

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1372*

UTILIZACIÓN EFICAZ DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO POR LAS ESTACIONES DEL SERVICIO DE RADIODETERMINACIÓN

(Cuestiones UIT-R 35/8 y UIT-R 216/8)

(1998)

Resumen

Esta Recomendación señala algunos de los métodos que pueden utilizarse para mejorar la eficacia en la utilización del espectro por los sistemas de radar que funcionan en las bandas de radiodeterminación. Se consideran varias técnicas de supresión de la interferencia tras la detección por el receptor, actualmente utilizadas en los radares de radionavegación, radiolocalización y meteorológicos, así como las soluciones de compromiso correspondientes (limitaciones) a las que debe llegarse en cuanto a calidad de funcionamiento del sistema al utilizar las técnicas de supresión de la interferencia.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el espectro radioeléctrico disponible para el servicio de radiodeterminación es limitado;
- b) que el servicio de radiodeterminación proporciona funciones esenciales;
- c) que las características de propagación y de detección del blanco para llevar a cabo estas funciones son óptimas en ciertas bandas de frecuencias;
- d) que la anchura de banda necesaria de las emisiones procedentes de las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación es muy amplia comparada con la de las emisiones procedentes de estaciones de otros muchos servicios;
- e) que puede lograrse una utilización eficaz del espectro de frecuencias radioeléctricas por las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación reduciendo las emisiones no esenciales del transmisor y utilizando técnicas de supresión de la interferencia;
- f) que los métodos para reducir las emisiones no esenciales de las estaciones de radar que funcionan en las bandas de 3 GHz y 5 GHz se consideran en la Recomendación UIT-R M.1314;
- g) que el ciclo de trabajo reducido de los sistemas de radar admite el empleo de técnicas de supresión de la interferencia para permitir a las estaciones de radar próximas la utilización de la misma frecuencia,

recomienda

1 que para mejorar la utilización eficaz del espectro por el servicio de radiodeterminación, en las estaciones de radar se considere la utilización de técnicas de supresión de la interferencia tales como las que figuran en el Anexo 1, sin limitarse solamente a esas técnicas.

ANEXO 1

Técnicas de supresión de la interferencia**1 Introducción**

A medida que la demanda de espectro para las bandas de radiodeterminación aumente, los nuevos sistemas de radar deberán utilizar el espectro de manera cada vez más eficaz. Habrá zonas en el mundo donde los sistemas de radiodeterminación deberán funcionar en entornos de alta densidad de impulsos. Por consiguiente, muchos sistemas de

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Organización Marítima Internacional (OMI), la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), el Comité Internacional Radiomarítimo (CIRM) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

radar pueden verse sometidos a la interferencia impulsiva a la hora de realizar sus misiones. La incorporación de circuitería de supresión de la interferencia o de un programa informático que se encargue de esta labor en el diseño de los nuevos sistemas de radar asegurará que se satisfacen los requisitos de calidad de funcionamiento del sistema en el tipo de entorno de interferencia impulsiva previsto.

Las técnicas de supresión de la interferencia se clasifican generalmente en tres categorías: transmisor, antena y receptor. Las técnicas de supresión de la interferencia en el receptor son las más ampliamente utilizadas y se dividen en técnicas de predetección, detección y postdetección.

A continuación se discuten brevemente varias técnicas de supresión de la interferencia postdetección en el receptor utilizadas actualmente en los radares de radionavegación, radiolocalización y meteorológicos. También se consideran las soluciones de compromiso (limitaciones) a las que ha habido que llegar con respecto a la calidad de funcionamiento del sistema en cada una de las técnicas de supresión de la interferencia.

2 Integrador

2.1 Descripción

El proceso de la suma de los impulsos del eco procedente de un blanco se denomina integración. Los integradores se utilizan generalmente en los radares por dos razones:

- amplificar las señales débiles procedentes de los blancos deseados para poder realizar una presentación PPI (indicador de posición en plano),
- suprimir la interferencia impulsiva asíncrona.

