التوصية ITU-R S.1759

تحليل التداخل الذي تتسبب فيه إرسالات العمليات الفضائية للأنظمة HEO في نطاقات الخدمة الثابتة الساتلية على الشبكات GSO والمبادئ التوجيهية المقابلة التي يتوجب استخدامها لتصميم وتشغيل التجهيزات TT&C المعدة لأنظمة FSS من النمط HEO

(2006)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية تحليلاً للتداخل الذي تتسبب فيه إرسالات العمليات الفضائية لأنظمة الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) لمدار إهليلجي شديد الانحناء HEO على شبكات مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO) في نطاقات الخدمة الثابتة الساتلية تبعاً لحدود كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) المشار إليها في المادة 22 من لوائح الراديو. كما تقدم التوصية تقنيات قد تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم وتشغيل الوصلات TT&C لأنظمة خدمة ثابتة ساتلية من النمط HEO بطريقة تكفل توفير حماية كافية لوصلات مدار GSO ذات التردد المشترك وفقاً للمادة 22 من لوائح الراديو.

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن لجميع سواتل الخدمة الثابتة الساتلية متطلبات التتبع والقياس عن بعد والتحكم (TT&C)؛

ب) أن عمليات TT&C تُجرى على سواتل FSS عندما تكون في مدار نقل وخلال عمليات منتظمة (على المحطة) في المدارات الساتلية المختلفة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

ج) أن إرسالات إشارة التحكم عن بعد تنشأ وتنتهي تحت إشراف مُشغل الساتل؛

د) أن موجات TT&C الحاملة تتطلب أهدافاً ذات اعتمادية أداء أعلى مقارنة بالموجات الحاملة للحركة الاعتيادية، الموصى بها في التوصية ITU-R S.1716؛

هـ) أن خسارة الموجات الحاملة لأمر تحكم من الوصلة الصاعدة إلى ساتل ما والموجات الحاملة للقياس عن بعد وتحديد المسافة لوصلة هابطة خلال المناورات المدارية، أو حدوث عطل خطير على متن المركبة الفضائية، قد يفضي إلى خسارة الساتل؛

و) أن وظائف تشغيل TT&C ستتوفر على نحو طبيعي داخل نطاق الخدمة الذي تعمل فيه المحطة الفضائية وليس من داخل نطاقات خدمة العمليات الفضائية (SOS)، وبعض المحطات الفضائية بنطاقات خدمة فوق 17 GHz قد تستعمل TT&C في نطاقات أدنى من17 GHz؛

ز) أنه ينبغي منح مشغلي FSS لنمط HEO بعض المرونة لتشغيل TT&C في أكثر نطاقات التردد ملائمة؛

ح) أن معظم سواتل FSS لنمط HEO ترسل وتستقبل موجات حاملة للخدمة فقط عندما تكون في إطار أقواسها "النشطة" التي لها فصل زوايا واسع من وصلات GSO، لكنه لن يكون عملياً تحديد عمليات TT&C بهذه الأقواس؛

ط) أنه قد تتوفر احتمالات عدة لتجاوز تحديات تشغيل وصلات TT&C لأنظمة نمط HEO في نطاقات FSS تبعاً لحدود كثافة تدفق القدرة المكافئة epfd المشار إليها في المادة 22 من لوائح الراديو في الوقت الذي يتم فيه توفير حماية مناسبة لأنظمة GSO العاملة في هذه النطاقات؛

وإذ تعترف

أ) أنه في نطاقات تردد تبعاً للرقم 2.22 من لوائح الراديو، من الضروري ضمان ألاّ تتسبب إرسالات TT&C للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة للنمط HEO بتداخل غير مقبول على شبكات أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO FSS) وشبكات الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS)؛

ب) أنه يتعين على سواتل نمط HEO أن تستوفي حدود كثافة تدفق القدرة المكافئة في بعض نطاقات التردد المحددة في المادة 22 من لوائح الراديو؛

ج) أنه في نطاقات تردد خدمة ثابتة ساتلية غير تلك التي تم تحديدها في فقرة *إذ تعترف أ*)، يُعد التقاسم بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية لنمط HEO وشبكات أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض مشروطاً بالأحكام ذات الصلة الواردة في الجزء II من المادة 9 من لوائح الراديو،

توصي

1 أنه بإمكان مشغلي أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية لنمط HEO الأخذ بعين الاعتبار التحليل التقني والتشغيلي والتقنيات الواردة في الملحق 1 عند تصميم وتشغيل أنظمة TT&C الخاصة بهم.

الملحق 1

تحليل التداخل الذي تتسبب فيه إرسالات العمليات الفضائية لنظام مدار إهليجي شديد الانحناء HEO في نطاقات الخدمة الثابتة الساتلية FSS على الشبكات المستقرة بالنسبة إلى الأرض وبعض تقنيات تخفيف التداخل

ملخص

لما كان ساتل HEO النموذجي (ترمز الاشارات الواردة بشأن نظام مدار إهليجي شديد الانحناء HEO في هذا الملحق إلى نظام الخدمة الثابتة الساتلية لنمط HEO) يرسل ويستقبل الموجات الحاملة للخدمة فقط عندما يكون داخل قوسه أو أقواسه "النشطة"، ينبغي لموجاته الحاملة TT&C أن تبقى نشطة حتى عندما تكون خارج ذلك القوس أو (الأقواس) وعليه من المتوقع أن تواجه صعوبة في تلبية متطلبات الرقم 2.22 من لوائح الراديو بما في ذلك، إن أمكن، استيفاء حدود كثافة تدفق القدرة

المكافئة epfd الواردة في الفقرة 22 من لوائح الراديو. وقد أفضت محاكاة الحاسوب لوصلات TT&C في مثال نظام HEO إلى التعرف على فرص التغلب على هذه المشكلة.

1 المقدمة

تلقت لجان الدراسات التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد خلال السنوات الأخيرة نتائج العديد من الدراسات بشأن التداخل بين أنظمة HEO وشبكات GSO، حيث أظهرت هذه النتائج على وجه العموم أن حدود كثافة تدفق القدرة المكافئة epfd↓ وepfd↑ الواردة في الجداول 22–1A وB وD وE والجدول 22–2 من المادة 22 من لوائح الراديو ستستوفى من أنظمة HEO المعنية. وقد حُسبَ تداخل وصلات الخدمة لأنظمة HEO في هذه الدراسات، وجرى تصميم كلٍ منها كي تتبع جميع سواتلها على نحو متتالَ مسلك أرضي متكرر يكون خلاله الأوج عند أو قرب نقطة الارتفاع الأعلى، ويقوم كل ساتل بالإرسال والاستقبال عندما يكون فقط داخل قوس "نشط" يحتوي على الأوج. وتتمثل إحدى العواقب المترتبة على هذه التشكيلات، قدر تعلق الأمر بوصلات الخدمة، بعدم قيام أي ساتل بالإرسال أو الاستقبال عندما يكون ماراً من خلال أو بالقرب من الخط الفاصل بين أي ساتلٍ مستقر بالنسبة إلى الأرض وأية نقطة على سطح الأرض. كما وُجد في استعراض تم مؤخراً لاثني عشر تشكيلاً مدارياً مختلفاً لنظام HEO أن أدنى زاوية خارج المحور لأية وصلة GSO يحدث فيها إرسال لوصلة خدمة نظام HEO كانت أعلى من 25°. وعادة ما تتيح لهم هذه الخاصية التي تتسم بها أنظمة HEO النموذجية إمكانية استيفاء حدود كثافة تدفق القدرة المكافئة epfd دون الحاجة إلى استخدام تقنيات إضافية لتخفيف التداخل.

ويتكون القوس "النشط" لنظام HEO على نحو نموذجي من ربع أو ثلث كل فترة مدارية واحدة فقط؛ بينما تتم المحافظة على استمرارية وصلات الخدمة خلال الجزء المتبقي بواسطة السواتل الأخرى التي تتبع المسلك الأرضي المتكرر. غير أن جميع السواتل في نظام ما تحتاج إلى موجات حاملة للتحكم عن بعد والقياس عن بعد خاصة بها، وبترددات مخصصة لها حصراً (في إطار النظام)، وينبغي أن يتيسر إرسال الموجات الحاملة هذه في أي وقت خلال مدة صلاحية الساتل في المدار. ويسري ذلك على جميع أنماط السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض وغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، ولا يعد ذلك سمة فريدة لسواتل أنظمة HEO. ومن الواضح أنه لن يكون عملياً تشغيل ساتل قد تكون فيه الموجات الحاملة للقياس عن بعد والتحكم عن بعد قابلة للإرسال فقط خلال ربع أو ثلث كل مدة زمنية طولها 12 أو 18 أو 24 ساعة، وقد يكون من المحتمل، خلافاً لوصلات الخدمة لأنظمة HEO، أن تكون هناك حاجة لأن تقوم وصلات TT&C بالإرسال خلال عمليات انتقال "خطية" لوصلات مدارات السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض. وبناءً على ما تقدم، يعد ضرورياً إجراء تقييم منفصل لوصلات TT&C لأنظمة HEO في إطار الرقم 2.22 من لوائح الراديو بما في ذلك، كلما أمكن، حدود كثافة تدفق القدرة المكافئة epfd الواردة في المادة 22 من لوائح الراديو. وبالإضافة إلى ما تقدم، ينبغي ملاحظة النقاط التالية:

- يركز هذا الملحق على نحو رئيسي على إجراء عمليات TT&C في إطار نطاق خدمة نظام HEO، وليس في إطار نطاقات *خدمة العمليات الفضائية* (SOS) وذلك لأنه من المعتاد اعتماد هذه الوسيلة في تصميم الأنظمة الساتلية الحديثة. ويذكر أن الرقم 23.1 من لوائح الراديو يُعرّف خدمة SOS على النحو التالي: "**23.1** *خدمة العمليات الفضائية: هي خدمة اتصالات راديوية معدّة حصراً لتشغيل المركبات الفضائية، ولا سيما التتبع الفضائي، والقياس الفضائي عن بعد والتحكم الفضائي عن بعد. وستؤمن هذه الوظائف عادة داخل الخدمة التي تعمل المحطة الفضائية فيها*". ويستكشف هذا الملحق على نحو موجز إمكانية إجراء عمليات TT&C داخل نطاقات خدمة SOS.
- على الرغم من أن مثال نظام HEO يستند إلى عمليات TT&C في النطاق 12-18 GHz (نطاق–Ku)، ستنطبق النتائج الواردة في هذا الملحق كذلك على عمليات TT&C في نطاقات التردد الأخرى تبعاً لحدود كثافة تدفق القدرة المكافئة epfd الواردة في المادة 22 من لوائح الراديو.
- في حالة إجراء عمليات TT&C في نطاقات تردد الخدمة الثابتة الساتلية غير الخاضعة لحدود epfd فسيكون هذا الملحق معيناً في تحليل التداخل وتحديد وتقييم تقنيات التخفيف من التداخل على شبكات GSO.

