

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1314*

REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES NO ESENCIALES DE LOS SISTEMAS DE RADAR QUE FUNCIONAN EN LAS BANDAS DE 3 GHz Y 5 GHz

(Cuestión UIT-R 202/8)

(1997)

Resumen

En esta Recomendación se suministra información sobre los factores de diseño y las características de las emisiones no esenciales de algunos dispositivos de salida de radares que deben tenerse en cuenta al seleccionar dichos dispositivos durante el diseño de radares. Se recomienda también que se utilicen, cuando sea posible, ciertos tipos de esos dispositivos para reducir al mínimo las emisiones no esenciales no armónicas y armónicas.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el espectro radioeléctrico utilizable por el servicio de radiodeterminación es limitado;
- b) que el servicio de radionavegación es un servicio de seguridad, conforme se estipula en el número 953 (S4.10) del Reglamento de Radiocomunicaciones y que, además, algunos otros tipos de sistemas de radar, tales como los radares meteorológicos, pueden efectuar funciones relacionadas con la seguridad de la vida humana;
- c) que la anchura de banda necesaria de las emisiones de las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación es grande, a fin de que estas estaciones puedan efectuar correctamente su función;
- d) que los nuevos sistemas basados en técnicas emergentes pueden utilizar tecnologías digitales u otras que son más sensibles a la interferencia de las emisiones no esenciales de radares debido a la elevada potencia de cresta de éstos;
- e) que el UIT-R está estudiando el tema de la utilización eficaz del espectro radioeléctrico por los sistemas de radar, incluidas las características intrínsecas de las emisiones no esenciales de los diversos tipos de dispositivos de salida;
- f) que el UIT-R está estudiando también los efectos de las emisiones no deseadas de los sistemas de radar sobre los sistemas del servicio fijo;
- g) que la interferencia causada a las estaciones de radioenlace fijas y a las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite (SFS) se atribuye a emisiones no esenciales de los sistemas de radar que funcionan en los servicios de radionavegación, radiolocalización y de ayudas a la meteorología en torno a 3 GHz y 5 GHz;
- h) que las emisiones no esenciales de los sistemas de radar pueden causar en ciertos casos una interferencia a los sistemas de otros servicios de radiocomunicación que funcionan en bandas adyacentes y armónicamente relacionadas, sobre todo cuando se modifican las características técnicas y operacionales de esos otros servicios radioeléctricos de una manera que los vuelve más sensibles a la interferencia;
- j) que las características de funcionamiento (anchura de banda, coherencia, etc.), la vida útil esperada, el coste, el peso, el tamaño y la robustez mecánica son factores importantes que han de considerarse a la hora del diseño y concepción de los sistemas de radiodeterminación,

recomienda

- 1 que en la selección de dispositivos de salida de radar se utilice la información sobre los factores de diseño de radares relacionada con dichos dispositivos y con las características de las emisiones no esenciales de los mismos que figura en el Anexo 1;
- 2 que se utilicen, cuando sea posible, dispositivos de salida de radar de haces lineales o de estado sólido para reducir los niveles no armónicos de las emisiones no esenciales de radar;
- 3 que se utilicen, en caso necesario y cuando sea posible, filtros de salida de radar para reducir las emisiones no esenciales armónicas y no armónicas de radar.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Organización Marítima Internacional (OMI), de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), del Comité Internacional Radiomarítimo (CIRM), de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y de las Comisiones de Estudio 1 y 9 de Radiocomunicaciones.

Reducción de las emisiones no esenciales de los sistemas de radar que funcionan en la bandas de 3 GHz y 5 GHz

1 Introducción

En los últimos años ha habido un aumento significativo del número de casos registrados de interferencias de radar causadas a estaciones de radioenlace fijas que funcionan en la bandas de 4 GHz, 5 GHz y 6 GHz, y las estaciones terrenas del SFS que funcionan en torno a 4 GHz. El aumento de las interferencias se atribuye a los altos niveles de emisiones no esenciales de radar, a la tendencia del servicio fijo y del SFS hacia las técnicas de modulación digital y al rápido crecimiento de los sistemas que funcionan en bandas adyacentes a sistemas de radar de alta potencia y que se hallan en relación armónica con ellos. En este Anexo se suministra información sobre las características intrínsecas de las emisiones no esenciales de dispositivos de salida de radar, los factores de diseño asociados con la selección de dispositivos de salida de radar y otros métodos para reducir las emisiones no esenciales de radar.

