

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.1730

**Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la banda de frecuencias 15,7-17,3 GHz**

(Cuestión UIT-R 226/8)

(2005)

**Cometido**

Esta Recomendación da las características técnicas y los criterios de protección de los sistemas de radiolocalización que funcionan en la banda 15 700-17 300 MHz, atribuida al servicio de radiolocalización con carácter primario. Se elaboró como documento de referencia en apoyo de los estudios de compartición, junto con la Recomendación UIT-R M.1461 que aborda los procedimientos de análisis para determinar la compatibilidad entre los radares que funcionan en el servicio de radiolocalización y otros servicios.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que las características en cuanto a antena, propagación de la señal, detección del objetivo y gran anchura de banda necesaria de los radares para lograr sus funciones son óptimas en ciertas bandas de frecuencias;
- b) que las características técnicas de los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación vienen determinadas por la misión del sistema y varían ampliamente incluso dentro de una banda;
- c) que el UIT-R está considerando la posibilidad de introducir nuevos tipos de sistemas o servicios en las bandas comprendidas entre 420 MHz y 34 GHz utilizadas por los radares del servicio de radiodeterminación;
- d) que es necesario conocer las características técnicas y operacionales representativas de los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación para establecer la viabilidad de introducir nuevos tipos de sistemas en bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radiodeterminación;
- e) que se necesitan procedimientos y metodologías para analizar la compatibilidad entre los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación y los sistemas de otros servicios,
- f) que la banda de frecuencias 15,7-17,3 GHz está atribuida al servicio de radiolocalización con carácter primario,

*reconociendo*

- a) que los criterios de protección necesarios dependen de los tipos específicos de señales interferentes;
- b) que la aplicación de los criterios de protección puede obligar a examinar la incorporación del carácter estadístico de los criterios y otros elementos de la metodología para la realización de estudios de compatibilidad (por ejemplo, la exploración de la antena, incluyendo el movimiento del transmisor, y las pérdidas de propagación). La elaboración más detallada de estas consideraciones estadísticas puede incorporarse en las revisiones futuras de la presente Recomendación y de otras correspondientes, según proceda,

*recomienda*

- 1 que se considere que las características técnicas y operacionales de los radares de radiolocalización descritas en el Anexo 1 son representativas de los que funcionan en la banda de frecuencias 15,7-17,3 GHz;
- 2 que se utilice esta Recomendación, junto con la Recomendación UIT-R M.1461 como orientación en el análisis de la compatibilidad entre los radares de radiodeterminación y los sistemas de otros servicios;
- 3 que se utilice el criterio identificado en la Recomendación UIT-R M.1461 de relación entre la potencia de la señal interferente y la potencia de ruido del receptor de radar  $I/N$  de  $-6$  dB, como nivel de protección requerido, y que éste represente el nivel de protección neto cuando estén presentes múltiples fuentes interferentes.

NOTA 1 – Esta Recomendación debe revisarse a medida que se disponga de información más detallada.

## Anexo 1

### **Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radiolocalización en la banda de frecuencias 15,7-17,3 GHz**

#### **1 Introducción**

Las características de los radares de radiolocalización que funcionan por todo el mundo en la banda de frecuencias 15,7-17,3 GHz se presentan en el Cuadro 1 y se describen con más detalle en los puntos siguientes.

#### **2 Características técnicas**

La banda 15,7-17,3 GHz se utiliza en múltiples tipos distintos de radar, entre los que están los basados en tierra, los transportables, los instalados a bordo de barcos y las plataformas a bordo de aeronaves. Entre las funciones de radiolocalización realizadas en la banda están las de investigación a bordo de aeronaves y en la superficie, la cartografía del suelo, el seguimiento en el terreno, las aplicaciones marítimas y la identificación de blancos. Puede suponerse que las frecuencias de funcionamiento del radar se distribuyen uniformemente a lo largo de la gama de sintonía de cada radar. El Cuadro 1 contiene las características técnicas de radares de radiolocalización representativos que funcionan en la banda 15,7-17,3 GHz.

