

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1465-2 (02/2015)

Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz

Serie M

Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2016

© UIT 2016

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1465-2

Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz

(2000-2007-2015)

Cometido

En la presente Recomendación se proporcionan características técnicas y operativas y criterios de protección de radares terrestres, de barcos y de aviones que funcionan en la gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz. Se incluyen características representativas de componentes del transmisor, del receptor y de la antena, así como información sobre el despliegue de estos radares.

Palabras clave

Características, criterios de protección, radar a bordo de barco, radar en tierra, radar a bordo de aeronave

Abreviaturas/Glosario

AMSL	Sobre el nivel medio del mar
ATC	Control del tráfico aéreo
MTI	Indicación de blancos móviles
PPI	Indicador de posición planificada

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 frecuencia;
- 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 de frecuencias;
- c)* que el servicio de radionavegación es un servicio de seguridad, tal como se especifica en el número **4.10** del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), y no puede aceptarse el que se le cause interferencia perjudicial;
- d)* que desde la CAMR-79 se han eliminado o degradado atribuciones considerables de espectro (equivalente a unos 1 GHz) a la radiolocalización y la radionavegación;
- e)* que algunas Comisiones de Estudio de Radiocomunicaciones están considerando la posibilidad de introducir nuevos tipos de sistemas (por ejemplo, el acceso fijo inalámbrico y los sistemas fijos y móviles de gran densidad) o servicios en las bandas de frecuencias comprendidas entre 420 MHz y 34 GHz utilizadas por los radares del servicio de radiodeterminación;
- f)* que se requieren características técnicas y operacionales representativas de los sistemas que funcionan en las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radiodeterminación a fin de determinar la viabilidad de la introducción de nuevos tipos de sistemas;

- g) 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;
- h) que la banda de frecuencias 3 100-3 400 MHz está atribuida al servicio de radiolocalización a título primario en las tres Regiones;
- i) que la banda de frecuencias 3 400-3 600 MHz está atribuida al servicio de radiolocalización a título secundario en la Región 1;
- j) que la banda de frecuencias 3 400-3 600 MHz está atribuida al servicio de radiolocalización a título primario en las Regiones 2 y 3;
- k) que la banda de frecuencias 3 600-3 700 MHz está atribuida al servicio de radiolocalización a título secundario en las Regiones 2 y 3;
- l) que la banda de frecuencias 3 100-3 300 MHz está además atribuida al servicio de radionavegación a título primario en los países mencionados en el número **5.428** del RR,

reconociendo

- a) que en el número **5.433** del RR se estipula que en las Regiones 2 y 3, la banda de frecuencias 3 400- 3 600 MHz se atribuye al servicio de radiolocalización a título primario. Sin embargo, se insta a todas las administraciones que explotan sistemas de radiolocalización en esta banda de frecuencias a que cesen de hacerlo antes de 1985. A partir de este momento, las administraciones deberán tomar todas las medidas prácticamente posibles para proteger el servicio fijo por satélite, sin imponerse a este último servicio condiciones en materia de coordinación,

recomienda

- 1 que se consideren las características técnicas y operacionales de los radares de radiolocalización descritas en el Anexo 1, representativas de los que funcionan en la gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz;
- 2 que se emplee la Recomendación UIT-R M.1461 como guía en el análisis de compatibilidad entre los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación con los sistemas de otros servicios;
- 3 que se utilicen los criterios de relación entre la potencia de la señal interferente y el nivel de potencia de ruido en el receptor de radar, I/N , de -6 dB como nivel de protección requerido para los sistemas de radiolocalización y que esta cifra represente el nivel de protección neto si hay múltiples fuentes interferentes presentes.

Anexo 1

Características técnicas y operativas de los radares de radiolocalización que funcionan en la gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz

1 Introducción

En el Cuadro 1 se presentan las características de los radares de radiolocalización que funcionan en la gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz, las cuales se examinan a continuación.