2 وصلات عمليات TT&C لمثال أنظمة HEO

بغية إجراء تقييم لطبيعة المشكلة الموضحة في المقدمة فقد تم بناء نموذج برمجيات لتيسير إجراء الإحصاءات المتعلقة بالتداخل من وصلات TT&C لمثال أنظمة HEO لعدد من الوصلات الصاعدة والوصلات الهابطة لمدار GSO كي يتسنى حسابها. في أدناه الخصائص الجوهرية لمثال أنظمة HEO الذي يُعرف في لغة قطاع الاتصالات الراديوية للاتحاد بوصفها N-SAT-HEO2:

- ثلاثة سواتل تتبع المسلك الأرضي ذاته، في مستويات تميل بزاوية قدرها 45° من خط الاستواء والتي يبلغ التباعد بين العقد التصاعدية فيها 120° في مستوى خط الاستواء؛
- يبلغ ارتفاع الأوج 39 970 كيلومتراً، بينما يبلغ خط العرض 45° شمالاً وخط الطول، المشترك لدى المستويات الثلاثة، 135° شرقاً.
- يبلغ ارتفاع الحضيض 31 602 كيلومتراً، بينما يبلغ الاختلاف المركزي للمدار 0.099؛ وينتج عن هذا الاختلاف المنخفض وقوع كل واحد من هذه السواتل فوق الارتفاع المستقر بالنسبة إلى الأرض عبر القوس "النشط" بأكمله، وتحت 412 كيلومتراً فقط من الارتفاع المستقر بالنسبة إلى الأرض عند اجتيازها لخط الاستواء.
- في أثناء المضي من الشمال إلى الجنوب، يجتاز المسلك الأرضي لسواتل HEO خط الاستواء بدرجة 123,7 شرقاً، ويجتازه بدرجة 146,3 شرقاً عند المضي من الجنوب إلى الشمال؛
- يمتد القوس "النشط" لوصلات الخدمة من 4 ساعات قبل الأوج إلى 4 ساعات بعد الأوج (أي لخطوط عرض السواتل فوق 26,5 درجة شمالاً)؛
- هناك أربع موجات حاملة مستقطبة دائرياً، أي واحدة لكل ساتل بالإضافة إلى موجة حاملة رابعة على هيئة دعم، على ترددات منفصلة في نطاق الخدمة الثابتة الساتلية 12 GHz، تقع كل منها في عرض نطاق قدره 605 KHz، رغم أن معظم القدرة تقع في أغلب الوقت في إطار ±20 kHz للتردد المركزي للموجة الحاملة؛ وعليه يبلغ إجمالي عرض نطاق الوصلة الهابطة نحو2,5 MHz؛ كما تبلغ القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p) للساتل لكل موجة حاملة للقياس عن بعد 7 dBW؛ وقد صُمم النظام بطريقة تتيح لكل ساتل إرسال موجته الحاملة للقياس عن بعد على نحو متواصل؛
- توجد موجة واحدة حاملة للتحكم عن بعد مستقطبة دائرياً على تردد منفصل في نطاق الخدمة الثابتة الساتلية 14 GHz لكل من السواتل الثلاثة، في عرض نطاق قدره 600 KHz، على الرغم، من أن معظم القدرة تقع عادة داخل نطاق قدرة ±20 kHz من التردد المركزي للموجة الحاملة؛ وعليه يبلغ عرض نطاق الوصلة الصاعدة الاجمالي نحو 2 MHz؛ وتبلغ القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p) لكل موجة حاملة للتحكم عن بعد في الحالة العادية 50 dBW (80 dBW في حالة الطوارئ)؛ وقد صُمم النظام بطريقة تتيح الإرسال في أي وقت كان لكل من الموجات الثلاث الحاملة للتحكم عن بعد؛ ولكل مدار تقريباً تُرسل الموجة الحاملة للتحكم عن بعد إلى كل ساتل (حسب الضرورة) من محطة أرضية TT&C في اليابان (36,53° شمالاً/140,39° شرقاً) ولكن بما أن الحضيض غير منظور من المحطة الأرضية، فإن المحطة الأرضية TT&C في استراليا (33,9° جنوباً/151,17° شرقاً) تضطلع بمهمة إرسال التحكم عن بعد إلى (واستقبال القياس عن بعد من) كل ساتل عندما يكون في إطار ±4 ساعات من الحضيض؛
- تكون المحطات الأرضية TT&C مزودة بهوائيات بقطر 10 أمتار، مصممة بحيث تتفق مع مخطط الهوائي الوارد ذكره في التوصية ITU-R S.580، وتقوم بتتبع الساتل الذي يتم إرسال إشارات التحكم عن بعد إليه؛ وبما أن التوصية ITU-R S.580 لا توفر سوى المخطط من درجة واحدة أو (λ/D)*100 أيهما الأصغر (في هذه الحالة

(λ/D)*100 هو الأصغر)، فإن الحاجة تبرز إلى استعمال مخطط فص رئيسي من توصية مختلفة. وقد استعمل التحليل الذي أُجري في هذا المثال مخطط التوصية ITU-R S.1428 المعدل للفص الرئيسي.

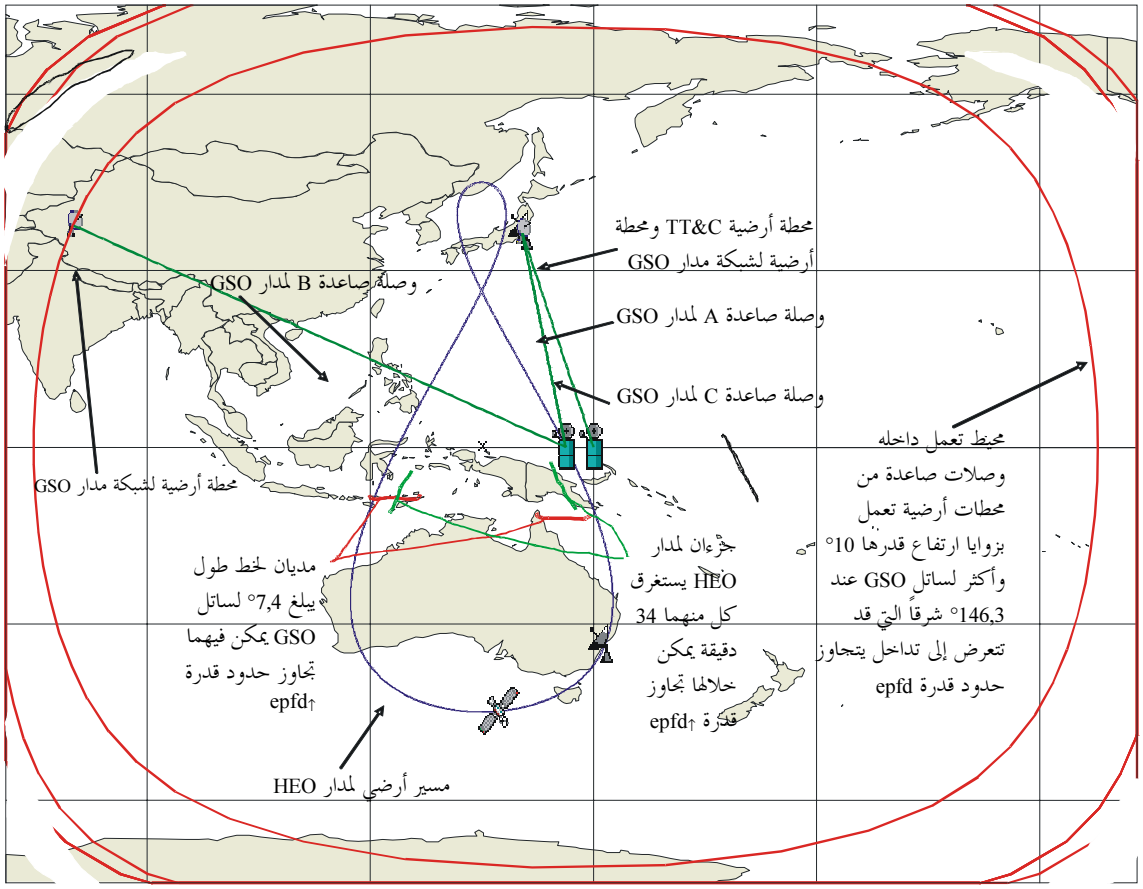
– هناك كسب ذروة مقداره 16 dBi لحزمة الإرسال للموجة الحاملة للقياس عن بعد واستقبال الموجة الحاملة للتحكم عن بعد على كل ساتل، حيث يقابل هذا الكسب عرض حزمة نصف قدرة يبلغ 30° تقريباً، وقد صمم ليلبي متطلبات التوصية ITU-R S.672؛ وينصب هوائي ساتل TT&C على المركبة الفضائية ويكون تسديده باتجاه الساتل الثانوي فيما عدا المرحلة التي يمر فيها الساتل خلال القوس النشط حيث يتم التحكم بتوجيهه من أجل الإبقاء على التسديد نحو اليابان.

ويرد في الشكلين 1 و3 توضيحاً للنظام حيث تظهر ثلاثة سواتل HEO تتبع مسلكاً أرضياً مكرراً، بينما تظهر في الشكلين المحطات الأرضية TT&C في اليابان وأستراليا. ويرد في الشكل 1 موجة حاملة للتحكم عن بعد تتداخل مع ثلاث وصلات صاعدة لمدار GSO، حيث تمثل الوصلة الصاعدة A أسوأ الحالات بسبب تداخل حزمة رئيسية إلى حزمة رئيسية (محطة أرضية لساتل HEO لخدمة TT&C إلى ساتل GSO) خلال اجتياز سواتل HEO لخط الاستواء؛ أما الوصلة الصاعدة B فهي وصلة من المحطة الأرضية لساتل GSO بارتفاع قدره 10° إلى ساتل في أسوأ حالة خط طول؛ بينما تمثل الوصلة الصاعدة C وصلة لساتل GSO بمسافة بعيدة بما فيه الكفاية من أحد أسوأ حالة خطي طول لتيسير استيفاء حدود قدرة epfd↑. كما يرجى ملاحظة أنه في حالة الوصلتين الصاعدتين A وC، تقع المحطة الأرضية لساتل GSO في موقع مشترك مع المحطة الأرضية TT&C لسواتل HEO. وبخصوص الوصلتين الصاعدتين A وB فإن خط طول GSO = 146,3° شرقاً. وبالنسبة للوصلة الصاعدة C، تقع المحطة الأرضية GSO على بعد 3,7° باتجاه الشرق عند 150,0° شرقاً.