El principio del integrador de vídeo del radar radica en que la señal de radar devuelta por un blanco consiste en una serie de impulsos generados a medida que el haz de la antena de radar explora dicho blanco y todos esos impulsos se producen en el mismo intervalo en periodos sucesivos (de forma síncrona con los impulsos transmitidos del radar). Esta serie de impulsos síncronos procedentes de un blanco permite la integración de los ecos del blanco para amplificar las señales débiles. El integrador también suprime la interferencia impulsiva asíncrona (impulsos que son asíncronos con los impulsos transmitidos del radar) ya que los impulsos interferentes no estarán separados en el tiempo por el periodo del radar y, por consiguiente, no aparecerán en el mismo intervalo en periodos sucesivos. Por lo tanto, la interferencia asíncrona no tiene carácter aditivo y puede suprimirse.

En los sistemas de radar se han utilizado básicamente dos tipos de integradores. El tipo más común de integrador es el integrador con realimentación mostrado en la Fig. 1. En unos cuantos radares de radionavegación también se ha empleado el integrador binario representado en la Fig. 2.

FIGURA 1

Diagrama de bloques del integrador con realimentación

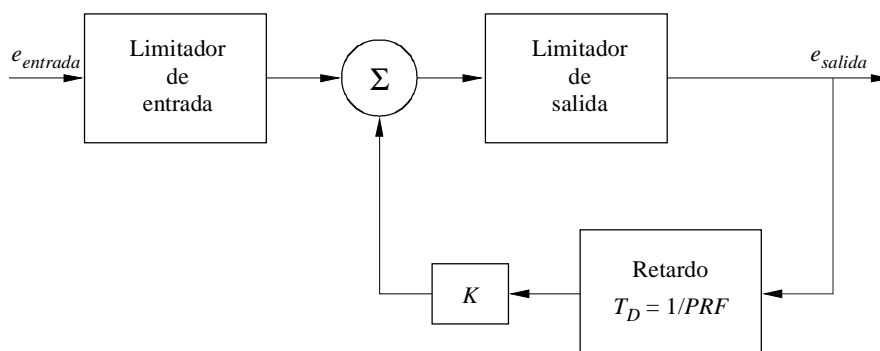
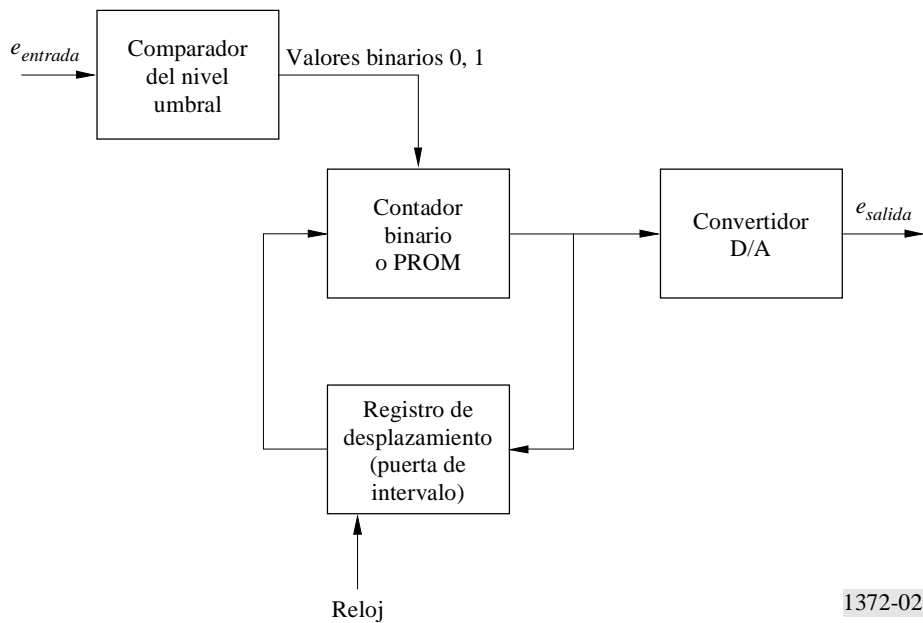


