |
| عرض نطاق الوصلة الهابطة | (kHz) | 300,0 | 300,0 | 300,0 |
| *نسبة الموجة الحاملة إلى درجة حرارة الضوضاء* في الوصلة الهابطة (في السماء الصافية الاسمية) | (dB) | 19,7 | 22,4 | 18,0 |
| عتبة *نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء* | (dB) | 5,0 | 5,0 | 3,3 |
| *معلمات المركبة الفضائية* | | | | |
| القدرة المشعة المكافئة المتناحية للمركبة الفضائية | (dBW) | 32,4 | 26,5 | 15,0 |
| كسب هوائي جهاز إرسال في المركبة الفضائية | (dBi) | 52,4 | 46,5 | 35,3 |
| قوة إرسال المركبة الفضائية | (dBW) | 20,0– | 20,0– | 20,3– |
| *نسبة كسب الهوائي إلى درجة حرارة الضوضاء* في المركبة الفضائية (في السماء الصافية) | (dB/K) | 22,4 | 17,0 | 6,5 |
| *أوجه تدهور الوصلة الهابطة أثناء المطر* | | | | |
| الامتصاص الجوي | (dB) | 1,8 | 2,4 | 0,2 |
| خسارة نظام التغذية | (dB) | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| خطأ توجيه المحطة الأرضية | (dB) | 0,1 | 0,2 | 0,1 |
| الخبو الناتج عن المطر A1 (p1) | (dB) | 13,7 | 16,3 | 12,4 |
| التدهور الحراري *لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء* | (dB) | 1,0 | 1,0 | 2,4 |
| هامش الوصلة الهابطة | (dB) | 14,7 | 17,4 | 14,8 |
| مدى تيسر الوصلة الهابطة | (%) | 99,771 | 99,987 | 99,999 |

على الوصلة الصاعدة استخدمت كثافة تدفق القدرة "العتبية" للشبكة الساتلية المرجعية في النطاق GHz 14/12 لحساب مستوى قوة الاستقبال عند مدخل جهاز استقبال التحكم الموجود على متن المركبة الفضائية. وهذا المستوى لقوة الاستقبال هو الحد الأدنى اللازم للعمليات الاسمية. وكان المستوى "العتبي" لكثافة تدفق القدرة للنطاق GHz 14/12 يبلغ $-90$ $dB(W/m^2)$.

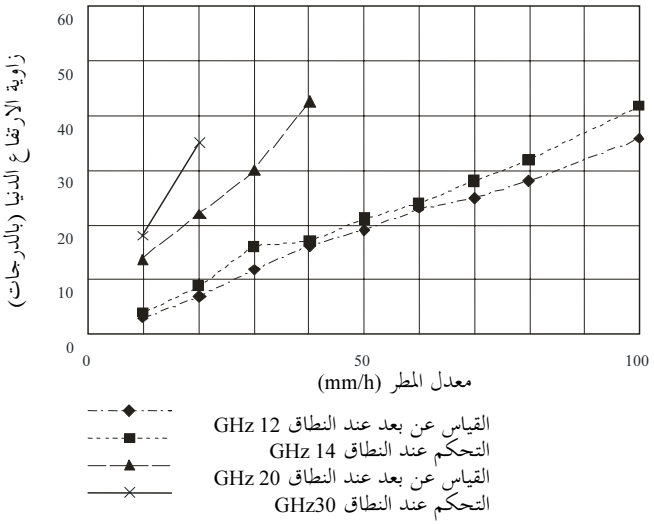
وأجري تحليل للحساسية على النطاق GHz 14/12 لبيان أثر موقع المحطة الأرضية للقياس عن بعد والتتبع والتحكم (زوايا الارتفاع ومعدل المطر) في الأداء الفعلي للوصلات الصاعدة للتحكم والوصلات الهابطة للقياس عن بعد. واستناداً إلى وصلات نمطية على النطاق GHz 14/12 فإن التيسر المنجز للوصلات الصاعدة للتحكم والوصلات الهابطة للقياس عن بعد للسواتل هو في حدود 99,98%. وهذا التيسر، المنجز في ظروف التشغيل العادية، قد استخدم باعتباره مبدءاً توجيهياً لتحديد المستويات أو الأداء الذي سيتحقق في نطاقات ترددية أخرى مثل النطاقين GHz 30/20 وGHz 50/40. ويرجى ملاحظة أنه لا ينظر في تحليل الحساسية إلا في نمط التشغيل "العادي".