ويوضح الشكل 3، على نحو مشابه، تداخل موجة حاملة للقياس عن بعد مع ثلاث وصلات هابطة GSO وهي D وE وF التي تتميز بطبيعة مشابهة للوصلات الصاعدة الثلاثة. وتمتلك الوصلة الهابطة F ساتل GSO ومحطة أرضية مقابلة على خط الاستواء، حيث يقع كلاهما عند خط طول = 121,4° شرقاً محسوبة لتكون بعيدة بما فيه الكفاية (2,3 درجة) من 123,7° شرقاً (واحدة من الحالتين الأسوأ لخطوط الطول) لتيسير استيفاء حدود قدرة epfd↓. وبخصوص الوصلتين الهابطتين D وE، فإن خط طول ساتل GSO = 123,7° شرقاً. وتقع المحطة الأرضية GSO للوصلة الهابطة D على خط الاستواء عند خط طول = 123,7° شرقاً أيضاً. كما تقع المحطة الأرضية GSO للوصلة الهابطة E في نقطة تبلغ زاوية ارتفاعها بالنسبة إلى ساتلها GSO 10°. يرجى ملاحظة أن للوصلتين D وF زاوية ارتفاع تبلغ 90° على حد سواء.

الشكل 1

مواضع مدارية مستقرة بالنسبة إلى الأرض ومواقع محطة أرضية لتحليل قدرة epfd للوصلة الصاعدة



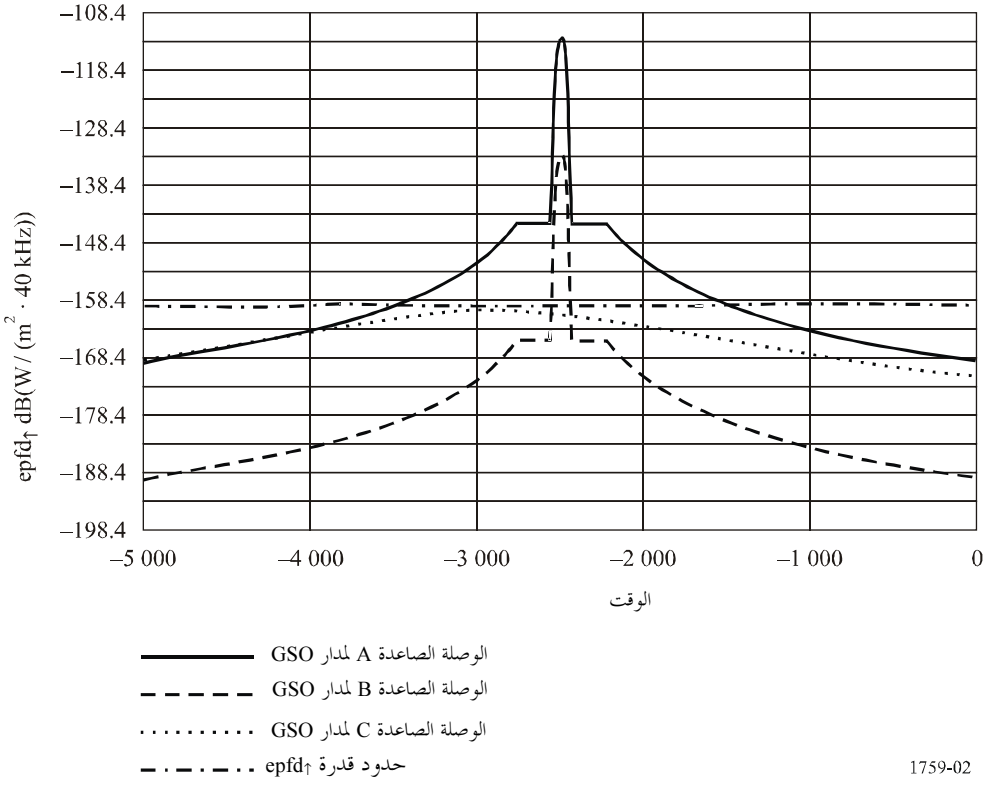
كما يرجى أيضاً ملاحظة أن القصد من انتقاء ثلاث وصلات GSO كمثال لكل حالة هو قياس الظروف التي يتم بموجبها تجاوز حدود قدرة epfd من الموجات الحاملة TT&C لنظام HEO المعني ما لم تتخذ إجراءات لتجنب ذلك. وعليه:

- تعد الوصلة A أسوأ حالة للوصلة الصاعدة لأن الساتل GSO يقع عند خط طول اجتياز خط الاستواء لنظام HEO مما سيؤدي إلى وضع الساتل GSO على نحو دوري في الحزمة الرئيسية للكسب العالي للمحطة الأرضية HEO TT&C؛
- وكذلك الحال بشأن الوصلة D التي تعد أسوأ حالة للوصلة الهابطة بسبب دخول الساتل HEO على نحو دوري إلى الحزمة الرئيسية لهوائي مستقبل المحطة الأرضية GSO؛
- وتتعلق الوصلتان B وE بسواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض GSO في أسوأ حالة خطوط طول قدر تعلق الأمر بالتداخل من نظام HEO، غير أن طول مسير التداخل هو الأقصى بالنسبة للوصلة E وأن المحطات الأرضية لمدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض لكلا الوصلتين تعمل بالارتفاع الأدنى؛ و
- كما تضم الوصلتان C وF سواتل GSO البعيدة بما فيه الكفاية، قدر تعلق الأمر بخط الطول، عن نقاط اجتياز HEO لخط الاستواء، بما يتيح استيفاء حدود قدرة epfd المقابلة عند أقصر مسير تداخل.

ويمثل الشكل 2 رسم بياني زمني للقدرة epfd↑ في الوصلات الصاعدة A وB وC عند اجتياز أحد سواتل HEO المستوى الاستوائي، حيث يعكس تجاوزاً كبيراً للحدود في الوصلتين الأولى والثانية خلال فترات زمنية محدودة لكنها تستوفي الحدود في حالة الوصلة C. بينما يعد الشكل 4 بمثابة دالة توزيع تراكمية لإحصائيات قدرة epfd↓ للوصلات الهابطة الثلاث لمدار GSO عبر فترة مدار كاملة، وهنا أيضاً يمكن ملاحظة أن قناع الحدود قد تم تجاوزه في الوصلتين D وE لكنه يستوفي الحدود في الوصلة F فقط.

الشكل 2

اختلاف قدرة epfd↑ خلال إرسال "في الخط"



3 تأثيرات التداخل من TT&C لمثال نظام HEO

تم وصف تأثيرات الموجات الحاملة للتحكم عن بعد في الشكل 1 ثم تم تقديرها كمياً في الشكل 2، ولخصت على الوجه التالي:

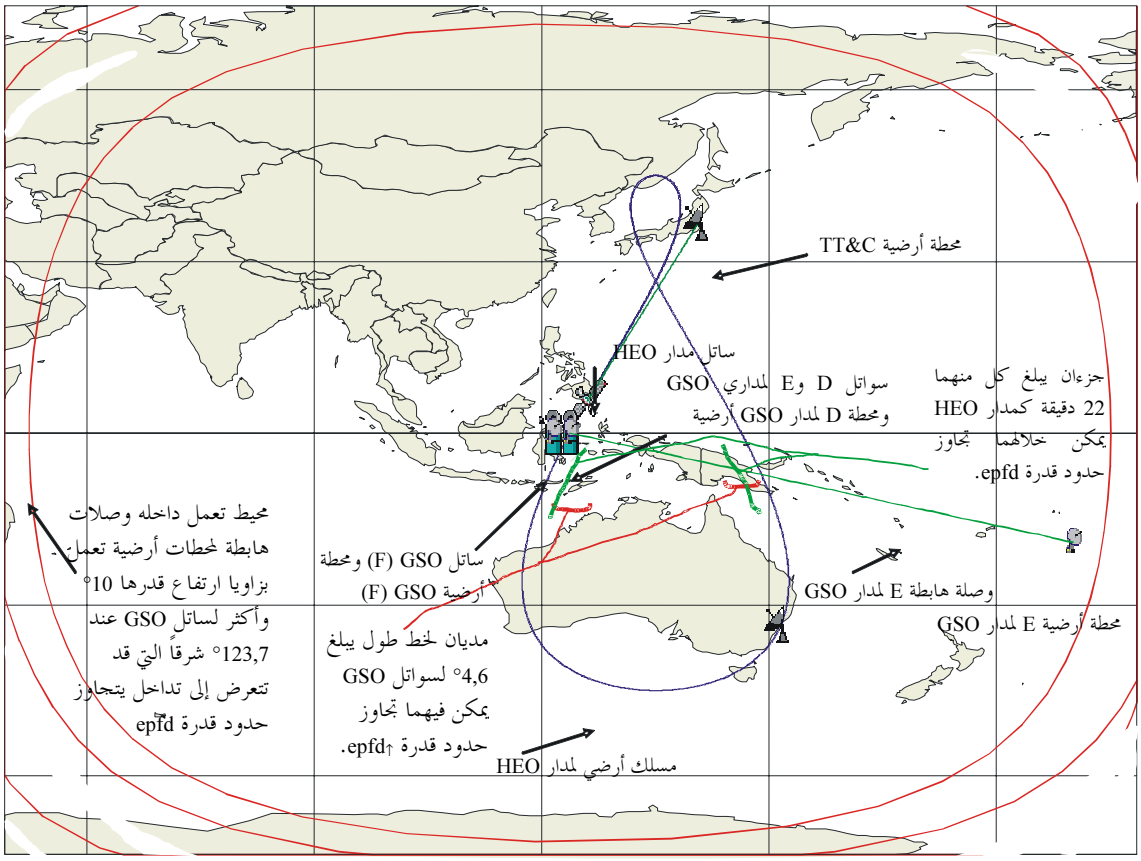
سيتم تجاوز حدود epfd↑ في نطاقات فرعية محددة 40 KHz في إطار عرض نطاق كلي يبلغ نحو 2 MHz. ولن تتأثر سوى الوصلات الصاعدة لسواتل GSO بخطوط طول في إطار مدين بمقدار 8,0°، والتي تتضمن نحو 14% من فجوات المدار المتوفر في المنطقة. وفي هذه الحالات سيتم تجاوز الحدود لفترتين تصل إلى 37,7 دقيقة لفترة المدار، تتضمن وقت أقصاه 5,25%. وفي أسوأ الحالات سيتم تجاوز الحدود بعشرات عديدة من وحدات dB عبر فترات زمنية تبلغ عشرات عديدة من الدقائق، وعلى الرغم من محدودية نسبة المحطات الأرضية التي ستتأثر وصلاتها الصاعدة، فإن هذه المحطات قد تكون عند أي موقع جغرافي في المنطقة.