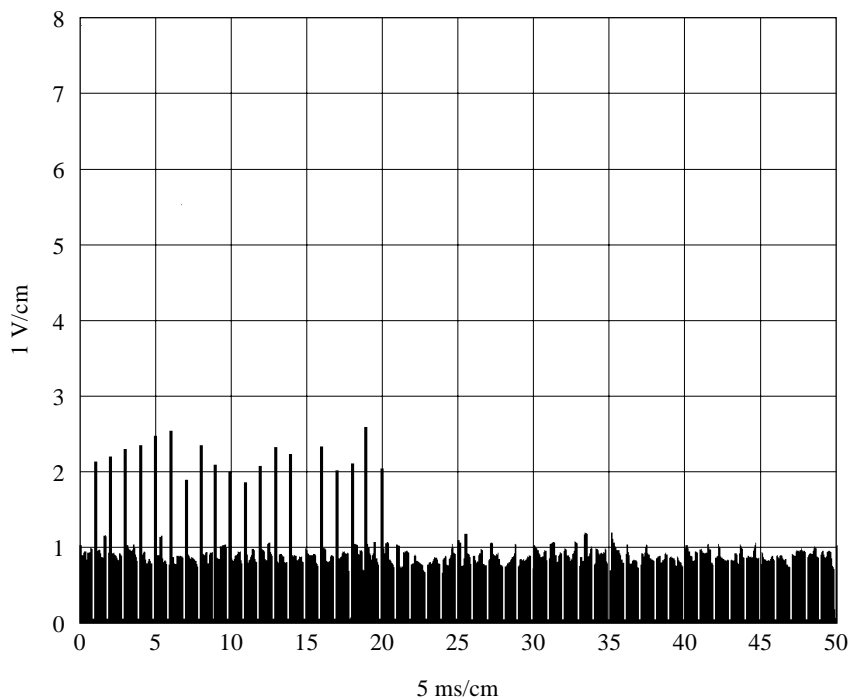
FIGURA 2
Diagrama de bloques del integrador binario



1372-02

En la Fig. 3 puede verse una salida simulada para un eco de blanco deseado (anchura del impulso = 0,6 μ s, frecuencia de repetición de impulsos (PRF – pulse repetition frequency) = 1000) sin integración y con una relación señal/ruido, (S/N), de 15 dB. La Fig. 4 presenta la salida simulada de un radar sin integración, en presencia de la señal deseada y con tres fuentes de interferencia (fuente de interferencia 1, anchura del impulso = 1,0 μ s, PRF = 1 177; fuente de interferencia 2, anchura del impulso = 0,8 μ s, PRF = 900; fuente de interferencia 3, anchura del impulso = 2,0 μ s, PRF = 280) para unas relaciones interferencia/ruido, (I/N), de 10, 15 y 20 dB respectivamente.

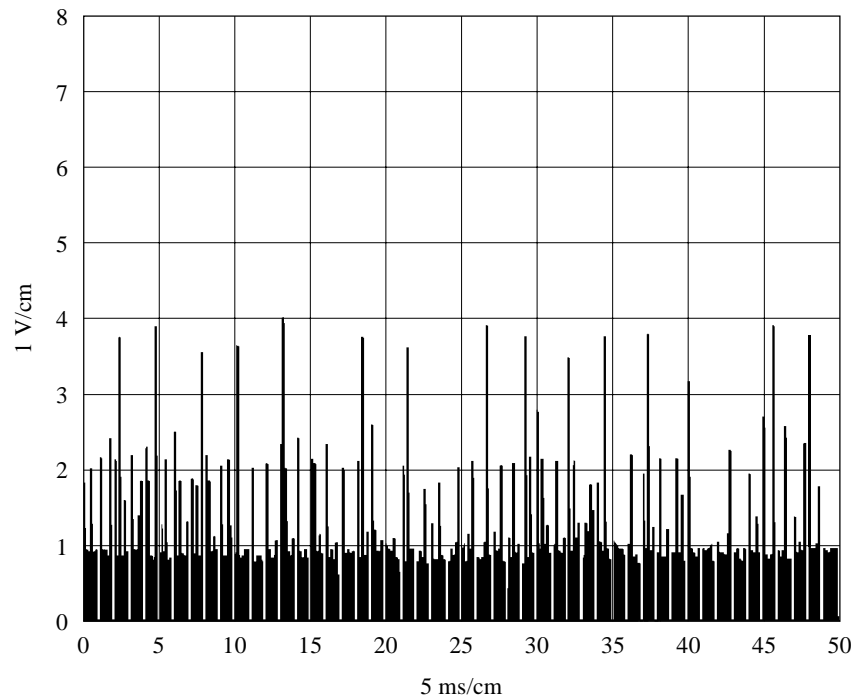
FIGURA 3
Salida simulada de radar sin integrador para
S/N = 15 dB