CUADRO 1

Cuadro de características de los sistemas de radiolocalización que funcionan en la gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz

Parámetros	Unidades	Sistemas de tierra		Sistemas de barco				Sistema de aeronave
		A	B	A	B	C	D	A
Utilización		Búsqueda en la superficie y en el aire	Búsqueda en la superficie	Búsqueda en la superficie y en el aire				Búsqueda en la superficie y en el aire
Modulación		P0N/Q3N	P0N	P0N	Q7N	P0N/Q7N	Q7N	Q7N
Gama de sintonización	GHz	3,1-3,7		3,5-3,7	3,1-3,5	3,1-3,5		3,1-3,7
Potencia del transmisor entregada a la antena (valor de cresta)	kW	640	1 000	1 000	4 000-6 400	60-200	4-90	1 000
Anchura de impulsos	µs	160-1 000	1,0-15	0,25, 0,6	6,4-51,2	0,1-1 000	0,1-100	1,25 ⁽¹⁾
Frecuencia de repetición	kHz	0,020-2	0,536	1,125	0,152-6,0	0,3-10	0,5-10	2
Relación de compresión		48 000	No aplicable	No aplicable	64-512	Hasta 20 000	Hasta 400	250
Tipo de compresión		No disponible	No aplicable	No aplicable	CPFSK	No disponible	No disponible	No disponible
Ciclo de trabajo	%	2-32	0,005-0,8	0,28, 0,67	0,8-2,0	Max. 20	Max. 20	5
Anchura de banda del transmisor (-3 dB)	MHz	25/300	2	4, 16,6	4	25	3,15	> 30
Ganancia de la antena	dBi	39	40	32	42	Hasta 40	Hasta 40	40
Tipo de antena		Parabólica		Parabólica	PA			-SWA
Abertura del haz (H,V)	grados	1,72	1,05, 2,2	1,75, 4,4, csc ² a 30	1,7, 1,7	1,1-5, 1,1-5	1,5-6, 4-20	1,2, 6,0
Tipo de exploración vertical		No disponible	No aplicable	No aplicable	Aleatoria	No aplicable	No aplicable	No disponible

CUADRO 1 (cont.)

Parámetros	Unidades	Sistemas de tierra		Sistemas de barco				Sistema de aeronave
		A	B	A	B	C	D	A
Máxima exploración vertical	grados	93,5	No aplicable	No aplicable	90	90	90	±60
Velocidad de exploración vertical	grados/s	15	No aplicable	No aplicable		Instantánea		No disponible
Tipo de exploración horizontal		No aplicable	Giratoria	Giratoria	Aleatoria	Continua 360 + sector	Continua 360 + sector	Giratoria
Máxima exploración horizontal	grados	360		360			360	360
Velocidad de exploración horizontal	grados/s	15	25,7	24	No aplicable	30-360	50-180	36
Polarización		RHCP	V	H	V	No disponible	V	No disponible
Sensibilidad del receptor	dBm	No disponible	-112	-112	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible
Criterios de S/N	dB	No aplicable	0	14	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible
Factor de ruido del receptor	dB	3,1	4,0	4,8	5,0	1,5	1,5	3
Anchura de banda del receptor en RF (-3 dB)	MHz	No disponible	2,0	No disponible		400		No disponible
Anchura de banda del receptor en FI (-3 dB)	MHz	380	0,67	8	10	10-30	2-20	1
Zona de actuación del sistema		Mundial	Mundial	Mundial	Mundial	Mundial	Mundial	Mundial

⁽¹⁾ 100 ns comprimidos.

