

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.609-2*

Criterios de protección para los enlaces de radiocomunicación con satélites de investigación espacial, tripulados o no tripulados, próximos a la Tierra*****

(Cuestión 113/7)

(1986-1992-2006)

Cometido

Esta Recomendación especifica los criterios de protección necesarios para controlar, dirigir y explotar adecuadamente satélites de investigación espacial tripulados y no tripulados próximos a la Tierra.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los criterios de limitación de la interferencia para enlaces de radiocomunicación con satélites de investigación espacial cerca de la Tierra están determinados por las consideraciones técnicas expuestas en el Anexo 1;
- b) que sobre la base de la experiencia obtenida, se prevé que pueden estar en órbita simultáneamente hasta 100, o incluso más, vehículos de investigación espacial activos cerca de la Tierra;
- c) que el espacio próximo a la Tierra está siendo utilizado cada vez más por misiones de investigación espacial, tripuladas y no tripuladas;
- d) que para muchas misiones cerca de la Tierra se requiere la radiocomunicación bidireccional, que es de vital importancia para las misiones tripuladas;
- e) que las temperaturas de ruido de funcionamiento típicas de las estaciones terrenas pueden ser de sólo 70 K (equivalente a -210 dB(W/Hz)) en la gama de frecuencias 1-30 GHz;
- f) que las temperaturas de ruido de funcionamiento típicas de estaciones espaciales están próximas a 600 K (equivalente a -171 dB(W/kHz)) en la gama de frecuencias por debajo de unos 30 GHz;
- g) que los márgenes de los enlaces típicos espacio-Tierra o espacio-espacio son pequeños, usualmente comprendidos entre 3 y 6 dB;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 1, 4, 8 y 9.

** Los criterios de protección para la investigación espacial (espacio lejano) figuran en la Recomendación UIT-R SA.1157.

*** El espacio próximo a la Tierra es el volumen de espacio en torno a la Tierra hasta una distancia de 2×10^6 km.

- h) que un aumento de 1 dB del ruido global del sistema debido a la interferencia se considera perjudicial;
- j) que una relación ruido/interferencia de unos 6 dB da como resultado un aumento de 1 dB en la temperatura de funcionamiento global del sistema;
- k) que limitaciones técnicas pueden restringir los aumentos de potencia de los vehículos espaciales como un medio de minimizar la interferencia;
- l) que cabe prever dificultades cuando se compartan frecuencias entre estaciones espaciales próximas a la Tierra del servicio de investigación espacial y estaciones de otros servicios,

recomienda

1 que se establezcan los siguientes criterios de protección para las estaciones terrenas del servicio de investigación espacial (véase el Anexo 1):

1.1 -216 dB(W/Hz) en los terminales de entrada del receptor, para las bandas entre 1 y 20 GHz y -156 dB(W/MHz) para las bandas en la gama de frecuencias 20-30 GHz; para frecuencias por debajo de 1 GHz, la interferencia admisible puede aumentar en 20 dB por década de frecuencia decreciente;

1.2 el cálculo de la interferencia resultante de los efectos atmosféricos y de las precipitaciones se base en estadísticas meteorológicas durante el 0,001% del tiempo para misiones tripuladas y durante el 0,1% del tiempo para misiones no tripuladas¹;

2 que se establezca el siguiente criterio de protección para las estaciones espaciales en órbita baja del servicio de investigación espacial próximos a la Tierra (véase el Anexo 1): -177 dB(W/kHz) en los terminales de entrada del receptor, durante el 0,1% del tiempo para vehículos espaciales, tripulados y no tripulados, en las bandas entre 100 MHz y 30 GHz;

3 que se establezca la máxima compartición de frecuencias posible entre satélites próximos a la Tierra del servicio de investigación espacial;

4 que se tome nota de las posibles dificultades en la compartición de frecuencias entre satélites próximos a la Tierra del servicio de investigación espacial y ciertos tipos de estaciones de otros servicios;

5 que se tome nota de las dificultades que se prevén en la compartición de frecuencias entre estaciones espaciales próximas a la Tierra y del espacio lejano del servicio de investigación espacial.

¹ En caso de transmisiones impulsivas, no debe considerarse el ciclo activo del transmisor cuando se calcule el porcentaje de tiempo en que se rebasa el nivel de interferencia.

Anexo 1

Criterios de protección relativos a los sistemas de investigación espacial cerca de la Tierra

1 Introducción

Gran parte del espectro idóneo para la investigación espacial está también atribuido a uno o más servicios diferentes, siendo necesaria por tanto la compartición de frecuencias entre tales servicios. En el presente Anexo se examinan los factores relacionados con las posibilidades de interferencia en los sistemas del servicio de investigación espacial, y se especifican criterios de protección apropiados para este servicio en las bandas de frecuencias de hasta unos 30 GHz. Han de utilizarse los criterios de protección en los análisis de interferencia cuando no se dispone de datos de los sistemas reales.