ويرد في الشكل 3 وصف لتأثيرات الموجات الحاملة للقياس عن بعد، وتقدير كمّي لها في الشكل 4 والتذييل 1 للملحق 1 (انظر الشكل 5 والجدول 1)، وتم تلخيصها على النحو التالي:

سيتم تجاوز أقنعة حدود epfd↓ في نطاقات فرعية 40 KHz محددة داخل عرض نطاق إجمالي قدره حوالي 2,6 MHz. ولن تتأثر سوى الوصلات الهابطة من سواتل GSO على خطوط طول داخل مديين قدرهما 4,6°، تشكل نحو 9 بالمائة من فجوات المدار المتوفرة. وفي هذه الحالات لن يتم تجاوز قناع حدود epfd↓ للهوائيات ذات القطر 1,2 متراً سوى لفترتين تصل إلى 16,5 دقيقة لفترة المدار الواحد، حيث تشكّل أقصاها 2,3% من الوقت. وفي أسوأ الأحوال فإن أقصى مستوى لقدرة epfd↓ في قناع الحدود (أي نهاية الأمد القصير) سيتم تجاوزها بعدة وحدات dB، ويتم تجاوز جزء المدى المتوسط من القناع بمقدار 10-20 dB. وعلى الرغم من محدودية نسبة المحطات الأرضية التي ستتأثر وصلاتها الهابطة، فقد تكون تلك المحطات الأرضية عند أي موقع جغرافي في المنطقة.

الشكل 3

مواضع مدارية لسواتل GSO ومواقع محطات أرضية لتحليل قدرة epfd للوصلة الهابطة



1759-03

4 تقنيات التخفيف من تداخل محتمل

يقوم الجزءان التاليان تقنيات تم تحديدها من شأنها أن تخفف من التداخل على نحو جزئي أو كلي من إرسالات الوصلات الصاعدة والهابطة TT&C HEO إلى شبكات مدارات GSO. ويرد أدناه معلومات عن كل تقنية تم دراستها بشأن:

أ) كيف يمكن تنفيذ كل تقنية،

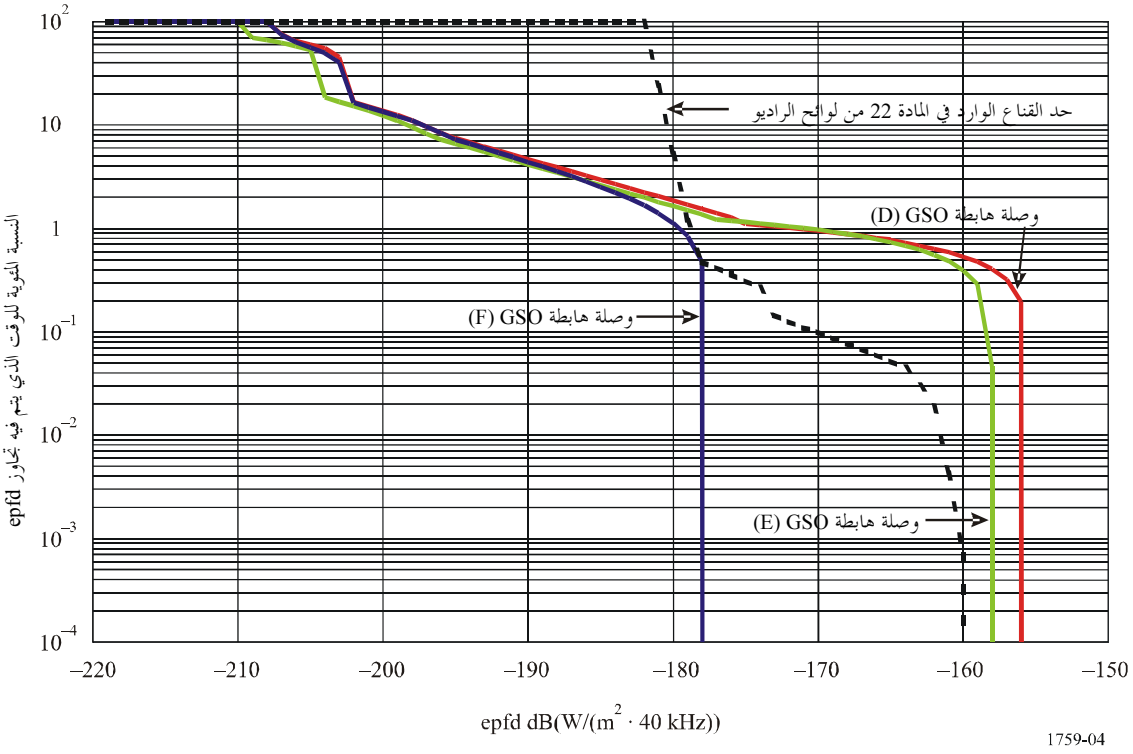
ب) المزايا المحتملة لكل تقنية لمشغلي مدار HEO،

ج) التحديات المحتملة وعيوب تنفيذ كل تقنية لمشغلي مدار HEO.

وخلال تصميم نظام TT&C HEO، بوسع مشغلي مدار HEO اختيار تنفيذ تقنية واحدة أو أكثر من تقنيات تخفيف التداخل المحددة، ودراسة المزايا والمساوئ، بما في ذلك تحديات التصميم من أجل الحفاظ على الاعتمادية والتقليل من تأثير الكلفة لكل منها.

الشكل 4

إحصاءات قدرة epfd↓ التراكمية لوصلات منتقاة
لمدار GSO مع هوائيات بقطر 1,2 متراً



1.4 احتمالات الوصلة الصاعدة

1.1.4 التوقف المؤقت للتحكم عن بُعْد: من الممكن تجنب التداخل إذا ما تيسر إرسال إشارات التحكم عن بعد غير الطارئة إلى سواتل HEO خارج أوقات الفترات الحرجة المبينة في الشكل 1. وإذا ما كان لزاماً لوظيفة ما أن تنفذ داخل ساتل خلال الفترة الحرجة، يمكن النظر في إمكانية إرسال الأمر قبل الفترة الحرجة وربط التأخير المناسب مع تنفيذ الأمر.

1.1.1.4 التنفيذ

- تتضمن أنظمة TT&C الحالية على نحو نموذجي وظيفة برمجية للسيطرة على تنفيذ توقيت التحكم عن بعد للوصلات الصاعدة من أجل توفير مرونة للعمليات الساتلية. وعليه من الممكن بسهولة تنفيذ تقنية التخفيف المشار إليها أعلاه عبر استعمال ملائم لهذه الوظيفة البرمجية.

- إذا كان من الضروري تفعيل بعض الأوامر خلال الفترة الحرجة، فبالإمكان توصيل هذه الأوامر بوصلات صاعدة قبل الفترة الحرجة، والتي تكون مخزونة في الساتل ليتم تفعيلها في الوقت الملائم.

2.1.1.4 المزايا

– في ضوء استعمال تقنية التخفيف أعلاه لإمكانية موجودة أساساً على نحو نموذجي في تطبيقات TT&C الحديثة، لن يتطلب توفير معدات إضافية أو برمجيات تشغيل لسواتل HEO والمحطات TT&C الأرضية الخاصة بها.

– توفر هذه التقنية بحد ذاتها وسائل مباشرة لوصلات التحكم عن بعد لسواتل HEO للالتزام على نحو كامل بحدود قدرة ↑epfd الواردة في المادة 22 من لوائح الراديو.

3.1.1.4 المساوئ

– تتضمن الفترة الحرجة العُقد التصاعدية والعُقد التنازلية لمدار HEO التي تعد مواضع مدارية مثالية لمناورات الإبقاء على المحطة. وتتطلب هذه المناورات عموماً ترتيب تفاعل وقت فعلي لتوصيل الوصلة الصاعدة للتحكم عن بعد وتوصيل الوصلة الهابطة للقياس عن بعد للساتل بالإضافة إلى معلومات عن الحالة. ومن الضروري على وجه العموم قبل تنشيط أجهزة دفع الساتل تدقيق معلومات القياس عن بعد للوقت الفعلي في المحطة الأرضية لأنظمة TT&C لكل محطة. وبناء على ما تقدم، ينبغي إجراء مناورات الإبقاء على المحطة عندما يكون الساتل خارج الوضع المثالي بعدة درجات مدارية. وسيتطلب هذا التقييد التشغيلي استهلاك وقود إضافي، الأمر الذي سيزيد من وزن سواتل HEO.

2.1.4 تمديد الطيف للتحكم عن بعد: من السهولة بمكان، من الناحية المبدئية، تقليل مستويات قدرة ↑epfd من خلال إضافة تشكيل تمديد الطيف إلى الموجات الحاملة للتحكم عن بعد لأنظمة HEO. أما خفض قدرة ↑epfd القصوى الواردة في الشكل 2 إلى الحدود المنظمة فسيتطلب نحو 45 dB من التمديد.

1.2.1.4 التنفيذ

– بالإمكان استعمال تقنية تخفيف التداخل هذه من خلال إضافة مُشكل تمديد الطيف (SS) إلى المحطات الأرضية لأنظمة TT&C ومزيل تشكيل تمديد الطيف SS لكل ساتل من سواتل HEO.

– يقتضي الاستعمال الفعال لتقنية تشكيل تمديد الطيف استعمال التشكيل المذكور خارج القوس النشط فقط بغية عدم التداخل مع وصلات الخدمة لنظام HEO. كما يمكن فرض قيد إضافي في استعمال التشكيل المذكور لكي يقتصر فقط على حالة الفترات الحرجة. وعندما يغادر ساتل HEO القوس النشط (أو يدنو من قوس فترة حرجة) في مداره، ترسل محطة أرضية TT&C أمراً بالتحول إلى إزالة تشكيل تمديد الطيف. وعندما يقترب الساتل من القوس النشط (أو يجتاز فترة حرجة)، ترسل محطة TT&C حينئذ أوامر من أجل التحول إلى التشكيل التقليدي. وبموجب عملية التحويل هذه، لن يتطلب الأمر من تشكيل تمديد الطيف سوى التمديد داخل النطاق المستعمل لوصلات الخدمة في تلك الفترات التي يكون فيها الساتل خارج القوس النشط. ويوفر تمديد نطاق SS إمكانية خفض ↑epfd. وفي حالة مثال نظام HEO، بالإمكان تحقيق خفض قدره 32 dB لقدرة ↑epfd باستعمال عرض نطاق 60 MHz لكل موجة حاملة للتحكم عن بعد. وإذا لم يكن استعمال هذه التقنية كافياً لاستيفاء حدود قدرة ↑epfd الواردة في المادة 22 من لوائح الراديو، ستبرز الحاجة إلى استعمال تقنيات تخفيف إضافية.