2 Factores de diseño de radares

La función o misión de un radar determina en gran medida el diseño del mismo y la selección de su dispositivo de salida. Las emisiones de un radar son muy variadas (entre ellas, la navegación, la observación meteorológica, la determinación de la velocidad del viento, la vigilancia, la obtención de imágenes y cartografía, el seguimiento del terreno, el altímetro, etc.) y requieren, en general, características de funcionamiento exclusivas. Estas misiones determinan algunos parámetros que no están bajo el control del diseñador del radar tales como la sección transversal objetivo, que repercute directamente en la potencia del transmisor, ganancia de antena y sensibilidad del receptor requeridas.

Por consiguiente, la selección de los dispositivos de salida de radar afecta al diseño no sólo del transmisor, sino también al receptor y a los sistemas de antena del radar. Además, el diseño de sistemas de radar multifunción puede complicar aún más la selección de un dispositivo de salida de radar.

Otros factores de diseño importantes al seleccionar un dispositivo de salida son: eficacia de energía (conversión de corriente continua en radiofrecuencia), anchura de banda instantánea (anchura de banda de sintonía disponible sin ajustes), y coherencia entre impulsos (fase relativa de cada impulso, importante para el procesamiento del efecto Doppler), peso, tamaño, robustez mecánica, vida útil del dispositivo y coste.

El Cuadro 1 muestra las características del dispositivo de salida aplicables a los grandes factores de diseño considerados al diseñar sistemas de radar. En el Cuadro 1 se observa gran variedad de características de los dispositivos de salida para los grandes factores de diseño de potencia de cresta, anchura de banda instantánea y eficacia de energía. Hay que destacar que debe prestarse la máxima atención a los factores de diseño citados en la selección de los dispositivos de salida de radar para asegurar el buen resultado de las misiones de radar. Las características de las emisiones no esenciales de los dispositivos de salida de radar se consideran únicamente tras haberse ampliado todos los objetivos de la misión.

3 Características de las emisiones no esenciales de los dispositivos de salida de radar

Los niveles de las emisiones no esenciales de los transmisores de radar dependen del dispositivo de salida utilizado en el transmisor del radar. El conocimiento de las características intrínsecas de las emisiones no esenciales de los diversos dispositivos de salida utilizados en los transmisores de radar es esencial para el uso eficaz del espectro y para reducir al mínimo las interferencias causadas a los servicios que funcionan en bandas adyacentes.

El Cuadro 2 enumera las características de las emisiones no esenciales (no armónicas y armónicas) aplicables a los dispositivos de salida utilizados en sistemas de radar que funcionan en las bandas de 3 GHz y 5 GHz. Los sistemas de radar que utilizan dispositivos de salida de campos cruzados tienen niveles de emisiones no esenciales no armónicos intrínsecos que requerirían filtrado si los límites de las emisiones no esenciales son superiores a aproximadamente -60 dBc. Tanto los dispositivos de salida de tubos de haces lineales como los de estado sólido tienen niveles de emisiones no esenciales no armónicas intrínsecos que están por debajo de -100 dBc. Todos los dispositivos de salida de radar tienen emisiones no esenciales armónicas en la gama de -15 a -55 dBc y, por consiguiente, es necesario filtrado para eliminar las emisiones no esenciales armónicas. Para radares con dispositivos de salida distribuidos (formaciones de antenas fasadas) puede no ser práctico el filtrado.

CUADRO 1

Características de los dispositivos de salida del radar aplicables a los grandes factores de diseño considerados para los sistemas de radar que funcionan en las bandas de 3 GHz y 5 GHz