ومن أجل التوصل إلى طريقة صحيحة للمقارنة بين المعطيات استخدم خط عرض ثابت هو 18° شمالاً. وقد وفر خط العرض هذا مجموعة كبيرة من معدلات الأمطار على مجموعة دنيا من خطوط الطول، بين –20° غرباً و–70° غرباً. واختير أيضاً لأنه يتطلب حداً أدنى من الاستكمال من المكافئات المرقمنة اللازمة لحسابات الامتصاص الجوي ومعدل المطر وارتفاعها المشار إليها في التوصيات ITU-R P.837 وITU-R P.839 وITU-R P.676، على التوالي.

وعموماً فإنه عندما يزداد معدل المطر المحلي لزاوية ارتفاع معينة ينخفض التيسر. كما ينخفض تيسر عمليات القياس عن بعد والتتبع والتحكم لمعدل أمطار معين مع انخفاض زاوية الارتفاع. وفي هذا المثال نظر في معدل أقصى للأمطار يبلغ 100 mm/h ويبين الشكل 2 زاوية الارتفاع الدنيا اللازمة في مقابل معدلات مطر مختلفة لتحقيق تيسر نسبته 99,98%. ويبين الشكل 3 معدلات المطر القصوى المسموح بها لزوايا الارتفاع المختلفة اللازمة لتحقيق تيسر نسبته 99,98%. ويبين هذان الشكلان معطيات نطاقي التردد GHz 14/12 وGHz 30/20 . ولم تدرج معطيات للنطاق GHz 50/40 لأنه لم يتسنَّ تحقيق التيسر الذي نسبته 99,98% في ظل أي توليفة من الارتفاع ومعدل المطر.

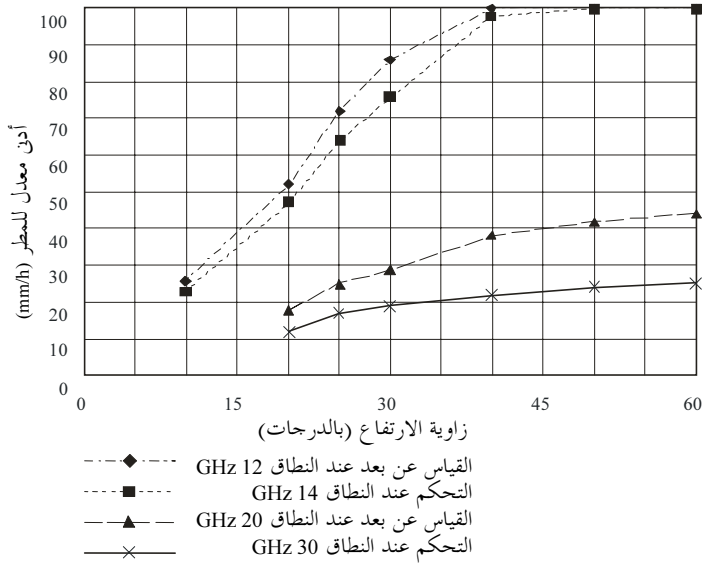
الشكل 2

**زاوية الارتفاع الدنيا التي تتيح تحقيق تيسر بنسبة 99,98% باعتباره دالة لمعدل المطر**



الشكل 3

**أدنى معدل للمطر يتيح تحقيق تيسر بنسبة 99,98% باعتباره دالة لزاوية الارتفاع**




## 4 أهداف تيسر القياس عن بعد والتتبع والتحكم لشبكة خدمة ثابتة ساتلية عند نطاق التردد GHz 30/20

قدمت شبكة محلية لخدمة ثابتة ساتلية على النطاق Hz 30/20 موجاتها الحاملة الخاصة بالتحكم على الوصلة الصاعدة للقياس عن بعد والتتبع والتحكم لتشغيلها على الجانب الأدنى للنطاق GHz 30-29,5، وصممت وصلاتها لتحقيق هدف تيسر يتراوح بين 99,98 و99,95% للتشغيل العادي أو التشغيل على المحطة حسب تشكيل هوائي الاستقبال الخاص بالساتل، و99,97% للتشغيل في مدار النقل.