1372-03

FIGURA 4

Salida simulada de radar sin integrador y en presencia de interferencia



S/N deseada = 15 dB
 Fuente de interferencia 1, $I/N = 10$ dB
 Fuente de interferencia 2, $I/N = 15$ dB
 Fuente de interferencia 3, $I/N = 20$ dB

1372-04

2.2 Integrador con realimentación

El integrador con realimentación mostrado en la Fig. 1 consta de un limitador de entrada, un circuito sumador y un bucle de realimentación con un limitador de salida y un circuito que introduce un retardo igual al tiempo transcurrido entre los impulsos del transmisor ($1/PRF$) en los radares que utilizan trenes de impulsos no escalonados. La ganancia total, K , del bucle de realimentación es inferior a la unidad para evitar la inestabilidad. El limitador de entrada actúa como un circuito recortador de la señal de vídeo para proporcionar un nivel constante en los impulsos de entrada al integrador con realimentación y es un elemento necesario en la circuitería del integrador para suprimir la interferencia impulsiva asíncrona. El nivel establecido por el limitador de entrada normalmente es ajustable y controla las propiedades de transferencia del integrador con realimentación. En la Fig. 5 puede observarse la salida del radar para la misma condición de interferencia mostrada en la Fig. 4, utilizando un integrador con realimentación y para un nivel de entrada limitado a 0,34 V. La interferencia asíncrona ha sido suprimida por el integrador con realimentación.

