

RECOMMANDATION UIT-R M.1372*

**UTILISATION EFFICACE DU SPECTRE RADIOÉLECTRIQUE PAR
LES STATIONS RADAR DU SERVICE DE RADIOREPÉRAGE**

(Questions UIT-R 35/8 et 216/8)

(1998)

Résumé

La présente Recommandation contient quelques-unes des méthodes permettant d'améliorer l'efficacité de l'utilisation du spectre radioélectrique par les systèmes radar fonctionnant dans les bandes attribuées au service de radiorepérage. Elle traite de plusieurs techniques de suppression du brouillage après les opérations de détection dans le récepteur actuellement utilisées par les radars de radionavigation, de radiolocalisation et de météorologie ainsi que l'efficacité comparée au niveau des performances des systèmes propres à ces techniques.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que le spectre radioélectrique attribué au service de radiorepérage est limité;
- b) que certaines fonctions du service de radiorepérage sont essentielles;
- c) que les caractéristiques de propagation et de détection des cibles nécessaires à ces fonctions sont optimales dans certaines bandes de fréquences;
- d) que la largeur de bande nécessaire aux stations radar du service de radiorepérage est plus grande que celle des stations de nombreux autres services;
- e) que les stations radar du service de radiorepérage peuvent utiliser rationnellement le spectre radioélectrique si l'on réduit les émissions parasites de l'émetteur et si l'on a recours à des techniques de suppression du brouillage;
- f) que les méthodes de réduction des émissions parasites des stations radar fonctionnant dans les bandes des 3 GHz et des 5 GHz sont traitées dans la Recommandation UIT-R M.1314;
- g) que le faible coefficient d'utilisation propre aux systèmes radar permet de recourir à des techniques de suppression du brouillage par lesquelles une même fréquence peut être utilisée par des stations radar voisines,

recommande

1 d'envisager l'emploi, par les stations radar, de techniques de suppression du brouillage du même type que celles contenues dans l'Annexe 1 sans s'y limiter pour améliorer l'utilisation efficace du spectre radioélectrique par le service de radiorepérage.

ANNEXE 1

Techniques de suppression du brouillage**1 Introduction**

A mesure que la demande de fréquences dans les bandes attribuées au service de radiorepérage augmente, les nouveaux systèmes radar devront utiliser le spectre radioélectrique de manière plus efficace et plus rationnelle. Dans les zones très fréquentées du globe, les systèmes de radiorepérage devront pouvoir fonctionner en présence d'une forte densité

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de l'Organisation maritime internationale (OMI), de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), du Comité international radiomaritime (CIRM) et de l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

d'impulsions; c'est pourquoi de nombreux systèmes radar pourront être exposés au brouillage par impulsions. L'intégration de circuits ou de logiciels de suppression du brouillage dans les nouveaux systèmes radar doit permettre d'atteindre les performances requises en présence du brouillage par impulsions prévisible.

Les techniques de suppression du brouillage sont généralement classées en trois catégories, selon qu'elles s'appliquent à l'émetteur, à l'antenne ou au récepteur. La première de ces techniques, la plus utilisée, existe en trois variantes: prédétection, détection et postdétection.

Il y aura lieu d'examiner brièvement ci-dessous plusieurs techniques de suppression postdétection du brouillage au niveau du récepteur actuellement utilisées par les radars de radionavigation, de radiolocalisation et de météorologie. L'efficacité comparée de chacune des techniques au niveau des performances du système est également traitée.

2 Intégrateurs

2.1 Description

La sommation des impulsions échos provenant d'une cible est appelée intégration. Deux raisons expliquent l'utilisation des intégrateurs:

- renforcer la visualisation des échos des cibles utiles sur les écrans radars PPI (indicateur panoramique),
- supprimer le brouillage impulsionnel asynchrone.

L'intégrateur vidéo radar fonctionne sur le principe suivant lequel les échos radar d'une cible ponctuelle sont constitués d'une série d'impulsions produites à mesure que le faisceau du radar balaie la cible et qui correspondent tous à la même case distance en périodes successives (en synchronisme avec les impulsions émises par le radar). Cette série d'impulsions synchrones provenant de la cible permet d'intégrer les impulsions échos et de renforcer les signaux faibles. L'intégrateur supprime également le brouillage impulsionnel asynchrone (impulsions qui ne sont pas synchrones avec celles émises par le radar) étant donné que les impulsions brouilleuses ne seront pas séparées temporellement de la période du radar et ne correspondent donc pas à la même case distance en périodes successives. Pour cette raison, le brouillage asynchrone ne se cumule pas et peut être supprimé.