Dispositivo de salida	Gama de potencia de salida de cresta (kW)	Eficacia de energía (%)	Anchura de banda de 1 dB instantánea (% de frecuencia de la portadora)	Coherencia entre impulsos	Peso (kg)	Tamaño	Robustez mecánica	Esperanza de vida útil relativa ⁽¹⁾	Coste relativo ⁽²⁾
<i>Campos cruzados:</i>									
Amplificadores de campos cruzados	60-5 000	40-65	5-12	Sí	25-65	Pequeño	Buena	1,0	Bajo
Magnetrones (desbloqueados)	20-1 000	35-75	(3)	No	1-25			1,0	
Magnetrones (bloqueados)	20-1 000	35-75	(3)	Sí	1-25			1,0	
Magnetrones coaxiales	10-3 000	35-50	(3)	No	2-55			5,4	
<i>Haces lineales:</i>									
Tubo de ondas progresivas de cavidad acoplada	25-200	20-40	10-15	Sí	10-135	Grande	Buena	7,4	Alto
Klistrón	20-10 000	30-50	1-12	Sí	25-270			13,5	
Tuistrón	2 000-5 000	30-40	1-12	Sí	55-65			10,4	
<i>Transistores de estado sólido (Módulos clase C en paralelo):</i>		(5)							
Módulos bipolares de silicio	10-90	20-30	10-30	Sí	0,5-2,5 por módulo	Pequeño	Excelente	15	Alto
Transistores de efecto de campo de arseniuro de galio ⁽⁴⁾	0,5-5,0	10-25	10-30						

(1) La esperanza de vida útil está normalizada en relación con un magnetrón convencional.

(2) Depende del volumen de producción.

(3) Aunque los magnetrones no tienen una capacidad de anchura de banda instantánea, pueden obtenerse gamas de frecuencias de sintonía hasta del 10% de la frecuencia de funcionamiento.

(4) Los módulos bipolares de silicio (Si) se utilizan en general por debajo de 3,5 GHz y los módulos de arseniuro de galio (GaAs) en la banda de 5 GHz.

(5) Depende del número de módulos combinados en la etapa de salida.

CUADRO 2

**Características de las emisiones no esenciales de dispositivos de salida por impulsos
de radiodeterminación para sistemas en las bandas de 3 GHz y 5 GHz**

Dispositivo de salida	Nivel de emisiones no esenciales			
	No armónico (dBc) en 1 MHz	Armónico ^{(1), (2)} (dBc)		
		2 ^º	3 ^º	4 ^º
<i>Campos cruzados:</i>				
Amplificadores de campos cruzados	–35 a –50 ⁽⁴⁾	–25	–30	–45
Magnetrones (desbloqueados) ⁽³⁾	–65 a –80 ⁽⁴⁾	–40	–20	–45
Magnetrones (bloqueados) ⁽³⁾	–75 a –90 ⁽⁴⁾	–40	–20	–45
Magnetrones coaxiales ⁽³⁾	–60 a –75 ⁽⁴⁾	–40	–20	–45
<i>Haces lineales:</i>	(5)			
Tubo de ondas progresivas de cavidad acoplada	–105 a –115	–20	–25	–35
Klistrón	–110 a –120	–20	–25	–35
Tuistrón	–105 a –115	–20	–25	–35
<i>Transistores en estado sólido (Módulos clase C en paralelo):</i>				
Módulos bipolares de silicio	–100 a –110	–45	–55	–65
Transistores de efecto de campo de arseniuro de galio	–100 a –110	–35	–45	–55

- (1) Los niveles de emisiones no esenciales armónicas enumerados son valores nominales. En términos generales, la gama de emisiones no esenciales armónicas suele ser de +5 dB a –10 dB de los valores nominales.
- (2) Los niveles de emisiones armónicas pueden reducirse por debajo de –100 dBc con un filtro de armónicos (paso bajo).
- (3) Los dispositivos de salida de magnetrones tienen modos $\pi - 1$ intrínsecos que pueden estar sólo 40 dB por debajo de la portadora. Estos modos son intermitentes y de corta duración y se producen durante el inicio de las oscilaciones.
- (4) Los niveles de emisiones no armónicas en dispositivos de campos cruzados pueden reducirse por debajo de –100 dBc con un filtro paso banda para guías de ondas. En general, estos filtros tienen unos pocos décimos de dB de pérdida de inserción.
- (5) Los dispositivos de salida de haces lineales puedan tener emisiones no esenciales no armónicas próximas a la portadora del orden de –80 dBc a –90 dBc según las características de la selectividad total de la caridad.