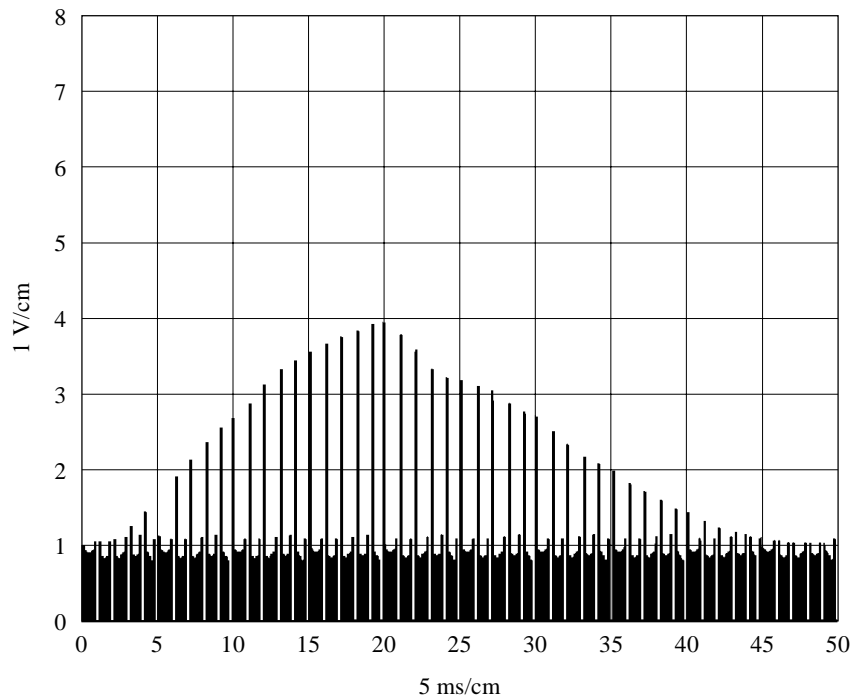
2.3 Integrador binario

El integrador binario que aparece en la Fig. 2 consta de un detector o comparador del nivel umbral, de un contador binario o lógica programable de memoria de sólo lectura (PROM) (circuito sumador/restador), de una memoria de registro de desplazamiento multibit y de un convertidor digital/análogo (D/A). Cada periodo entre impulsos se divide en intervalos. Cada vez que el impulso del eco procedente de un blanco, el ruido y/o la interferencia rebasan el nivel umbral del comparador, el contador binario o la PROM pasa al siguiente nivel. Para esta simulación, se utilizó una lógica PROM con progresiones de estado no lineal de 1, 2, 4, 8, 16 y 31. Si los sucesivos impulsos del tren de impulsos del eco del blanco continúan teniendo un valor superior al del umbral del comparador en el intervalo de que se trata, la PROM avanza al siguiente estado programado más alto hasta que se llega al nivel máximo del integrador de 31. Si en cualquier periodo PRF la señal no rebasa el umbral del comparador, la lógica PROM desciende al estado programado siguiente más bajo hasta que se alcanza el nivel de estado cero. La resta proporciona la disminución necesaria de la señal del tren de impulsos causados por el eco del blanco una vez que el haz de antena ha pasado por el blanco y permite igualmente la supresión de las señales interferentes asíncronas. La amplitud de tensión a la salida del convertidor D/A

del integrador se determina mediante el nivel del contador binario o de la PROM (0 a 31) para el intervalo de que se trata, multiplicado por 0,125 V. Por consiguiente, para un nivel del contador binario de 31, la máxima tensión de salida sería de 3,875 V ($31 \times 0,125$). La Fig. 6 representa la salida del radar para la misma condición de interferencia de la Fig. 4 tras la integración binaria. La interferencia asíncrona ha sido suprimida por el integrador binario.

FIGURA 5

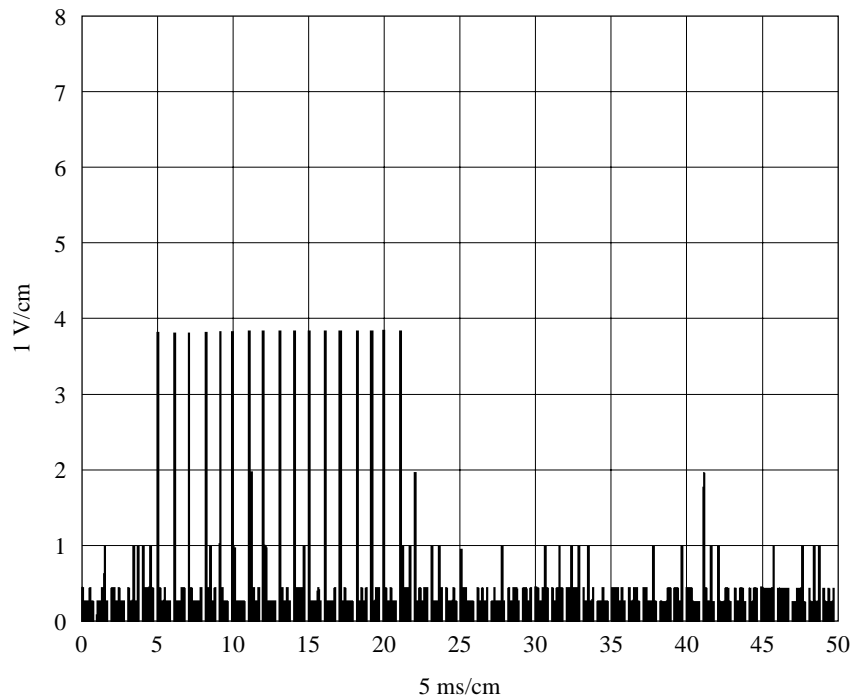
Salida simulada de radar que utiliza un integrador con realimentación y en presencia de interferencia