2 Consideraciones de carácter general

Hay cuatro tipos de funciones necesarias para las radiocomunicaciones de investigación espacial, a saber: telemando, teledada de mantenimiento, datos científicos almacenados y datos científicos en tiempo real.

En lo que concierne a la función de telemando, constituye un principio fundamental de diseño para la mayoría de los vehículos espaciales de investigación el que ningún comando erróneo cause el fracaso total de una misión y que ninguna señal de comando dé lugar a un estado irreversible. Como suele existir un alto grado de dependencia inevitable del sistema de telemando de la nave espacial durante las fases críticas de la misión (como durante las secuencias de lanzamiento y de inyección o durante una situación de emergencia), toda interferencia durante esos periodos críticos podría comprometer gravemente la misión.

Las señales de teledada de mantenimiento pueden almacenarse o muestrearse y transmitirse en tiempo real. Salvo en los periodos críticos (como las consecuencias de lanzamiento y de inyección, situaciones de emergencia, o durante la transferencia de datos biomédicos sobre los ocupantes humanos), un sistema de teledada de mantenimiento tolera razonablemente las interrupciones y la interferencia. Durante los periodos críticos, la lectura de las señales debe ser, por supuesto, de alta fiabilidad. El empleo para diagnósticos de esos datos hace evidente que, en momentos críticos de una emisión, puede haber largos periodos de tiempo (de varias horas) en que las señales de teledada de mantenimiento han de protegerse contra la interferencia perjudicial. Durante otros periodos de una misión, sin embargo, este tipo de función puede tolerar interrupciones limitadas sin graves efectos.

Los datos científicos almacenados pueden reproducirse normalmente más de una vez para la detección de errores. Se trata probablemente del tipo de datos con mayor tolerancia de interferencias de duración limitada.

Los datos (no almacenados) en tiempo real son los más expuestos a la interferencia, dado que su transmisión se efectúa una sola vez y no puede repetirse. Gran parte del precio de un costoso vehículo espacial puede corresponder a ese sistema de datos, por lo que es condición indispensable que esa clase de sistema tenga una buena protección contra las interrupciones o la degradación. Usualmente el momento de recepción de datos no almacenados de interés suele saberse con antelación de varias horas.

Muchos sistemas de investigación espacial utilizan técnicas de modulación MIC-MDP-MP y circuitos de bucles de enganche de fase para la demodulación de las portadoras y subportadoras del

sistema. Las transmisiones de datos de alta velocidad se basan generalmente en la modulación MDP-2 o MDP-4. Los circuitos en bucle de enganche de fase se utilizan también durante las secuencias de búsqueda, adquisición y seguimiento tanto en los receptores situados en tierra como en los del vehículo espacial.

3 Criterios de protección

En un enlace de radiocomunicaciones, puede determinarse la relación admisible de interferencia/ruido del sistema por la parte del margen de diseño atribuida a la interferencia exterior. En los enlaces espacio-espacio y espacio-Tierra, se procura reducir al mínimo los márgenes del enlace, para ahorrar peso y energía, cumplir con las limitaciones de la transmisión y en interés de la economía. Los márgenes de diseño de un enlace típico para compensar los efectos de las condiciones no idóneas suelen ser del orden de 3 a 6 dB para vehículos espaciales que funcionan en frecuencias por debajo de unos 10 GHz. Para vehículos espaciales que funcionan en frecuencias por encima de unos 10 GHz, pueden ser necesarios márgenes de enlace superiores para compensar el efecto de las condiciones meteorológicas.

Habida cuenta de estos bajos márgenes de enlace, la interferencia a sistemas de investigación espacial típicos puede resultar perjudicial si se disminuye en más de un 1 dB el umbral de calidad de funcionamiento del enlace. Esto corresponde a una relación necesaria «densidad espectral del ruido del sistema/densidad espectral interferente» (N/I) de unos 6 dB.

3.1 Anchura de banda de referencia

La anchura de banda de referencia para la que ha de especificarse determinado nivel de protección depende de la anchura de banda más reducida que pueda emplearse. Para receptores de estación terrena, los bucles con enganche de fase pueden utilizar anchuras de banda de algunos hertzios para bandas de frecuencias por debajo de 20 GHz. En el caso de bandas de frecuencias por encima de 20 GHz se prevé la transmisión de datos a alta velocidad basada en MDP-4 con anchuras de banda del orden de 1 MHz. La anchura de banda de detección de una estación espacial suele ser mayor (1 kHz o más), dada la necesidad de captar rápida y automáticamente las señales provenientes de la Tierra.