CPFSK: MDF con fase continua

PA: Elementos radiales en fase

SWA: Elementos radiantes de guías ranuradas

2 Características técnicas

La gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz es utilizada por radares instalados en tierra, en barcos y en aeronaves. Por lo general, predominan los radares móviles en barcos y aeronaves, mientras que los sistemas fijos de tierra se utilizan en campos de lanzamiento y con frecuencia están instalados a bordo de globos cautivos dedicados a tareas de vigilancia de superficie terrestre o en zonas costeras. Sus funciones son la búsqueda de aeronaves que vuelan tanto cerca de la superficie terrestre como a gran altitud, la vigilancia en el mar, el seguimiento de aeronaves y la instrumentación de campos de lanzamiento polivalentes. Se utilizan tanto señales no moduladas como con modulación angular por impulsos y la potencia típica del transmisor de cresta va de 500 kW a 6 400 kW. Se emplean ciclos de trabajo bajos para las funciones de radar de búsqueda con valores típicos inferiores al 1%. El factor de ruido del receptor oscila normalmente entre 3,1 dB y 16 dB. En el Cuadro 1 se exponen las características representativas de dos sistemas de radar en tierra, dos sistemas para barco y uno para aeronave que funcionan en la gama de frecuencias de 3 100-3 700 MHz.

2.1 Radares de tierra

2.1.1 Funcionamiento de los radares de tierra

Los radares de tierra que funcionan en la gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz se emplean normalmente para operaciones de prueba dentro y fuera de los campos de lanzamiento. Muchos de estos radares son móviles, en el sentido de que a menudo se instalan en vehículos que permiten su desplazamiento para las funciones de búsqueda y seguimiento de aeronaves en trayectos de vuelo amplios. Otros están instalados en ubicaciones fijas en los campos de lanzamiento, donde realizan asimismo funciones de búsqueda y seguimiento.

El Sistema terrestre B del Cuadro 1, está instalado en un globo cautivo a 4 600 m de altitud para realizar la vigilancia de una amplia zona de hasta 275 km. El Sistema terrestre A descrito en el Cuadro 1 funciona principalmente durante el día en condiciones meteorológicas favorables para el vuelo, y ocasionalmente durante la noche, mientras que los radares instalados en globos cautivos funcionan constantemente.

2.1.2 Transmisor

Los transmisores son ajustables y han de funcionar en cualquier parte dentro de la gama de frecuencias 3 100-3 700 MHz. Se utilizan impulsos no modulados y señales monocanal y multicanal con modulación angular.

2.1.3 Receptor

Muchos de los receptores de los radares de los campos de lanzamiento tienen circuitos especiales de control para la correlación entre los datos de vídeo y de otro tipo aplicados a las diferentes pantallas, las consolas de operador y los dispositivos de grabación. Los datos de vídeo recibidos por el radar situado en el globo cautivo se retransmiten a las instalaciones de operador de tierra tanto por radiocomunicaciones (servicio fijo) como por cable.

2.1.4 Antena

Las antenas se diseñan para las funciones especiales que se realizan en los campos de lanzamiento, pero funcionan con una ganancia de haz principal de hasta 40 dBi, se orientan electrónicamente y suelen estar dirigidas hacia el cielo en direcciones aleatorias, lo que aumenta la posibilidad de iluminar objetos voladores espaciales y recibir energía de ellos. Los radares situados en globos cautivos dirigen sus antenas hacia puntos situados algunos grados por encima del horizonte.

2.2 Radares a bordo de barcos

2.2.1 Funcionamiento en barcos

En el Cuadro 1 se describen cuatro tipos representativos de radares a bordo de barcos que funcionan en la gama de frecuencias de 3,1-3,7 GHz, denominados Sistema de barco A hasta Sistema de barco D. El Sistema A se utiliza como sistema primario de control del tráfico aéreo comercial. El Sistema B es un radar multifuncional instalado a bordo de naves de escolta. Las zonas de funcionamiento de estos radares de barco están en litorales y en alta mar. Estos radares funcionan normalmente durante las 24 h del día. Cuando realizan funciones de escolta de otros barcos, no es extraño encontrar hasta 10 de estos radares funcionando simultáneamente. Además de los sistemas a bordo de barcos, existen sistemas fijos en tierra que se utilizan para entrenamiento y pruebas. Además, las tareas de mantenimiento y comprobación de rutina obligan a explotar estos radares ocasionalmente en ciertas zonas portuarias. Los barcos equipados con el sistema A van acompañados casi siempre por un barco equipado con Sistema B como mínimo.