S/N deseada = 15 dB
Fuente de interferencia 1, $I/N = 10$ dB
Fuente de interferencia 2, $I/N = 15$ dB
Fuente de interferencia 3, $I/N = 20$ dB

FIGURA 6

Salida simulada de radar con integrador binario y en presencia de interferencia



S/N deseada = 15 dB
Fuente de interferencia 1, I/N = 10 dB
Fuente de interferencia 2, I/N = 15 dB
Fuente de interferencia 3, I/N = 20 dB

1372-06

2.4 Compromisos

Desplazamiento acimutal del blanco: 0,9° (0,7 anchura del haz) para el integrador con realimentación
0,2° (0,2 anchura del haz) para el integrador binario

Resolución angular: 1,2° (0,9 anchura del haz) para el integrador con realimentación
0° (0 anchura del haz) para el integrador binario

2.5 Sensibilidad de la señal deseada

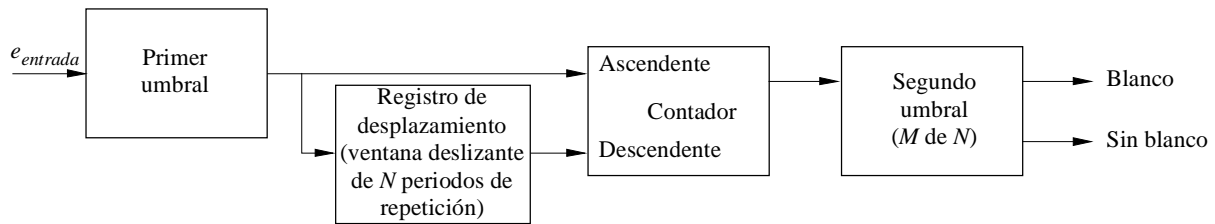
Aproximadamente 1 dB de disminución cuando el integrador se ajusta para suprimir la interferencia impulsiva con el modo vídeo normal y con el modo de indicación de blancos móviles (MTI – moving target indicator) en el modo de supresión de impulsos 2 y 3 sin realimentación. Sin embargo, en el modo MTI con realimentación, la pérdida de sensibilidad puede llegar a 2 dB debido a la necesidad de ajustar el limitador de entrada del integrador para limitar el nivel de interferencia por debajo del nivel de ruido inherente en el receptor.

3 Detección con doble umbral

3.1 Descripción

El detector de doble umbral utiliza una técnica de procesamiento de la señal postdetección empleada en los radares de radionavegación y de búsqueda. La función del circuito de detección con doble umbral consiste en extraer o identificar los blancos verdaderos en los trenes de impulsos procedentes de los blancos de radar. Sin embargo, el método de doble umbral de detección también tiene la capacidad propia de suprimir las falsas alarmas causadas por la interferencia impulsiva asíncrona. La Fig. 7 representa un diagrama de bloques simplificado de un detector de este tipo.

FIGURA 7
Diagrama de bloques del detector de doble umbral



1372-07

El detector de «doble umbral» establece un nivel T , que es el «primer umbral», a la salida del radar y a continuación realiza el cómputo del número de impulsos cuya amplitud rebasa dicho nivel, T , en una «ventana de tiempo deslizante». Esta ventana consta de N periodos de repetición sucesivos en un intervalo determinado, siendo N aproximadamente igual al número de impulsos emitidos mientras el haz efectúa la exploración de un ángulo igual a la anchura de haz de la antena de potencia mitad. Si en un intervalo determinado el número de impulsos que rebasan el valor T en la ventana deslizante es superior o igual a un número previamente asignado, M , que es el «segundo umbral» se considera que en ese intervalo hay un blanco. Los valores del primer umbral, T , y del segundo umbral, M , se eligen de forma que se obtenga un valor determinado de la probabilidad de falsa alarma, P_{fa} , y de la probabilidad de detección, P_d .