2.2.1.4 المزايا

– باستعمال تقنية تمديد نطاق SS المشار إليه أعلاه، ينبغي لعرض النطاق للوصلات الصاعدة للخدمة، التي لا تستخدم عادة خارج القوس النشط، أن يستعمل بشكل فاعل لتقليل قدرة epfd الصاعدة.

3.2.1.4 العيوب

– رغم أن استعمال تشكيل SS لأنظمة TT&C لا يعد تقنية حديثة، غير أن هذا الاستعمال ليس شائعاً في الوقت الحاضر. وعليه، فإن استعمال هذه التقنية سيتطلب تطوير معدات جديدة لتمديد SS لسواتل HEO والمحطات الأرضية لأنظمة TT&C.

3.1.4 تنوع المحطات الأرضية: يمكن مبدئياً خفض سويات ذروة ↑epfd بواسطة تنوع المحطات الأرضية لأنظمة TT&C. ومع ذلك، فقد اتضح في مثال نظام HEO أنه في الوقت الذي يتسبب فيه التوقيت المثالي للتسليم بين محطتين أرضيتين لأنظمة TT&C بتباعد أكثر من 000 8 كيلومتراً في تقليل سوية ↑epfd القصوى بنحو 15 dB، فإن الحدود ستبقى متجاوزة بعدة بتباعد وحدات من dB.

1.3.1.4 التنفيذ

– ستتطلب تقنية تخفيف التداخل هذه تحديد موقع المحطات الأرضية لنظام TT&C في موضعين أو أكثر بمسافة كافية بينهما. وبغية الحفاظ على زاوية فصل كافية من شبكات GSO، يُجرى تسليم المحطة طبقاً لموقع السواتل.

2.3.1.4 المزايا

– من شأن هذه الوسيلة أن تقلل من سوية ↑epfd القصوى، وإذا ما استعملت بالاقتران مع تقنيات التخفيف الأخرى قد تساعد في إمكانية استيفاء نظام HEO لحدود ↑epfd.

3.3.1.4 العيوب

– على الرغم من فاعليتها في مجال أنظمة سواتل (LEO)، ذات التصميم الهندسي القادر على الحفاظ بسهولة على زاوية فصل كافية من شبكات GSO، فإن التصميم الهندسي لأنظمة HEO على وجه العموم لا يسمح بحدوث فصل زوايا كاف من مدار GSO خلال الفترات التي تتجاوز فيها الموجات الحاملة للتحكم عن بعد حدود ↑epfd. وعليه فإن لهذه الوسيلة فاعلية محدودة قدر تعلق الأمر بأنظمة HEO.

– تبرز الحاجة إلى محطة أرضية إضافية أو أكثر لأنظمة TT&C بفصل جغرافي واسع (حيث ينبغي إنشاء وصلة اتصالات للأرض موثوق بها في هذا الفصل)، بينما لا تتضمن جميع أنظمة HEO هذه الخاصية.

4.1.4 هوائي استقبال التحكم عن بعد ذو الكسب العالي: تُستقبل الموجات الحاملة للتحكم عن بعد في مثال نظام HEO عبر حزمة ساتلية واسعة (بكسب ذروة يبلغ 16 dBi). وإذا ما استقبلت الوصلات الصاعدة للخدمة لمثل هذا النظام عبر حزمة كسب أعلى (مثل كسب ذروة قدره 30 dBi)، بالإمكان النظر في إمكانية تحويل استقبال التحكم عن بعد إلى تلك الحزمة، وبذلك يتيسر خفض قدرة e.i.r.p للمحطة الأرضية TT&C (بمقدار 14 dBi على سبيل المثال)، مما سيفضي إلى تخفيض مستوى ↑epfd القصوى بنفس القيمة. ومع ذلك، فإن الأمر يتطلب التحكم بحزمة الكسب العالي حتى إن كان ذلك خارج القوس النشط، مما قد يعقد تصميم الساتل.

1.4.1.4 التنفيذ

– يمكن تنفيذ تقنية تخفيف التداخل هذه من خلال ضم هوائي استقبال واحد أو أكثر إلى تجهيزات TT&C بحزمة موجهة وكسب عالٍ على سواتل HEO. وستقوم هذه الهوائيات الموجودة على متن السواتل بتتبع المحطات الأرضية لأنظمة TT&C على نحو متواصل. وستتضمن سواتل HEO أحكاماً تتعلق بتسليم محطات TT&C باستعمال تطبيقات تسليم الحزمة.

2.4.1.4 المزايا

– لن تبرز الحاجة إلى تجهيزات إضافية للمحطات الأرضية TT&C. كما يمكن، في الوقت نفسه، خفض الكسب المطلوب للمحطات المذكورة.

3.4.1.4 العيوب

– ينبغي لهوائي استقبال ساتل TT&C أن يكون ذا فتحة كبيرة بوظيفة تتبع عالية الدقة قادراً على بسط زاوية توجيه واسعة.

5.1.4 استعمال نطاقات SOS في التحكم عن بعد: إذا ما كان على إرسالات TT&C لنظام HEO المشار إليها أعلاه استعمال نطاقات التردد الموزعة على خدمة SOS بدلاً من نطاقات التردد المشار إليها أعلاه، فمن شأن ذلك حسم مشكلة عدم الالتزام بالمادة 22 من لوائح الراديو. وفي الوقت الذي سيفضي ذلك إلى حل مشكلة حدود قدرة epfd الوارد ذكرها في المادة 22 من اللوائح المذكورة في ضوء عدم انطباقها على نطاقات SOS، غير أن ظاهرة التداخل المادي في نطاق خدمة SOS ستبقى قائمة.

1.5.1.4 التنفيذ

– بالإمكان تنفيذ تقنية تخفيف التداخل هذه عبر نصب معدات تردد راديوي مستقلة (هوائي وHPA/SSPA وLNA ومحول، إلخ) لنظام TT&C (على السواتل والمحطات الأرضية) باستعمال نطاق تردد مختلف عن وصلات الخدمة.

2.5.1.4 المزايا

– لن تواجه عمليات TT&C لنظام HEO أية معوقات من حدود قدرة epfd الوارد ذكرها في المادة 22 من لوائح الراديو.

– في ضوء توزيع نطاقات SOS على نطاق S– أو نطاقات تردد أدنى، فإن الحفاظ على هامش وصلة TT&C كاف سيكون أيسر.

3.5.1.4 العيوب

– في الوقت الذي يكون فيه أي عرض نطاق موزعاً على خدمة SOS أضيق من النطاقات الخاضعة لحدود قدرة epfd، فقد يصبح تقاسم نطاقات التردد هذه مع الأنظمة الأخرى صعباً.

– لن يكون بوسع عمليات TT&C للمحطات الأرضية والساتل أن تتقاسم معدات التردد الراديوي المستعملة في وصلات الخدمة.

6.1.4 انتقاء تردد التحكم عن بعد: إذا ما أُخذ في الاعتبار أن الوصلات الصاعدة لأنظمة TT&C لكل نظام ساتلي تحتل مقداراً محدوداً من MHz من عرض النطاق، فبالإمكان التخفيف من حدة المشكلة إذا ما اقتصرت الموجات الحاملة للتحكم عن بعد لجميع الأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض على مدى التردد لبضع وحدات من MHz.

1.6.1.4 التنفيذ

– ينبغي لترددات التحكم عن بعد المنتقاة أن تكون، لأقصى قدر مستطاع، خارج عرض نطاقات المرسل – المستجيب وعرض نطاقات تردد TT&C لمدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض قرب خطوط طول اجتياز خط الاستواء مدار HEO.

2.6.1.4 المزايا

– يعد هذا الخيار دقيقاً قدر تعلق الأمر بأنظمة GSO التي تتواجد عند الإشعار توثيق نظام HEO.

3.6.1.4 العيوب

– نظراً لكون أنظمة HEO تعد أنظمة مدار لسواتل غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض، فإن لوائح الراديو الحالية لا تسمح لهذه الوسيلة بأن تحسم المشكلة في النطاقات التي تطبق حدود ↑epfd الواردة في المادة 22 من لوائح الراديو. وبناءً على ما تقدم، فليس من شأن مثل هذه الوسيلة في هذه النطاقات سوى أن تحد من نطاق المشكلة.

– قد لا تتضمن الخدمات الفضائية (BR IFIC) معلومات كاملة بشأن ترددات التحكم عن بعد المستعملة من قبل شبكات GSO التي يمكن أن تكون قد تعرضت إلى أضرار.

7.1.4 وصلات مشتركة بين السواتل: في حالة تنفيذ وصلات مشتركة بين السواتل في نظام HEO، أو بين هذه السواتل ونظام ساتلي لترحيل البيانات، يمكن عندها إرسال أوامر التحكم عن بعد إلى ساتل HEO يكون داخل أو قرب القوس النشط أو إلى ساتل ترحيل بيانات ومن ثم يتم ترحيلها خلال الوصلات المشتركة إلى سواتل أخرى.

1.7.1.4 التنفيذ

– قد يتسنى تنفيذ هذه التقنية بمعدات إضافية على كل ساتل من سواتل HEO لوصلات TT&C المشتركة بين السواتل.

2.7.1.4 المزايا

– بالإمكان التحكم بجميع السواتل وفي كل الأوقات من المحطات الأرضية TT&C الرئيسية دون احتمال تداخل وصلة صاعدة على شبكات GSO.

– تأثير أدنى على المحطات الأرضية TT&C ؛ ولا حاجة إلى محطات أرضية TT&C عن بعد.

3.7.1.4 العيوب

– ستتحمل السواتل عبء تجهيزات إضافية للوصلة المشتركة بين السواتل وعبء التقاط وتتبع تحكم هوائي الوصلة المشتركة.

– سيتطلب الساتل وسيلة TT&C بديلة في حالة حدوث عطل للوصلة المشتركة.

– وقد تفرض هذه التقنية تحديات إضافية بالنسبة للتصميم إذ سيكون نظام HEO مطالباً بتجنب إمكانية حدوث تداخل على شبكات GSO والذي قد يحدث جراء التصميم الهندسي للوصلة المشتركة بين السواتل لنظام HEO.