Los radares de radiolocalización importantes que funcionan en esta banda se utilizan principalmente para la detección de objetos aéreos y algunos se utilizan para cartografía del suelo. Han de medir la altitud del blanco y la distancia y orientación hacia él, y realizar mapas del terreno. Algunos de los blancos a bordo de aeronave y en el suelo son pequeños y algunos se encuentran a distancias de hasta 300 millas náuticas (556 km), de forma que estos radares de radiolocalización deben tener una gran sensibilidad y deben ofrecer un alto grado de supresión de todos los tipos de ecos parásitos, incluyendo los del mar, la tierra y la precipitación.

Debido en gran medida a los requisitos de la misión, los radares de radiolocalización que se utilizan en esta banda pueden presentar las siguientes características generales:

- suelen tener una potencia del transmisor de cresta y media elevadas, con excepciones notables;
- utilizan típicamente transmisores con amplificador de potencia de oscilador principal más que osciladores de potencia. Suelen ser sintonizables y algunos de ellos son versátiles en frecuencia. En ocasiones se utilizan la modulación lineal FM (segmentos) o la codificada en fase interior al impulso;
- algunos tienen haces principales de antena orientables en acimut y elevación, utilizando un control electrónico del haz;
- típicamente emplean la recepción versátil y capacidades de procesamiento, tales como las que ofrecen las antenas receptoras auxiliares de supresión de lóbulos laterales, el procesamiento de trenes de impulsos de portadoras coherentes para suprimir los ecos parásitos por medio de la indicación de blancos móviles, las técnicas de índices constantes de alarmas falsas y, en ciertos casos, la selección adaptable de las frecuencias de funcionamiento, basándose en la detección de la interferencia en diversas frecuencias.

El Cuadro 1 resume las características técnicas de sistemas representativos instalados en estas bandas. Esta información es suficiente para el cálculo general en la evaluación de la compatibilidad entre estos radares y otros sistemas. Algunos o todos los radares de radiolocalización cuyas características se muestran en el Cuadro 1 presentan las propiedades indicadas, aunque no ilustran todo el repertorio de atributos que pudieran aparecer en los sistemas futuros.

## 2.1 Transmisores

Los radares que funcionan en la banda 15,7-17,3 GHz utilizan diversas modulaciones incluyendo los impulsos sin modulación, los impulsos modulados en frecuencia (por segmentos) y los impulsos codificados en fase. Se utilizan dispositivos de salida de haz lineal y de estado sólido en las etapas finales de los transmisores. La tendencia en los nuevos sistemas de radar apunta hacia los dispositivos de salida de haz lineal y de estado sólido, debido a los requisitos del procesamiento de la señal Doppler. Además, los radares con dispositivos de salida de estado sólido tienen una potencia de salida de cresta del transmisor inferior y ciclos de trabajo de impulsos superiores.

Las anchuras de banda (3 dB) de emisión de RF del transmisor en los radares que funcionan en la banda 15,7-17,3 GHz oscilan entre 60 kHz y 1 200 MHz. Las potencias de salida de cresta del transmisor están comprendidas entre 2 W (33,01 dBm) para los transmisores de estado de sólido y 20 kW (73,01 dBm) para los radares de gran potencia que utilizan dispositivos de campo transversal (magnetrones) y dispositivos de haz lineal (TWT, *travelling wave tube*).

### 2.1.1 Salto de frecuencia

El salto de frecuencia es una de las técnicas más habituales en las contramedidas electrónicas (ECCM). Los sistemas de radar diseñados para el funcionamiento en entornos de ataque electrónico hostiles utilizan el salto de frecuencia como una de sus técnicas de contramedidas. Este tipo de radar suele dividir su banda de frecuencias atribuida en canales. El radar selecciona entonces de forma aleatoria un canal entre los disponibles para la transmisión. Esta ocupación aleatoria de un canal puede producirse sobre una base de posición por haz, en la que se transmiten múltiples impulsos por el mismo canal, o sobre una base de impulsos individuales. Debe considerarse este aspecto importante de los sistemas de radar y en los estudios de compartición debe tenerse presente la posible repercusión de los radares de salto de frecuencia.