Por lo tanto, se recomiendan los siguientes valores de anchuras de banda de referencia para los receptores del servicio de investigación espacial:

- para los receptores de estación terrena:
 - 1 Hz para bandas de frecuencias por encima de 20 GHz
 - 1 MHz para bandas de frecuencias por debajo de 20 GHz
- para los receptores de estación espacial: 1 kHz.

3.2 Porcentaje de tiempo de referencia

En relación con la interferencia producida a estaciones terrenas del servicio de investigación espacial, es necesario señalar que posiblemente habrá interferencia esporádica de fuentes industriales, debida a propagación transhorizonte, condiciones meteorológicas fluctuantes y ganancia variable en el trayecto entre la estación interferente y la estación receptora a causa de los movimientos relativos de las antenas, etc. Por consiguiente, todo criterio de interferencia que se establezca debe ser suficientemente riguroso para reducir al mínimo la posibilidad de este tipo de interferencia.

Por otra parte, como los datos de propagación suelen presentarse bajo forma de un porcentaje de tiempo en que se rebasan ciertas condiciones, es necesario relacionar el tiempo de interrupciones con los datos de propagación. Para las misiones espaciales tripuladas, una pérdida de la radiocomunicación de más de 5 min durante periodos críticos afectaría gravemente a la misión. No

obstante, las condiciones de propagación son generalmente tales que la pérdida de la transmisión mínima entre dos estaciones perdurará durante periodos muy superiores a 5 min. Por consiguiente, para prever una protección que preserve contra la interferencia durante periodos superiores a 5 min por día, es necesario tener en cuenta no sólo la hora más desfavorable del año, sino también los 5 min más desfavorables dentro de dicha hora. Ello representa aproximadamente el 0,001% del tiempo. Para misiones no tripuladas, en las que no interviene la seguridad de la vida humana, el porcentaje de tiempo de referencia es de 0,1%.

3.3 Niveles de protección necesarios

3.3.1 Receptores de estación terrena

En la gama de 1 a 30 GHz, la temperatura de ruido total de una estación terrena receptora es típicamente del orden de 70 K o más, según sea la contribución de la antena. Esa contribución depende de la frecuencia, del ángulo de elevación de la antena, de las condiciones meteorológicas existentes, así como de la radiación del suelo y de la radiación térmica en los lóbulos lateral y posterior de la antena. Por debajo de 1 GHz, aproximadamente, el ruido cósmico aumenta la temperatura de ruido operacional del sistema a razón de unos 20 dB por decena decreciente de la frecuencia. Así pues, sobre la base de la relación N/I necesaria de 6 dB, indicada en el § 3, y de una temperatura de ruido del receptor de 70 K, los siguientes criterios son los más directamente apropiados para la protección de las estaciones terrenas.

En la gama de frecuencias de 1 a 20 GHz, puede producirse interferencia perjudicial si el tiempo total durante el cual la densidad de potencia de interferencia asimilable a ruido, o la potencia total de la interferencia de tipo onda continua en cualquier banda considerada individualmente o en todas las series de bandas de 1 Hz de anchura, rebasa -216 dB(W/Hz) en los terminales de entrada de los receptores representa un periodo superior al 0,001% del tiempo para las misiones tripuladas y al 0,1% del tiempo para todas las demás misiones de investigación espacial cerca de la Tierra. En la gama de frecuencias 20-30 GHz, el criterio anterior debe trasladarse a una anchura de banda de referencia de 1 MHz, obteniéndose un valor de -156 dB(W/MHz). Para frecuencias por debajo de 1 GHz aproximadamente, puede aumentarse la interferencia admisible a razón de 20 dB por década decreciente de frecuencia. Estos criterios de interferencia se aplican a las tres funciones de radiocomunicación del enlace descendente descritas en el § 2.

3.3.2 Receptores de estación espacial

La temperatura de ruido total de un receptor típico de estación espacial suele ser de 600 K o más. Estos niveles se deben, en parte, a la necesidad de que la antena del vehículo espacial esté orientada hacia la Tierra (290 K). Basándose en la relación N/I necesaria de 6 dB, los siguientes criterios son los más directamente apropiados para la protección de las estaciones espaciales:

En la gama de frecuencias de 100 MHz a 30 GHz, puede producirse interferencia perjudicial si la densidad de potencia de la interferencia asimilable a ruido o la potencia total de la interferencia de tipo onda continua en cualquier banda considerada individualmente o en todas las series de bandas de 1 kHz de anchura, rebasa -177 dB(W/kHz) en los terminales de entrada del receptor.

Debido al movimiento del vehículo espacial en órbita baja, sensible a este nivel de interferencia, la cantidad de tiempo de exposición a la interferencia se limita al 0,1% del tiempo tanto para las misiones tripuladas como no tripuladas.