2.4 إمكانيات الوصلة الهابطة

1.2.4 الوقف المؤقت للقياس عن بعد: كان من الممكن القضاء على المشكلة لو تيسر وقف إرسال الموجة الحاملة للقياس عن بعد من كل ساتل من سواتل HEO خلال الفترات الحرجة (مثال، لفترتين تبلغ كل منهما 22 دقيقة في اليوم الواحد كما هو مبين في الشكل 3). وفي حالة تنفيذ هذا الحل، وحدث عطل في الساتل خلال واحدة من الفترات الحرجة، لن يكتشف المعنيون في المحطة الأرضية TT&C هذا العطل لحين استئناف إرسال الموجة الحاملة للقياس عن بعد.

ويقدم التذييل 1 بالملحق 1 وسيلة تكرارية يمكن أن تستعمل لتحديد الحد الأدنى لفترة الإغلاق بالنسبة للقياس عن بعد لمدار HEO. ويشتمل ذلك على تحديد دقيق للأوقات/مواقع المدار التي يتم عندها إغلاق (وتشغيل) موجة حاملة للقياس عن بعد لساتل HEO محدد وذلك بغية استيفاء حدود قدرة epfd↓ ذات الصلة.

1.1.2.4 التنفيذ

- تتضمن أنظمة TT&C الحالية، على نحو نموذجي، وظيفة برمجية تيسر التحكم بإرسالات القياس عن بعد للوصلة الهابطة مما يوفر مرونة لعمليات الساتل. وعليه، بإمكان تقنية التخفيف المذكورة أعلاه أن تنفّذ على نحو يسير عبر استعمال ملائم لهذه الوظيفة البرمجية لتوجيه الأوامر إلى الساتل بإيقاف إرسالات القياس عن بعد خلال الفترة الحرجة واستئنافها بعد الفترات الحرجة مباشرة.
- خلال الفترات الحرجة، يُقدّر موضع واتجاه الساتل في المحطات الأرضية TT&C باستعمال خوارزميات التنبؤ المداري.

2.1.2.4 المزايا

- لا تتطلب هذه التقنية معدات إضافية لسواتل HEO أو المحطات الأرضية TT&C.
- تقدم هذه التقنية بحد ذاتها وسيلة مباشرة لوصلات القياس عن بعد لمدار HEO للالتزام بشكل كامل بحدود قدرة epfd↓ الواردة في المادة 22 من لوائح الراديو.

3.1.2.4 العيوب

- لن تتوفر بيانات القياس عن بعد للمحطات الأرضية TT&C خلال الفترات التي يتم فيها عادة تجاوز قناع قدرة epfd↓. وتتضمن هذه الفترات العقدة التصاعدية والعقدة التنازلية لمدار HEO التي تعد أوضاعاً مدارية مثالية لمناورات إبقاء المحطة. وتتطلب عادةً مناورات الإبقاء على المحطة تراتب تفاعل وقت فعلي لأوامر التحكم عن بعد من الوصلات الصاعدة والقياس عن بعد لساتل عبر الوصلات الهابطة والمعلومات الخاصة بالوضع. وقبل تنشيط أجهزة الدفع، من الضروري عادةً تدقيق معلومات القياس عن بعد للوقت الفعلي في المحطة الأرضية TT&C. ونتيجة لذلك، يتحتم إجراء مناورات الإبقاء على المحطة عندما يكون الساتل خارج الوضع المثالي بعدة درجات مدارية. ويتطلب هذا التقييد التشغيلي استهلاك وقود إضافي مما يزيد من وزن سواتل HEO.
- إذا ما وقع عطل ما في نظام السيطرة على وضع ساتل HEO أو أية مشكلة أخرى من شأنها أن تؤثر على مدار الساتل خلال فترة عدم التشغيل، لن يتمكن مشغل الساتل من تلقي بيانات موثوقة تخص المشكلة لبعض الوقت نظراً لتوقف إرسالات القياس عن بعد. ومن شأن ذلك أن يعيق إمكانية مشغل الساتل في تنفيذ إجراءات تصحيحية.
- كما يفضي الوقف المؤقت للقياس عن بعد إلى نقص حاد لإتاحية التشغيلية. ووفقاً للتوصية ITU-R S.1716، تبلغ الإتاحية النموذجية للوصلات الهابطة للقياس عن بعد في النطاق 14/12 GHz 99,99%، مما يعني وجود 0,01% من عدم الإتاحية. وفي حالة مثال النظام HEO، يبلغ مقدار عدم الإتاحية التي يسببها الوقت المؤقت للقياس عن بعد 3,1% (100 x 24 h/(2 x 22 min)) بالإضافة إلى عدم إتاحية بسبب التوهين الناتج عن المطر، إلخ، والتي تعد أسوأ ثلاثمائة مرة من القيمة النموذجية الموصى بها في التوصية ITU-R S.1716.

2.2.4 تمديد الطيف للقياس عن بعد: مبدئياً، من الممكن خفض إحصائيات قدرة epfd↓ من خلال إضافة تشكيل تمديد الطيف إلى الموجات الحاملة للقياس عن بعد لأنظمة HEO. وتعكس نتائج المثال في الشكل 4 الحاجة إلى نحو 20 dB من التمديد لتلبية متطلبات قناع الحدود على نحو كامل في أسوأ الظروف، الأمر الذي يتطلب نحو 4 MHz من عرض النطاق

لكل موجة حاملة للقياس عن بعد. غير أن احتمالاً بديلاً قد يكون ممكناً من خلال إضافة تمديد داخل عرض نطاق الموجة الحاملة المخصصة فقط؛ ويبلغ عرض النطاق في المثال الحالي 605 KHz مما يتيح تمديدا قدره نحو 12 dB.

1.2.2.4 التنفيذ

- بالإمكان تنفيذ تقنية تخفيف التداخل هذه من خلال إضافة مزيل تشكيل تمديد طيف إلى المحطات الأرضية TT&C ومشكل تمديد طيف لكل ساتل من سواتل HEO.

- يحتم الاستعمال الفاعل لآلية تشكيل تمديد الطيف استعمال التشكيل المذكور فقط خلال الفترات التي تكون فيها سويات قدرة epfd↓ حرجة. وعندما يدنو ساتل HEO فترة حرجة في مداره، ترسل محطة أرضية TT&C أوامر للتحول إلى تشكيل تمديد طيف، وعندما يذهب الساتل خارج الفترة الحرجة، تقوم محطة TT&C حينئذ بإصدار أوامر للتحول ثانية إلى التشكيل التقليدي. وبعملية التحويل هذه، ينبغي على عرض نطاق تشكيل تمديد الطيف فقط أن يمتد داخل النطاق المستعمل في وصلات الخدمة في تلك الفترات التي يكون فيها الساتل خارج القوس النشط. ويوفر تمديد نطاق تمديد الطيف هذا إمكانية خفض قدرة epfd↓. وفي حالة مثال نظام HEO، يمكن إجراء خفض قدرة epfd↓ بمقدار 20 dB باستعمال عرض نطاق قدره 4 MHz.

2.2.2.4 المزايا

- بتقنية تمديد نطاق تمديد الطيف المشار إليها أعلاه، سيستعمل عرض نطاق الوصلات الهابطة للخدمة، الذي لا يستعمل عادة خارج القوس النشط، على نحو فاعل، كما سيكون للتقنية إمكانية تلبية متطلبات أقنعة epfd↓ دون الحاجة إلى تخفيف إضافي.

3.2.2.4 العيوب

- رغم أن استعمال تشكيل تمديد طيف في أنظمة TT&C لا يعد تقنية حديثة، إلا أن هذا الاستعمال ليس شائعاً في الوقت الحاضر. وعليه، يقتضي تطوير تجهيزات جديدة لتمديد الطيف لسواتل HEO والمحطات الأرضية TT&C لتنفيذ هذه التقنية.

3.2.4 هوائي إرسال قياس عن بعد ذو كسب عال: تُرسل كل موجة حاملة للقياس عن بعد في مثال نظام HEO عبر حزمة ساتل واسعة (عرض الحزمة يبلغ 30°). وإذا ما تمّ إرسال الوصلات الهابطة للخدمة لمثل هذا النظام عبر حزمة كسب أعلى (مثل عرض حزمة قدرها 6°)، فبالإمكان دراسة إمكانية نقل إشارات القياس عن بعد إلى تلك الحزمة، وبذلك يقتصر تجاوز حدود قدرة epfd↓ على منطقة جغرافية أصغر. وفي حالة النظام المثال، سيكون ذلك عملياً فقط إذا تم تغطية المحطتين الأرضيتين TT&C على حد سواء بحزمة (أو حزم) كسب أعلى. غير أن هذا يتطلب التحكم بحزمة الكسب العالي حتى خارج القوس النشط، الذي قد يعقد التصميم التقني للسواتل.

1.2.3.4 التنفيذ

- بالإمكان تنفيذ تقنية تخفيف التداخل هذه عبر ضم هوائي إرسال حزمة موجهة بكسب عال إلى كل ساتل HEO. وتستعمل هذه الهوائيات الموجودة على متن السواتل لإرسالات الوصلة الهابطة للخدمة خلال جزء القوس النشط من مدار HEO. وستستعمل كذلك لإرسالات الوصلة الهابطة للقياس عن بعد خلال الفترات الحرجة حيث سيتواصل خلالها تتبع المحطات الأرضية TT&C.

2.2.3.4 المزايا

- سيقتصر أي تجاوز لحدود قدرة epfd↓ لمحطات TT&C على منطقة جغرافية أصغر مما سيحد من عدد المحطات الأرضية GSO التي يحتمل أن تكون قد تأثرت بذلك التجاوز.
- لا توجد حاجة إلى تجهيزات إضافية للمحطات الأرضية TT&C.
- ستنخفض قدرة إرسال الساتل بسبب كسب الهوائي عالي الإرسال الذي من شأنه أن يوفّر من استهلاك الطاقة على متن الساتل.

3.2.3.4 العيوب

- ينبغي لهوائي إرسال الكسب العالي للساتل أن يكون ذا فتحة كبيرة بوظيفة تتبع عالية الدقة قادرة على تغطية زاوية توجيه عريضة إلى حد كبير.
- حتى في حالة احتواء تصميم ساتل HEO على حزمة كسب عالي للوصلات الهابطة للخدمة، تتطلب هذه التقنية تحكماً بحزمة الكسب العالي حتى في خارج القوس النشط، الأمر الذي قد يعقد التصميم التقني للسواتل.