CUADRO 1

**Características de los radares de radiolocalización en la banda 15,7-17,3 GHz**

Características	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
Función	Radar de búsqueda, seguimiento y cartografía del suelo (multifunción)	Radar de búsqueda, seguimiento y cartografía del suelo (multifunción)	Vigilancia aérea, ayudas de aterrizaje, seguimiento durante la exploración	Vigilancia	Vigilancia del suelo y seguimiento
Tipo de plataforma	A bordo de aeronave, potencia reducida	A bordo de aeronave, gran potencia	A bordo de barco, gran potencia	En suelo, potencia reducida	En suelo, gran potencia
Gama de sintonía (GHz)	16,2-17,3	16,29-17,21	15,7-17,3	16,21-16,5	15,7-16,2
Modulación	MF lineal variable	Impulsiva MF lineal	Salto de frecuencia	MF lineal en segmentos	Salto de frecuencia
Potencia de cresta de transmisión (W)	80	700	20 k	2	10 k
Anchura del impulso (µs)	18,2; 49	120-443	0,1	5,5	36
Tiempo de subida/caída del impulso (ns)	20	4	7/70	10	8
Frecuencia de repetición de impulsos (pps)	5 495; 2 041	900-1 600	4 000; 21 600	7 102	20 000
Ciclo de trabajo máximo	0,1	No especificado	0,00216	0,039	0,00072
Dispositivo de salida	Tubo de ondas progresivas	Tubo de ondas progresivas	Tubo de ondas progresivas	Transistor	Tubo de ondas progresivas
Tipo de diagrama de antena	Abanico/haz puntual	Abanico	Haz puntual	Haz puntual	Haz puntual
Tipo de antena	Guía onda ranurada	Sistema en fase	Sistema en fase plano	Elíptica con contorno parabólico	Reflector curvo doble con alimentador de bocina
Polarización de la antena	Vertical lineal	Vertical lineal	Circular dextrógira	Horizontal	Circular
Ganancia de antena (dBi)	25,6	38,0	43,0	37,0	43
Apertura en elevación del haz de la antena (grados)	9,7	2,5	1	1,1	1,6
Apertura en acimut del haz de la antena (grados)	6,2	2,2	1	3,5	.25
Velocidad de exploración horizontal de la antena	30 grados/s	5 grados/s	1 500 exploraciones/min	7,8 ó 15,6 grados/s	60 rpm, 360 grados/s

CUADRO 1 (Fin)

Características	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
Tipo de exploración horizontal de la antena (continua, aleatoria, sectorial, etc.)	±45° a ±135° (mecánica)	±30° (electrónica, cónica)	±40° (mecánica)	180° (mecánica)	360° (continua)
Velocidad de exploración vertical de la antena	30 grados/s	5 grados/s	1 500 exploraciones/min	No aplicable	No aplicable
Tipo de exploración vertical de la antena	-10° a -50° (mecánica)	0° a -90° (electrónica, cónica)	+30°/-10° (mecánica)	+22,5°/-33,75° (mecánica)	No aplicable
Nivel del primer lóbulo lateral de la antena	10 dBi a 31°	18 dBi a 1,7°	20 dBi a 1,6°	15 dBi a 2,4°	23 dBi a 1,6°
Altura de la antena	Altitud de la aeronave	Altitud de la aeronave	Mástil/montaje en el puente	Nivel del suelo	100 m
Anchuras de banda a -3 dB de la 1 <sup>era</sup> y 2 <sup>da</sup> FI del receptor (MHz)	215/68	26,7 (banda ancha); 7,2 (banda estrecha)	70/40	500/0,750	50
Factor de ruido del receptor (dB)	4	2,7	No especificado	4	1 + (860/290) 860 = Temperatura de ruido del receptor, K 290 = Temperatura de ruido de la Tierra, K 3,97
Señal discernible mínima (dBm)	-89	-97,4	-80	-100,4	-92
Anchura de banda de los segmentos (MHz)	≤640	No especificada	30	0,750	No especificada
Anchura de banda en emisión de RF del transmisor (MHz): -3 dB -20 dB	622; 271 725; 324	1 200; 600; 180 1 220; 620; 200	6,8; 37 20; 42	0,608 2,35	540 670