Existen criterios de detección con doble umbral más complejos que el indicado anteriormente. Por ejemplo, puede utilizarse un tamaño de ventana fijo estableciéndose los niveles de primer umbral con unos flancos anterior y posterior distintos. Además, también puede emplearse un tamaño de ventana variable con niveles del primer umbral con flancos anterior y posterior distintos.

De forma intuitiva puede deducirse que la técnica de doble umbral sería útil para disminuir los efectos de la interferencia impulsiva sincrónica. Los ecos del blanco recibidos a medida que el haz explora dicho blanco aparecerán en el mismo periodo. Sin embargo, no es probable que los pulsos interferentes que surgen aleatoriamente en el periodo de repetición aparezcan en un intervalo determinado más de unas pocas veces en N periodos de repetición, a menos que la densidad impulsiva interferente sea extremadamente elevada.

3.2 Compromisos

El detector de doble umbral presenta una característica de probabilidad de detección del blanco ligeramente inferior que la de los integradores que realizan una suma de los impulsos procedentes del eco del blanco. La característica (P_d y P_{fa}) del detector de doble umbral en la supresión de la interferencia impulsiva asincrónica depende de los valores tanto del primero como del segundo umbral.

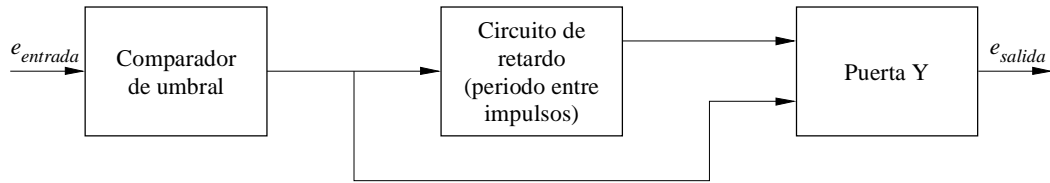
4 Discriminador PRF

La Fig. 8 muestra un diagrama de bloques simplificado de un discriminador PRF. El discriminador PRF utiliza un comparador de umbral, un circuito de retardo (registro de desplazamiento) y un circuito de coincidencia (puerta Y) para suprimir los impulsos de interferencia asincrónica que no tengan la misma PRF (periodo entre impulsos) que la señal deseada. El discriminador normalmente funciona en la señal de vídeo, los impulsos procedentes del blanco con valores superiores al umbral pasan por el comparador; un periodo de repetición de impulsos después, un segundo impulso procedente del blanco llega a la entrada del circuito de coincidencia en el mismo instante en que el primer impulso sale del registro de desplazamiento. En este esquema, se procesa todo el tren de impulsos procedente del eco del blanco salvo el primer impulso. El nivel umbral del comparador se fija normalmente para una relación umbral/ruido de 6 dB a 8 dB. Pueden diseñarse discriminadores PRF más complejos para suprimir los múltiplos de la PRF de la señal deseada.

4.1 Compromisos

El discriminador PRF no amplifica la señal deseada como lo hacen los circuitos del integrador con realimentación y del integrador binario. Además, se produce una pérdida en la sensibilidad de la señal deseada que es función del nivel umbral del comparador.