2.2.2 Transmisor

El Sistema A transmite en la banda de frecuencias 3 500-3 700 MHz con una potencia de cresta de 1 000 kW. El Sistema B transmite en la gama de frecuencias 3 100-3 500 MHz con una potencia de cresta de 6,4 MW y utiliza una combinación de modulación de fase y de saltos de frecuencia. Las emisiones cambian de frecuencia en más de 10 bandas de frecuencias, de 40 MHz de anchura cada una, denominadas banda de frecuencias 1 a banda de frecuencias 10. La secuencia de anchuras de impulso variables es aleatoria.

2.2.3 Receptor

Los receptores del Sistema A se describen en el Cuadro 1 y tienen las características habituales de los sistemas de control del tráfico aéreo para reducción de objetivo falso de ecos parásitos, indicación de blancos móviles, selección de corto/largo alcance y alimentación de vídeo para el indicador de posición planificada (PPI); su gama de sintonía es la misma que la del transmisor. El receptor del Sistema B funciona en la gama de frecuencias 3 100-3 500 MHz. No se dispone de las características del receptor, pero se supone que se trata de receptores modernos que requieren bastante ganancia en procesamiento para detectar objetos múltiples y variados en zonas extensas, en condiciones de ecos intensos y de meteorología adversa.

2.2.4 Antena

El Sistema A utiliza una antena de reflector de rotación mecánica con una anchura de haz en acimut de $1,75^\circ$ y un haz csc^2 en elevación de $4,4^\circ$ a 30° con una ganancia de haz principal de 32 dBi. La altura nominal de la antena es de 46 m sobre el nivel medio del mar. El Sistema B utiliza cuatro sistemas de antena planos de elementos radiantes en fase orientados electrónicamente para proporcionar una cobertura de 360° con una ganancia de haz principal de 42 dBi. La altura nominal de la antena del radar B es de 20 m sobre el nivel medio del mar.

2.3 Radar a bordo de aeronaves

Los radares a bordo de aeronaves que se encuentran en esta banda de frecuencias aprovechan las propiedades del espectro en esta longitud de onda para funciones de vigilancia, seguimiento del blanco y control del tráfico aéreo en zonas amplias. Las características espectrales para los radares típicos a bordo de aeronaves que funcionan en esta banda de frecuencias se describen en el Cuadro 1. Este sistema consiste en un radar multifuncional de elementos radiantes en fase que se instala en aeronaves de vigilancia pertenecientes a una serie de administraciones. La antena de este sistema es un sistema amplio de elementos radiantes de guíaonda ranurados montada encima del fuselaje. Da 40 dBi de ganancia de haz principal y se ha estimado su ganancia de lóbulo lateral en -10 dBi. Las

aeronaves que llevan estos radares pueden llevar a cabo operaciones a nivel mundial. Además de sus funciones de vigilancia aérea y de control del tráfico aéreo pueden también incorporar un modo de vigilancia marítima. Este sistema de aeronave funciona normalmente a unos 9 000 m de altitud y puede mantenerse en funcionamiento hasta 12 horas seguidas, dependiendo de la disponibilidad de tripulación. En algunas situaciones se mantiene una vigilancia constante durante 24 horas al día gracias al repostaje.

3 Criterios de protección

Los radares se ven afectados de manera fundamentalmente diferente por los distintos tipos de señales indeseadas y la diferencia es especialmente acusada entre los efectos de una señal de energía continua similar al ruido y la ocasionada por impulsos.