## 2.2 Receptores

Los sistemas de radar de generaciones más recientes utilizan el procesamiento de la señal digital después de la detección para el procesamiento de las señales de alcance, acimutal y Doppler. Generalmente, el procesamiento de la señal incluye técnicas utilizadas para mejorar la detección de los blancos deseados y producir símbolos de los blancos en la pantalla. Las técnicas de procesamiento de la señal utilizadas para la mejora y la identificación de los blancos deseados ofrecen también una cierta supresión de la interferencia impulsiva de ciclo de trabajo reducida (inferior al 5%) que es asíncrona respecto a la señal deseada.

El procesamiento de la señal en los radares de generaciones más recientes utiliza impulsos por segmentos y codificados en fase para obtener una ganancia del procesamiento en la señal deseada y pueden también ofrecer la supresión de las señales no deseadas.

Algunos de los radares recientes de estado sólido y baja potencia utilizan un procesamiento de la señal multicanal de pico de trabajo elevado (10%) a fin de mejorar los retornos de la señal deseada. Algunos receptores de radar tienen capacidad de identificar los canales de RF con niveles reducidos de señales indeseadas y de encargar al transmisor que transmita por estos canales de RF.

## 2.3 Antenas

En los radares que funcionan en la banda 15,7-17,3 GHz se utiliza una amplia variedad de tipos de antena. Las antenas en esta banda suelen tener diversos tamaños y ofrecen interés para las aplicaciones en las que la movilidad y el peso ligero son factores importantes, así como las características de largo alcance. Muchos radares con funcionamiento en la banda 15,7-17,3 GHz se explotan en diversos modos, incluyendo el de búsqueda, cartografía y navegación (observación meteorológica). Las antenas de dichos radares suelen tener una exploración entre 360° en el plano horizontal. Otros radares en esta banda están más especializados y limitan la exploración a un sector fijo. La mayoría de los radares en 15,7-17,3 GHz utiliza la exploración mecánica, aunque los radares de generaciones más recientes utilizan antenas en sistema con exploración electrónica. Se emplean las polarizaciones horizontal, vertical y circular. Las alturas típicas de antena de los radares basados en el suelo y a bordo de barcos oscilan entre 8 m y 100 m sobre el nivel de la superficie, respectivamente.

## 3 Criterios de protección

En general, los usuarios de radar consideran aceptable una señal procedente de otro servicio que dé una relación  $I/N$  inferior a  $-6$  dB, cuando se trata de señales de otro servicio con un ciclo de trabajo elevado (por ejemplo, onda continua, MDP-2, MDP-4, señal de tipo ruido, etc.). Una relación  $I/N$  de  $-6$  dB se traduce en una  $(I + N)/N$  de 1,26, o aproximadamente, un aumento de 1 dB en la potencia de ruido del receptor de radar. Puede ser necesario realizar nuevos estudios o mediciones de compatibilidad para evaluar la interferencia en términos del efecto operacional en el comportamiento del radar. Debe señalarse que se están realizando estudios sobre la viabilidad de la utilización de los aspectos estadísticos y operacionales en los criterios de protección para los sistemas de radar de radiodeterminación. Este enfoque estadístico puede ser especialmente interesante en el caso de señales no continuas. Cuando se trata de sistemas de radar que funcionan en la banda para la que se aplica una Recomendación UIT-R sobre características del radar y

criterios de protección, debe consultarse la Recomendación pertinente<sup>1</sup> para obtener orientaciones específicas respecto a los criterios de protección.