4 Filtros de salida de radar

Como muestra el Cuadro 2, la selección del dispositivo de salida de radar tiene un gran efecto en el requisito de filtrado de emisiones no esenciales no armónicas. No obstante, como ya se ha indicado, la selección del dispositivo de salida de radar no puede basarse enteramente en las características de las emisiones no esenciales. Debido a los niveles intrínsecamente altos de las emisiones no esenciales armónicas de todos los dispositivos de salida, la supresión de emisiones no esenciales armónicas por el uso de filtros de armónicos (paso bajo) se efectúa generalmente cuando es práctico. Para reducir las emisiones no esenciales no armónicas de algunos radares moderados y de alta potencia en bandas adyacentes a las bandas de radiodeterminación, se requerirían también filtros paso banda después del transmisor del radar para algunos dispositivos de salida de radar. En general, éstos deberán estar separados del filtro de armónicos, ya que las características de banda de bloqueo amplia de los filtros de supresión de armónicos no puede conseguirse normalmente junto con las características de corte abrupto de los filtros de supresión de banda adyacente. Sin embargo, los filtros necesarios pueden ser muchos más de dos; en los radares con formaciones de antenas activas, sería necesario interponer uno o dos filtros entre cada dispositivo de salida de potencia y el elemento o subformación que lo alimenta. En conjunto, se necesitarían decenas de filtros.

El coste de estos filtros puede ser significativo, dado que son necesarios tipos de filtros no convencionales, que a veces requieren presurización o evacuación, para tratar las altas potencias y mantener la supresión deseada en una banda de bloqueo amplia. La utilización de dichos filtros impone también soluciones de compromiso en la calidad del sistema de radar. La pérdida de inserción de los filtros de armónicos del transmisor y los filtros paso banda para radares en estas bandas oscila entre 0,1 dB y 0,7 dB. Si se requieren tanto filtros de armónicos como filtros paso banda, la pérdida de inserción será aproximadamente el doble. Debido a las numerosas variables en el funcionamiento del radar, la disminución correspondiente en la detección y la calidad de seguimiento suele pasar desapercibida, pero el hecho es que incluso 0,2 dB representa una gran pérdida de potencia RF (por ejemplo, 47 kW de potencia de cresta en el caso de un radar de 1 MW). El transmisor tendría que ser mucho más potente para recuperar la pérdida de calidad, dado que debe suponerse que ya se habrían explotado medios para mejorar la calidad más eficaces en términos de coste. Por ejemplo, una pérdida de 0,4 dB corresponde a una reducción del 2,3% de la gama de detección, que no tiene consecuencias en la mayoría de los radares pero que es significativa para algunos. La relación de ondas estacionaria de ambos tipos de filtros está en la gama de 1,1 a 1,3.

Asimismo, el tratamiento de la potencia, y el tamaño y el peso del filtro son factores que deben considerarse para saber si es posible utilizar un filtro de salida en el radar, en particular en los radares móviles. El tamaño y el peso pueden ser consideraciones limitadoras en el caso de radares con formaciones de antenas activas móviles. El filtrado de bandas próximas a la del funcionamiento del radar requiere una selectividad aguda y, por consiguiente, una gran acumulación de energía, que plantea el riesgo de interrupción (o disminuye la capacidad de tratamiento de la potencia) y puede también introducir una distorsión en fase en el paso banda, otra consideración importante para los radares con formaciones de antenas activas. Cuanto mayor es la potencia del radar, más atenuación se necesita para suprimir las salidas de emisiones no esenciales a un nivel determinado, por lo que los filtros necesitarán más secciones y, por consiguiente, tenderán a ser mayores su pérdida de inserción, su tamaño y su peso.

La realización del filtrado del transmisor se hace mejor durante el diseño original del radar. La adición de filtros de transmisor a los radares existentes se ha logrado en muchos casos con repercusiones mínimas sobre la calidad del sistema, pero en otros ha habido problemas de interrupción cuando se añadió un filtro de paso de banda para suprimir emisiones de banda adyacente.

5 Tendencias del radar

Las dos grandes áreas que impulsan el avance en la selección de los dispositivos de salida de radar son:

- el procesamiento de la señal de radar digital, que está produciendo un rápido crecimiento en los radares de efecto Doppler que necesitan una alta coherencia entre impulsos (dispositivos de salida de haces lineales y de estado sólido),
- el desarrollo de dispositivos de transmisor de estado sólido de potencia más alta (configuraciones modular/monolítica y distribuida (formaciones de antenas en fase)).

Estas tendencias influirán en la reducción de los niveles de emisiones no esenciales de las más nuevas generaciones de radar.