FIGURA 8
Diagrama de bloques del discriminador PRF



1372-08

5 Discriminador de anchura de impulsos

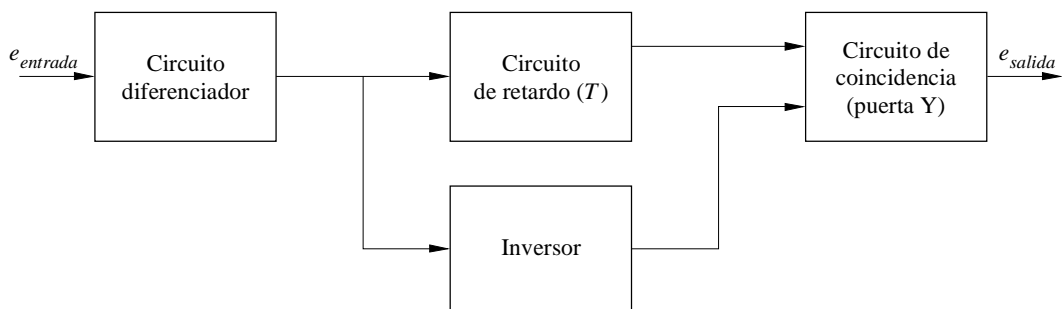
Si la anchura del impulso de la señal interferente es distinta a la del radar interferido, puede utilizarse esta circunstancia para proporcionar un método de discriminación. En la Fig. 9 se representa un método de realización de un discriminador de anchura de impulso. El impulso de entrada se diferencia y se divide en dos canales. En un canal, el impulso diferenciado se retarda un tiempo correspondiente a la anchura del impulso deseado, τ , y en el otro canal se invierte el impulso diferenciado. Si el impulso de entrada fuese de anchura τ , el flanco posterior del impulso invertido diferenciado coincidiría en el tiempo con el flanco anterior del impulso retardado un tiempo τ . El circuito de coincidencia permite el paso de las señales en los dos canales únicamente si coinciden exactamente en el tiempo. Si el impulso de entrada no tuviese una anchura τ , las dos crestas no coincidirían en el tiempo y el impulso sería rechazado.

Los discriminadores de anchura de impulso generalmente no son eficaces contra la interferencia desintonizada debido a la respuesta inherente al impulso en la salida de frecuencia intermedia (FI) del receptor en los flancos anterior y posterior de una señal impulsiva no sintonizada. Las respuestas al impulso de los flancos anterior y posterior de una señal impulsiva no sintonizada son cada una de ellas normalmente similares a la anchura total del impulso de la señal deseada debido a la actuación del filtro de FI del radar adaptado.

5.1 Compromisos

La utilización de discriminadores de anchura de impulso da lugar normalmente a una disminución en la sensibilidad del receptor y en la probabilidad de detección.

FIGURA 9
Diagrama de bloques del discriminador de anchura de impulsos



1372-09

6 Discriminación por amplitud de los impulsos

6.1 Descripción

La discriminación por amplitud de los impulsos puede utilizarse para suprimir la interferencia impulsiva síncrona si los niveles de la señal interferente se encuentran varios dB por encima del nivel de ecos parásitos o de ruido del receptor. En una de las técnicas de discriminación por amplitud de los impulsos, el nivel de la señal en el mismo intervalo se suma durante varios periodos de impulsos de radar consecutivos. A continuación, se almacena la magnitud de la tensión y se calcula el valor medio de la misma. Luego se comparara la tensión en cada intervalo con un valor 4 ó 5 veces superior al valor medio. Si en cualquier intervalo se rebasa este número, se sustituye por el valor medio de los intervalos. Cuando se produce interferencia únicamente en uno de los intervalos y ruido en el resto, la interferencia impulsiva asíncrona con un valor de cresta de la I/R mayor de 12 a 14 dB (dependiendo de que el criterio utilizado sea el de aplicar 4 ó 5 veces el valor medio) se eliminará en posteriores procesamientos en el radar.

Pueden elaborarse muchos algoritmos distintos para suprimir las interferencias impulsivas asíncronas basándose en la discriminación por amplitud de los impulsos. Para determinar el algoritmo adecuado de discriminación por amplitud de los impulsos debe tenerse en cuenta la misión del radar y el tipo de procesamiento de la señal del radar.

6.2 Compromisos

Los compromisos a los que debe llegarse con la señal deseada son mínimos si se realiza la elección adecuada de los algoritmos. Los discriminadores por amplitud de los impulsos no suprimen las señales interferentes débiles y no funcionan adecuadamente en presencia de ecos parásitos intensos, a menos que incorporen otras características adicionales.