El efecto de la interferencia impulsiva es más difícil de cuantificar y depende considerablemente del diseño de los receptores y el procesador, así como del modo de funcionamiento. En particular, las ganancias de procesamiento de la señal de ecos de blanco válido, que es impulsiva sincرونamente y con impulsos de interferencia que generalmente son asíncronos, suelen tener efectos importantes en los niveles determinados de interferencia por impulsos. Dicha desensibilización puede infligir diversas formas de degradación de la calidad. La evaluación de éstas será objeto del análisis de las interacciones entre tipos específicos de radar. En general, cabe prever que los numerosos aspectos de los radares de radiodeterminación contribuyan a suprimir la interferencia impulsiva con ciclo de trabajo reducido, especialmente la que procede de algunas fuentes aisladas. La Recomendación UIT-R M.1372 – Utilización eficaz del espectro radioeléctrico por las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación, incluye técnicas para la supresión de la interferencia impulsiva de ciclo de trabajo reducido.

Cuando hay múltiples fuentes de interferencia, el criterio de protección recomendado de la  $I/N$  permanece inalterable (porque depende del tipo de receptor de radar y de sus características de procesamiento de la señal). El nivel de interferencia total que realmente llega al receptor de radar (que se ha de comprobar en relación con los criterios de protección recomendados de la  $I/N$ ) depende del número de fuentes interferentes, de su distribución espacial y de la estructura de su señal, y ha de evaluarse a lo largo de un análisis de acumulación en un escenario determinado. Si se recibe interferencia procedente de diversas direcciones acimutales, en el análisis de acumulación se deben agregar las contribuciones simultáneas de todas estas direcciones que se reciben por el haz principal de la antena del radar y/o por los lóbulos laterales, a fin de evaluar la compatibilidad.

#### 4 Sistemas futuros de radiolocalización

En términos amplios, los radares de radiolocalización que puedan desarrollarse en el futuro para el funcionamiento en la banda 15,7-17,3 GHz se parecerán probablemente a los radares existentes que se describen aquí.

Es probable que los futuros radares de radiolocalización tengan al menos la misma flexibilidad que los radares descritos, incluyendo la capacidad de funcionar diferentemente en sectores distintos de acimut y elevación.

Cabe prever razonablemente que algunos diseños futuros puedan tratar de lograr la capacidad de funcionar en una banda amplia que llegue al menos hasta los límites de la banda utilizados en estas consideraciones.

Los futuros radares de radiolocalización en esta banda probablemente contarán con antenas orientables electrónicamente. No obstante, la actual tecnología hace que la orientación en fase sea una alternativa práctica y atractiva a la de orientación en frecuencia y numerosos radares de radiolocalización desarrollados en los últimos años para la utilización en otras bandas han empleado la orientación en fase, en acimut y en elevación. A diferencia de los radares orientados por frecuencia, los nuevos radares de sistema en fase pueden orientarse con cualquier frecuencia fundamental en la banda operativa del radar hasta cualquier acimut y elevación arbitrarios, dentro de su zona de cobertura angular. Entre otras ventajas, esto facilita la compatibilidad electromagnética en múltiples circunstancias.

---

<sup>1</sup> Entre los ejemplos de Recomendaciones que contienen características técnicas y criterios de protección para bandas específicas están las: UIT-R M.1313, UIT-R M.1460, UIT-R M.1462, UIT-R M.1463, UIT-R M.1464, UIT-R M.1465, UIT-R M.1638, y UIT-R M.1466.

Se prevé que algunos radares futuros de radiolocalización ofrezcan capacidades de potencia media tan elevada al menos como las de los radares que aquí se describen. No obstante, cabe esperar razonablemente que los diseñadores de los radares futuros traten de reducir las emisiones de ruido de banda ancha por debajo de los actuales radares que emplean magnetrones o amplificadores de campo transversal. Se espera lograr dicha reducción de ruido mediante la utilización de transmisores/sistemas de antena de estado sólido. En dicho caso, los impulsos transmitidos serán más largos y los ciclos de trabajo en transmisión serán sustancialmente superiores a los de la mayoría de los primeros transmisores de radar con sistemas de tubo.

---