وستكون الموجات الحاملة للوصلة الهابطة للقياس عن بعد موجودة بصورة مماثلة على الجانب الأدنى من النطاق GHz 20,2-19,7 بهدف تيسر نسبته 99,95% خلال عمليات التشغيل العادي أو على متن المحطة، وهدف تيسر نسبته 99,9% من مدار النقل. وكان هدف أداء معدل الخطأ في البتات لمزيل تشكيل المعطيات في المحطة الأرضية المستقبلة الخاصة بالقياس عن بعد والتتبع والتحكم من ناحية $1 \times 10^{-6}$.

## 5 ملخص

قدمت الأقسام الواردة أعلاه معطيات نموذجية لأداء القياس عن بعد والتتبع والتحكم. ويتضح من دراسة هذه المعطيات أن تيسر الوصلة يختلف اختلافاً كبيراً جداً ويكون تيسر وصلة التحكم عموماً أقل من تيسر وصلة القياس عن بعد. بيد أنه يجب على المرء أن يتذكر أن انسياب القياس عن بعد ذو طبيعة مستمرة عموماً بالنسبة لمعظم المركبات الفضائية الحديثة. وفيما يتعلق بوصلة التحكم لا يقدم المشغل تياراً مستمراً من الأوامر إلى المركبة الفضائية؛ ومن ثم فإنه يكون له السيطرة على الفترة (الفترات) وعدد المرات التي يمكن فيها إرسال الأمر. ولذا يستطيع المرء أن يتوقع أن يكون متوسط إمكانية التعويل على إشارة وصلة القياس عن بعد والتحكم وقياس المسافات في الممارسة أكبر بكثير من قيم التيسر المدرجة في الجدولين 6 و7.

وعند مقارنة أداء ومدى تيسر أنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم العاملة في النطاقين GHz 30/20 وGHz 50/40 عند استخدام معلمات تصميم وصلات للقياس عن بعد والتتبع والتحكم مماثلة للوصلات الموجودة على النطاقين GHz 14/11-12 تبيّن أن عدداً من العوامل يحد من أداء وصلات القياس عن بعد والتتبع والتحكم في النطاقات الأعلى من GHz 17.

وعلاوة على ذلك فقد طلبت الرسالة المعممة CA/99 لمكتب الاتصالات الراديوية من الإدارات وأعضاء القطاعات تقديم الخصائص التقنية والتشغيلية لأنظمة القياس عن بعد والتتبع والتحكم الخاصة بخدماتها الثابتة الساتلية. وقد أنشأ مكتب الاتصالات الراديوية قاعدة معطيات في موقع الاتحاد على الشبكة العالمية: http://web.itu.ch/brsg/srg4/info/wp4b/index.html. ويقدم الجدول 13 تحليلاً موجزاً للمعطيات التي جمعت تلبية للرسالة المعممة CA/99 لمكتب الاتصالات الراديوية.

الجدول 13

**موجز مدى تيسر الوصلات وهوامشها مقتطف من الرسالة المعممة CA/99 لمكتب الاتصالات الراديوية**

| مدى تيسر الوصلة (%) | GHz 6/4 | | | GHz 14/11 | | | GHz 20 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | الحد الأدنى | الحد الأقصى | المتوسط | الحد الأدنى | الحد الأقصى | المتوسط | الحد الأدنى | الحد الأقصى | المتوسط |
| قياس المسافات | 99,7 | 99,998 | 99,76859 | 94,9981 | 99,9923 | 99,14992 | 99,42525 | 99,97716 | 99,70121 |
| القياس عن بعد | 99,7 | 99,999 | 99,80755 | 99,9 | 99,999 | 99,96253 | لا ينطبق | لا ينطبق | لا ينطبق |
| التحكم | 99,7 | 99,999 | 99,83424 | 99,3403 | 99,99874 | 99,89163 | 99,9 | 99,99511 | 99,94756 |

| هامش الوصلة (%) | GHz 6/4 | | | GHz 14/11 | | | GHz 20 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | الحد الأدنى | الحد الأقصى | المتوسط | الحد الأدنى | الحد الأقصى | المتوسط | الحد الأدنى | الحد الأقصى | المتوسط |
| قياس المسافات | 0,7 | 42,31633 | 13,07245 | 0,48482 | 30,9111 | 16,26529 | 1,306482 | 7,30482 | 4,305651 |
| القياس عن بعد | 0,5 | 39,45 | 24,40857 | 6 | 30,8 | 19,41385 | لا ينطبق | لا ينطبق | لا ينطبق |
| التحكم | 0,5 | 24,5 | 7,307692 | 2,38 | 22,2 | 10,97929 | 13,7 | 19,6 | 16,65 |