4.2.4 استعمال نطاقات خدمة العمليات الفضائية SOS للقياس عن بعد: إذا ما كان على إرسالات TT&C لنظام HEO المشار إليه أعلاه أن تستعمل نطاقات التردد الموزعة على خدمة SOS بدلاً من نطاقات التردد المشار إليها أعلاه، فمن شأن ذلك حسم مشكلة عدم الالتزام بالمادة 22 من لوائح الراديو. وفي الوقت الذي من شأنه أن يزيل المشكلة المتعلقة بحدود قدرة epfd الواردة في المادة 22 من لوائح الراديو حيث لا تنطبق هذه الحدود على نطاقات خدمة SOS فإن ظاهرة التداخل المادي في قناة SOS ستبقى قائمة.

1.4.2.4 التنفيذ

- بالإمكان تنفيذ تقنية تخفيف التداخل هذه من خلال نصب تجهيزات ترددراديوي مستقلة (هوائي وHPA/SSPA وLNA ومحولة، إلخ) لنظام القياس عن بعد (على سواتل ومحطات أرضية) باستعمال نطاق تردد مختلف عن وصلات الخدمة.

2.4.2.4 المزايا

- لن تُقيَّد عمليات الوصلة الهابطة TT&C لنظام HEO بحدود قدرة epfd الواردة في المادة 22 من لوائح الراديو.
- نظراً لتوزيع نطاقات خدمة SOS على النطاق S أو على نطاقات تردد أدنى، سيكون من السهولة بمكان الحفاظ على هامش وصلة TT&C كاف.

3.4.2.4 العيوب

- بما أن كل عرض نطاق موزع على خدمة SOS هو أضيق من النطاقات الخاضعة لحدود قدرة epfd، فقد يكون تقاسم نطاقات التردد هذه مع الأنظمة الأخرى صعباً.
- لن يكون بوسع عمليات الساتل والمحطة الأرضية TT&C تقاسم تجهيزات التردد الراديوي المستعملة في وصلات الخدمة.

5.2.4 انتقاء تردد القياس عن بعد: في ضوء شغل الوصلات الهابطة لمحطات TT&C لكل نظام ساتلي لعرض نطاق بعدد محدود فقط من وحدات MHz، بالإمكان التقليل من حدة المشكلة في حالة اقتصار الموجات الحاملة للقياس عن بعد لجميع أنظمة مدار السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض على مدى التردد ذاته الذي يبلغ بضعة وحدات من MHz.

1.5.2.4 التنفيذ

– ينبغي لترددات القياس عن بعد المنتقاة أن تكون، قدر المستطاع، خارج عرض نطاقات المرسل/المستجيب وعرض نطاقات تردد TT&C لسواتل GSO قرب خطوط طول اجتياز خط استواء أنظمة HEO.

2.5.2.4 المزايا

– يعد هذا الخيار جيداً قدر تعلق الأمر بأنظمة GSO التي تتواجد عند الإشعار بنظام HEO.

3.5.2.4 العيوب

– في ضوء عدم اعتبار أنظمة HEO أنظمة مدار ساتل غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض، فإن لوائح الراديو الحالية لا تتيح لهذه الوسيلة إيجاد حل للمشكلة في النطاقات التي تنطبق عليها حدود قدرة ↓epfd المشار اليها في المادة 22 من لوائح الراديو. وعليه لا يمكن لهذه الوسيلة في مثل هذه النطاقات سوى أن تخفف من حدة المشكلة. ولا تسمح لوائح الراديو الحالية للوصلات الهابطة TT&C لأنظمة HEO أن تتجاوز حدود قدرة ↓epfd الوارد ذكرها في المادة 22 من لوائح الراديو، مع الاستثناء المحتمل والمسموح به بموجب الرقم 5CA.22: "***5CA.22*** *2) يمكن تجاوز الحدود الواردة في الجداول من* ***22-1A*** *إلى* ***22-1E*** *على أراضي أي بلد وافقت إدارته على ذلك (انظر أيضاً القرار* ***(WRC-03) 140***". ومع ذلك، ونظراً لاستعمال الوصلة الهابطة TT&C لمثال نظام HEO لحزمة عالمية، ينبغي ملاحظة أن العدد الإجمالي للبلدان التي يتطلب الحصول على موافقتها قد يكون كبيراً جداً.

– قد لا تتضمن نشرة معلومات التردد الدولية (IFIC) معلومات وافية عن ترددات القياس عن بعد التي يمكن أن تستعمل من قبل شبكات GSO التي يحتمل تأثرها.

6.2.4 الوصلات المشتركة بين السواتل: في حالة تنفيذ الوصلات المشتركة بين السواتل في نظام HEO، أو بين هذه السواتل ونظام ساتل ترحيل بيانات، يمكن حينئذ إرسال القياس عن بعد عبر وصلة مشتركة إلى ساتل HEO يكون في أو قرب القوس النشط أو إلى ساتل ترحيل بيانات، ومن هناك إلى الأرض.

1.6.2.4 التنفيذ

– بالإمكان تنفيذ هذه التقنية بمعدات إضافية على كل ساتل بالنسبة للوصلات المشتركة بين سواتل TT&C.

2.6.2.4 المزايا

– يكون إرسال القياس عن بعد من جميع السواتل في جميع الأوقات إلى المحطات الأرضية TT&C الرئيسية متاحاً دون احتمال وقوع تداخل من وصلة هابطة إلى شبكات GSO.

– تأثير أدنى على المحطات الأرضية TT&C؛ لا يوجد حاجة إلى محطات أرضية TT&C بعيدة.

3.6.2.4 العيوب

– ستتحمل السواتل عبء تجهيزات إضافية خاصة بالوصلة المشتركة، وعبء التقاط وتتبع تحكم هوائي الوصلة المشتركة.

- ستحتاج السواتل إلى وسيلة TT&C بديله في حالة عطل الوصلة المشتركة بين السواتل.
- قد تتسبب هذه التقنية بتحديات تصميم إضافية بسبب الحاجة إلى نظام HEO من أجل تجنب التداخل المحتمل على شبكات GSO الذي قد يحدث بسبب التصميم الهندسي للوصلة المشتركة لنظام HEO.

ينص الرقم 5CA.22 الذي اعتُمِدَ من جانب المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية عام 2000 وعدله المؤتمر المذكور عام 2003 إلى "بالإمكان تجاوز حدود قدرة ($epfd_{\downarrow}$) الواردة في الجداول 22-1A لغاية 22-1E على أراضي أي بلد وافقت إدارته على ذلك". ويهيئ ذلك حلولاً لمشكلة الوصلة الهابطة يمكن التوصل إليها عبر الاتفاق المسبق بين إدارة ساعية لتشغيل موجات حاملة للقياس عن بعد من سواتل HEO في نطاق خدمة FSS تبعاً لحدود قدرة $epfd_{\downarrow}$، وإدارات كل من البلدان التي تغطيها الحزمة التي تُرسل عبرها الموجات الحاملة للقياس عن بعد. ومع ذلك، قد يستغرق هذا الإجراء وقتاً طويلاً (لكي تتوصل الإدارات المعنية إلى اتفاق). وعليه، فمن المفضل النظر أولاً في الاحتمالات أعلاه.

قد تؤخذ الاحتمالات أعلاه في الحسبان استناداً إلى تقدير الأطراف المعنية في أية اجتماعات ثنائية بموجب حكم لوائح الراديو رقم 5CA.22.

5 الخلاصة

تُظهر الاعتبارات آنفة الذكر احتمال وجود إمكانيات عديدة لتجاوز تحديات تشغيل وصلات TT&C لأنظمة HEO العاملة في النطاقات الخاضعة لحدود قدرة epfd الوارد ذكرها في الفقرة 22 من لوائح الراديو في وقت يتم فيه تقديم حماية ملائمة لأنظمة GSO العاملة في هذه النطاقات. ويلاحظ أن هذه التقنيات ستكون ذات فائدة أيضاً قدر تعلق الأمر بنطاقات أخرى لخدمة FSS المتقاسمة بين شبكات GSO وبين شبيهتها غير المستقرة. وسيتطلب الأمر مزيداً من الدراسات لتحديد أي من تقنيات تخفيف التداخل المحتملة هذه، ستكون أكثر ملائمة لأي نظام HEO محدد.

التذييل 1
للملحق 1

منهجية تحديد الحد الأدنى لفترات الإغلاق للموجات الحاملة للقياس عن بعد لساتل HEO للالتزام بحدود $epfd_{\downarrow}$ الوارد ذكرها في المادة 22 من لوائح الراديو

فيما يلي وصف لوسيلة تكرار يمكن أن تستعمل لتحديد الأوقات/خطوط عرض المدار الدقيقة التي يتم عندها إغلاق (وتشغيل) الموجات الحاملة للقياس عن بعد لساتل HEO معين بغية استيفاء حدود قدرة $epfd_{\downarrow}$ ذات الصلة.

وكما تم توضيحه في الفقرة 1.2.4 من الملحق 1، بالإمكان تجنب أية تجاوزات ذات صلة بقناع حدود قدرة $epfd_{\downarrow}$ الوارد ذكرها في المادة 22 من لوائح الراديو لحجم معين لهوائي محطة أرضية GSO بنطاق تردد معين من خلال إغلاق كل موجة حاملة للقياس عن بعد خلال كل فترة يجتاز فيها ساتلها المستوي الاستوائي. وسيعتمد الحد الأدنى للفترة، وأوقات إغلاقها وتشغيلها الدقيقة، لتلبية متطلبات قناع حدود قدرة $epfd_{\downarrow}$ ذي الصلة على الخصائص المدارية لنظام HEO وخصائص الإرسال لموجاته الحاملة للقياس عن بعد.

وبافتراض، كما هو الحال مع نظام المثال الموضح في الفقرة 2 من الملحق 1 (N-SAT-HEO2)، أن لكل ساتل HEO داخل النظام تردده الخاص للموجة الحاملة للقياس عن بعد وما عدا ذلك فإن لجميع الموجات الحاملة معلمات إرسال متشابهة، من الضروري فقط تحديد الحد الأدنى لفترة إغلاق ساتل واحد. وستكون الفترة واحدة لكل من السواتل الأخرى في النظام، كما

ستختلف أوقات الإغلاق والتشغيل الدقيقة بفواصل يتم تعيينها بواسطة خصائص المدار وعدد السواتل التي تتبع المسلك الأرضي ذاته.