Deux types d'intégrateurs sont essentiellement utilisés dans les systèmes radar. Le type le plus répandu est l'intégrateur à contre-réaction représenté à la Fig. 1. Dans certains radars de radionavigation, l'intégrateur binaire de la Fig. 2 a également été utilisé.

FIGURE 1

Schéma fonctionnel de l'intégrateur à contre-réaction

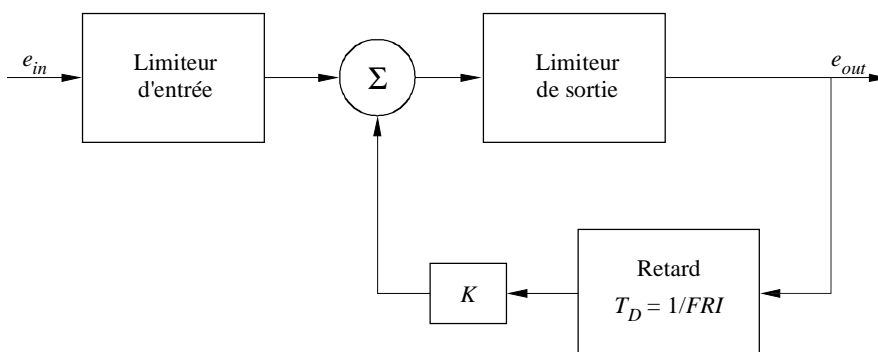
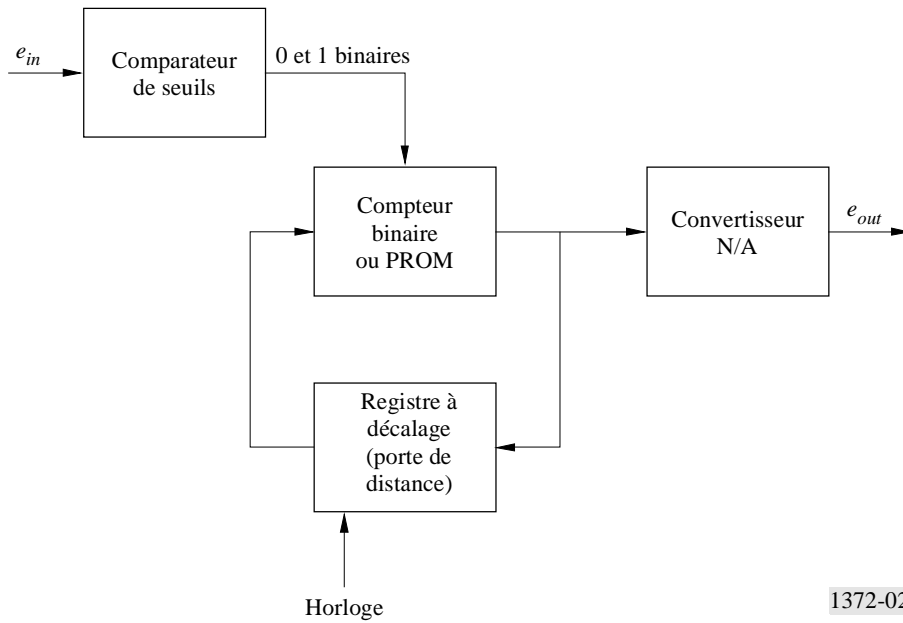