Los sistemas que utilizan compresión de impulsos tienen su ancho de banda FI concordada con el impulso comprimido y actúan como filtros adaptados para la degradación mínima de la relación S/N . Los filtros de compresión de impulsos pueden estar parcialmente ajustados a, y por tanto incrementar el efecto de, la interferencia de tipo similar al ruido. En tal caso, puede que una relación I/N de -6 dB no sea adecuada, y puede que sean necesarios nuevos estudios o mediciones de compatibilidad para evaluar la interferencia en términos de la repercusión operativa en la calidad de servicio del radar.

La interferencia causada por una onda continua de tipo similar al ruido produce un efecto de desensibilización en los radares de radiodeterminación, efecto que es predecible y depende de la intensidad. En todo sector acimutal por el que llegue dicha interferencia, su densidad espectral de potencia puede simplemente sumarse a la densidad espectral de potencia del ruido térmico del sistema radar, en una aproximación razonable. Sea N la densidad espectral de potencia del ruido en el sistema radar en ausencia de interferencia y sea I la interferencia de tipo ruido; la densidad espectral de potencia de ruido efectiva resultante es sencillamente la suma $I + N$.

Los criterios de protección de radares establecidos tradicionalmente por el UIT-R se basan en penalizaciones acarreadas para mantener la relación señal-ruido que retorna del objetivo en presencia de interferencia, lo que exige que la potencia de la señal que retorna del objetivo se aumente proporcionalmente al aumento de la potencia de ruido, es decir, de N a $I + N$. Esto sólo puede lograrse si se aceptan una reducción del alcance máximo para determinados objetivos, sacrificando así la observación de objetivos pequeños, o se modifica el radar para aumentar su potencia de transmisión o su producto potencia-apertura. (En los radares modernos, el ruido en el sistema receptor está generalmente cerca del mínimo irreducible y el procesamiento de la señal es en general casi óptimo.)

Estas penalidades varían dependiendo de la función del radar y de la naturaleza de sus objetivos. Para la mayoría de los sistemas radar, un aumento en el nivel de ruido efectivo de 1 dB produciría una degradación del funcionamiento superior al máximo tolerable. En el caso de un objetivo discreto que tenga una determinada sección transversal (RCS) media o mediana, este aumento reduciría el alcance de detección en un 6% aproximadamente con independencia de las características de fluctuación RCS que pueda presentar el objetivo. Este efecto se debe a que el alcance que puede obtenerse en el espacio libre es proporcional a la raíz 4 de la relación de potencia señal-ruido (SNR) resultante, según la ecuación de alcance del radar más conocida. Un aumento de 1 dB de la potencia de ruido efectiva corresponde a un factor de 1,26 de la potencia, de modo que si no se compensa equivaldría a una reducción del alcance en el espacio libre desde un determinado objetivo discreto por un factor $1/((1,26)^{1/4})$ ó $1/1,06$; es decir, una reducción de la capacidad de alcance de un 6% aproximadamente. En la ecuación del alcance, la SNR también es directamente proporcional a la potencia del transmisor, al producto potencia-apertura (para el caso de radares de vigilancia) y a la sección transversal del radar. Otra posibilidad de compensar el aumento de 1 dB de la potencia de ruido efectiva es renunciar a la detección de todos los objetivos salvo los que su sección transversal sea 1,26 veces mayor que el objetivo de tamaño mínimo que podría detectarse en el régimen libre de

interferencias o bien aumentar la potencia de transmisión del radar o su producto potencia-apertura por un 26%. Cualquiera de estas alternativas está en el límite de aceptabilidad para la mayoría de las misiones de radar y las modificaciones del sistema podrían resultar costosas, impracticables o imposibles, especialmente en los radares móviles. En el caso de objetivos discretos, estas penalizaciones de funcionamiento rigen para una determinada probabilidad de detección y tasa de falsas alarmas y cualesquiera características de fluctuación del objetivo.