وفي ضوء اعتبار نظام N-SAT-HEO2 مثالاً، يمكن إعداد نموذج محاكاة حاسوب لوضع نموذج للسيناريو الخاص بأسوأ حالات التداخل كما هو موضح في الشكل 3 من الملحق، واستعماله لحساب سوية ↓epfd في هوائي محطة أرضية GSO مرجعية (مثال بقطر 1,2 متراً) في أسوأ حالات المواقع، ويُشغل ساتل GSO في خط طول في أسوأ الحالات. (وكما تم توضيحه في الملحق، فإن أسوأ حالتين عندما يكون فيهما الساتل GSO ومحطته الأرضية المرجعية على حد سواء عند خط عرض بدرجة صفر وخط طول يقابل واحدة من نقاط اجتياز HEO لخط الاستواء، إما بدرجة 123,7 شرقاً أو 146,3 درجة شرقاً). وتُجرى المحاكاة موضوع البحث لفترة مدار كامل (163 86 ثانية = 1 يوم نجمي) بقدرة ↓epfd محسوبة لكل قفزة زمنية (تعد قفزات زمنية مقدار كل منها 10 ثانية صحيحة كافية لهذا المثال). وتوضع بعد ذلك النتائج على شكل رسم بياني لدالّة توزيع تراكمي (CDF) للنسبة المئوية للوقت مقابل قدرة ↓epfd. ويمثل المنحني الخاص بالوصلة D في الشكل 4 من الملحق هذه الحالة.

ويُلاحظ أيضاً أن اجتياز خط الاستواء يحدث عند درجة 123,7 شرقاً عندما يكون الساتل (يبدأ عند الحضيض) على بعد حوالي ثلاثة أرباع الطريق حول مداره عند اتجاه الساعة 23 ساعة و56 دقيقة، وبالإمكان إعادة المحاكاة أعلاه باستعمال قفزة زمنية واسعة لغاية اتجاه الساعة 17 ساعة في المدار. وانطلاقاً من تلك النقطة، بالإمكان تجزئة المحاكاة باستعمال قفزة زمنية صغيرة لحين وصول مستوى ↓epfd إلى القيمة التي يتقاطع عندها منحنى الوصلة D مع قناع المادة 22 (أي نحو −179 dBW/m^2/لكل 40 KHz في هذا المثال). كما يمكن ملاحظة الوقت الذّي يحدث فيه "تقاطع القناع". وقد يتسنى للمحاكاة أن تستمر بعد ذلك باستعمال قفزة زمنية صغيرة لحين وصول مستوى ↓epfd إلى ذروة يكون عندها الساتل فوق خط الاستواء مباشرة ثم يعود ثانية إلى الوصلة D "قيمة تقاطع القناع"، ويتاح حينئذ ملاحظة هذا الوقت. ويمكن حينئذ للمحاكاة أن تتوقف وإجراء تعديل على النموذج يكفل إغلاق الموجة الحاملة للقياس عن بعد بين الوقتين الملاحظين على نحو فعال. (في المحاكاة، قد يتيسر إعداد نموذج لإقفال الموجة الحاملة للقياس عن بعد بوضع قدرة مشعة مكافئة متناحية EIRP بقيمة مهملة للفاصل بين الوقتين). ويمكن بعد ذلك إجراء المحاكاة بالشكل الذي تم تعديله، وتحويل النتائج إلى دالة CDF جديدة. وسيتبيَّن أن دالة CDF هذه أدنى إلى حد كبير من قناع المادة 22 الوارد ذكره في لوائح الراديو عند كل النقاط. (انظر المنحنى (c) في الشكل 5).

كما يمكن بعد ذلك إجراء تعديل إضافي للنموذج لتقليل فترة الإغلاق بنحو ثلث الفترة الواردة في الفقرة السابقة، ولكن مع نفس مركز الوقت تقريباً، وتكرار المحاكاة للحصول على دالة CDF المقابلة. ومن المتوقع أن تتجاوز الدالة المذكورة القناع الوارد ذكرها في المادة 22 من لوائح الراديو لمديات كبيرة من قدرة epfd.(انظر المنحنى (d) في الشكل 5).

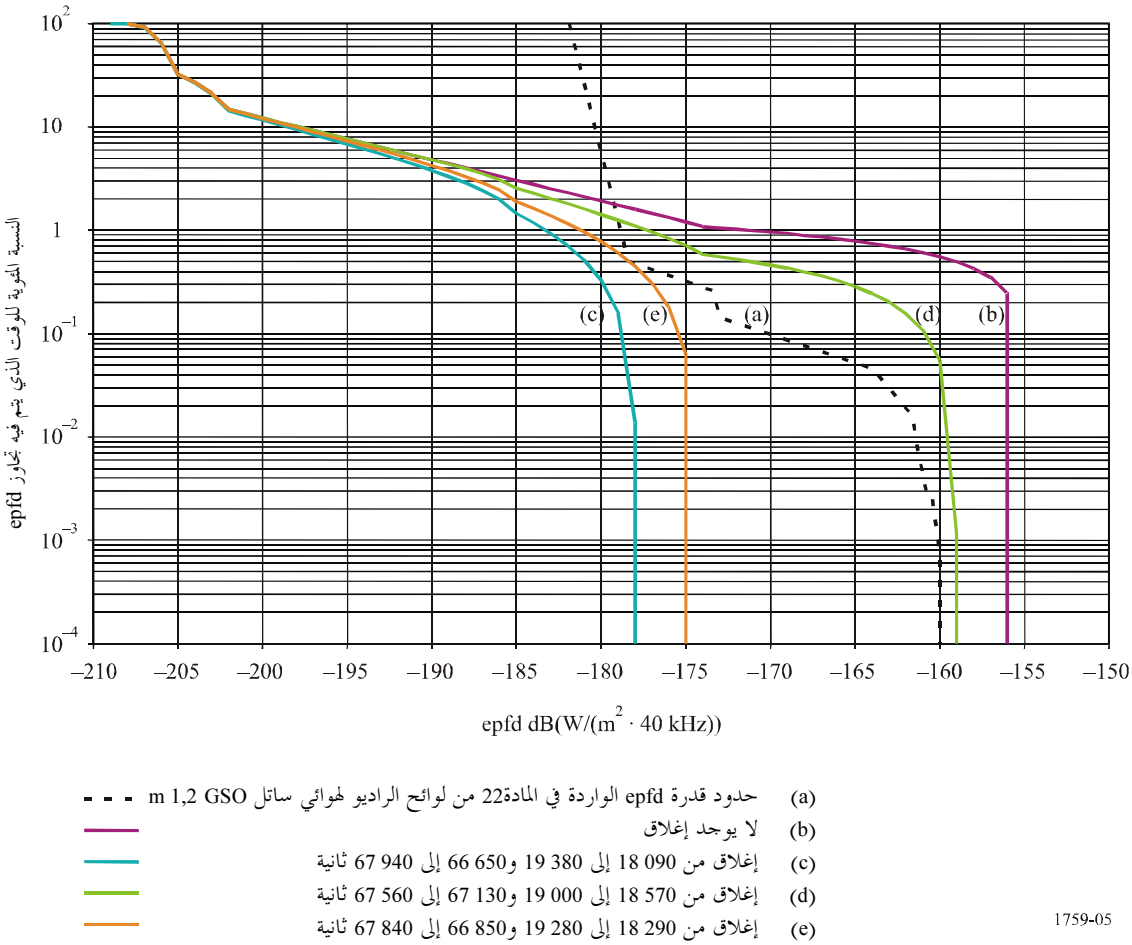
ومن شأن النتائج المستنبطة من الفقرتين السابقتين أن تمكن وقتي التشغيل والإغلاق التقريبيين من إنتاج دالة CDF تلبي بالكاد متطلبات القناع المشار إليه في المادة 22 من لوائح الراديو ليتم تقديره من خلال انتقاء أوقات تكون بين القيمتين الناتجتين من المنحيين C وD. كما يمكن إجراء محاكاة أخرى باستعمال هذه الأوقات. وإذا لم يتم التوصيل إلى دالة CDF مثالية، فمن شأن تكرار إضافي للعملية أن يقدم نتيجة دقيقة على نحو مرضٍ.

وقد أجريت الخطوات السابقة لنظام N-SAT-HEO2 وهوائي قطره 1,2 متراً لمحطة أرضية GSO، لموجة حاملة للقياس عن بعد بتردد قدره 12,25 GHz. وتظهر دالات CDF الناتجة عن تلك الخطوات في الشكل 5 حيث يتماثل المنحنى b مع منحنى الوصلة D الوارد في الشكل 4 (أي أسوأ حالات التصميم الهندسي بدون إغلاق الموجات الحاملة للقياس عن بعد). وسيتضح أن المنحنى (e) هو المنحنى المثالي لأنه يقع بالكاد داخل قناع حدود قدرة ↓epfd. ورغم أن التوصل إلى المنحنى المثالي في هذه الحالة لم يتطلب سوى تكرار الحالة ثلاث مرات، فمن غير المتوقع أن تبرز الحاجة إلى أكثر من أربعة تكرارات – أو خمسة

كحد أقصى – لأية حالة عملية أخرى. واستناداً إلى ما تقدم، فإن أخذ تقاطعي خط الاستواء بالحسبان، على حد سواء، فإن فترات الإغلاق للمثال الحالي ستكون على النحو الموضح في الجدول 1.

الشكل 5

إحصاءات قدرة epfd↓ لهوائي قطره 1,2 متراً لفترات إغلاق مختلفة للموجة الحاملة للقياس عن بعد



الجدول 1

فترات الإغلاق اللازمة لمجرد تأمين استيفاء الموجات الحاملة للقياس عن بعد لمثال نظام HEO لحدود epfd↓ لهوائي محطة أرضية GSO قطره 1,2 متراً في النطاق GHz 18-12 (نطاق Ku)

الساتل	مدة الحضيض (s)	مدة الإغلاق الأولى (s)	مدة الاشتغال الأولى (s)	مدة الإغلاق الثانية (s)	مدة الاشتغال الثانية (s)
1	0	18 290	19 280	66 850	67 840
2	28 680	9 370	10 360	47 000	47 990
3	57 490	38 180	39 170	75 810	76 800

يرجى الملاحظة في الجدول 1 أن على كلٍ من السواتل الثلاثة في مثال نظام HEO أن تقوم بالإغلاق في الفترة ذاتها قرب التقاطعين الحاصلين لمستوى خط الاستواء للمدار الواحد من أجل استيفاء قناع حدود قدرة epfd↓. وتبلغ فترة كل إغلاق

990 ثانية = 16,5 دقيقة تعادل 1,15% من الفترة المدارية (يوم نجمي واحد). وسينتج عن مراعاة فترتي الإغلاق للمدار الواحد، على حد سواء، "انقطاع القياس عن بعد" على نحو كلي لفترة تبلغ 2,30% لكل مدار ساتلي. وستقع كل فترة إغلاق بينما يكون الساتل المعني في مدى خط عرض قدره ±1,487° تقريباً.

وبالإمكان التوصل إلى مدة الإغلاق والتشغيل لكل مدار متعاقب من خلال إضافة 86163 ثانية (يوم نجمي واحد).

_____