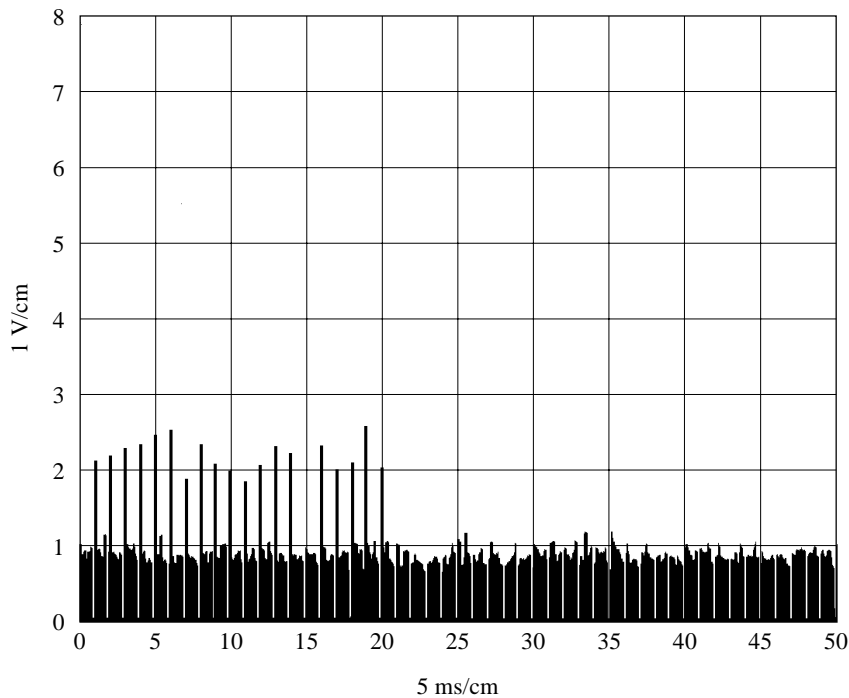
FIGURE 2
Schéma fonctionnel de l'intégrateur binaire



1372-02

La Fig. 3 montre le signal de sortie simulé pour un écho utile (durée d'impulsion = 0,6 μ s, fréquence de répétition des impulsions (FRI) = 1 000) sans intégration pour un rapport signal/bruit, S/N , de 15 dB. La Fig. 4 montre le signal de sortie simulé du radar sans intégration en présence du signal utile et de trois sources de brouillage (brouilleur 1: durée d'impulsion = 1,0 μ s, FRI = 1 177; brouilleur 2: durée d'impulsion = 0,8 μ s, FRI = 900; brouilleur 3: durée d'impulsion = 2,0 μ s, FRI = 280) avec des rapports brouillage/bruit, I/N , respectifs de 10, 15 et 20 dB.

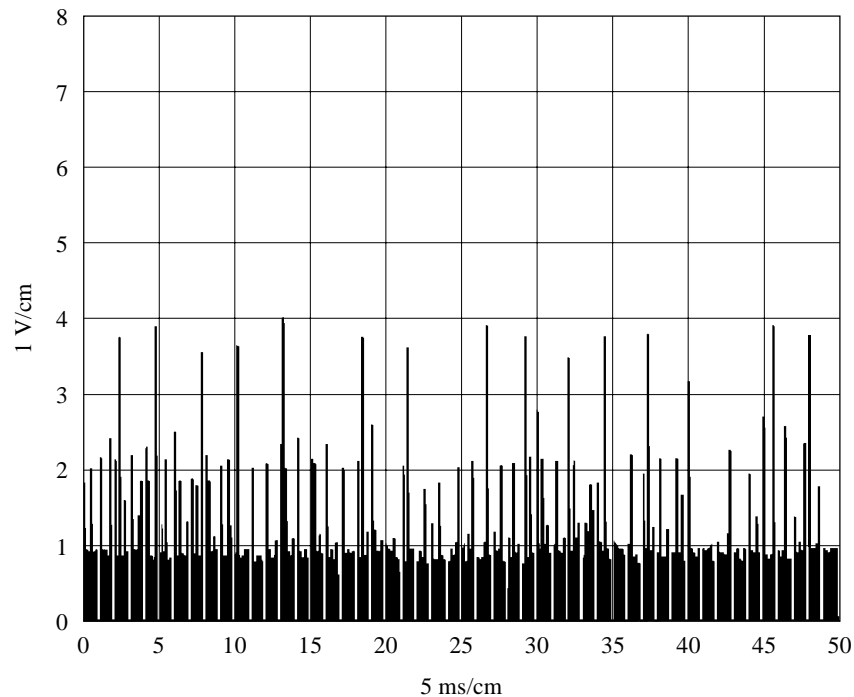
FIGURE 3
Signal de sortie simulé du radar sans intégrateur en fonction de
 $S/N = 15$ dB



1372-03

FIGURE 4

Signal de sortie simulé du radar sans intégrateur en présence de brouillage



S/N utile = 15 dB
 I/N du brouilleur 1 = 10 dB
 I/N du brouilleur 2 = 15 dB
 I/N du brouilleur 3 = 20 dB

1372-04

2.2 Intégrateur à contre-réaction

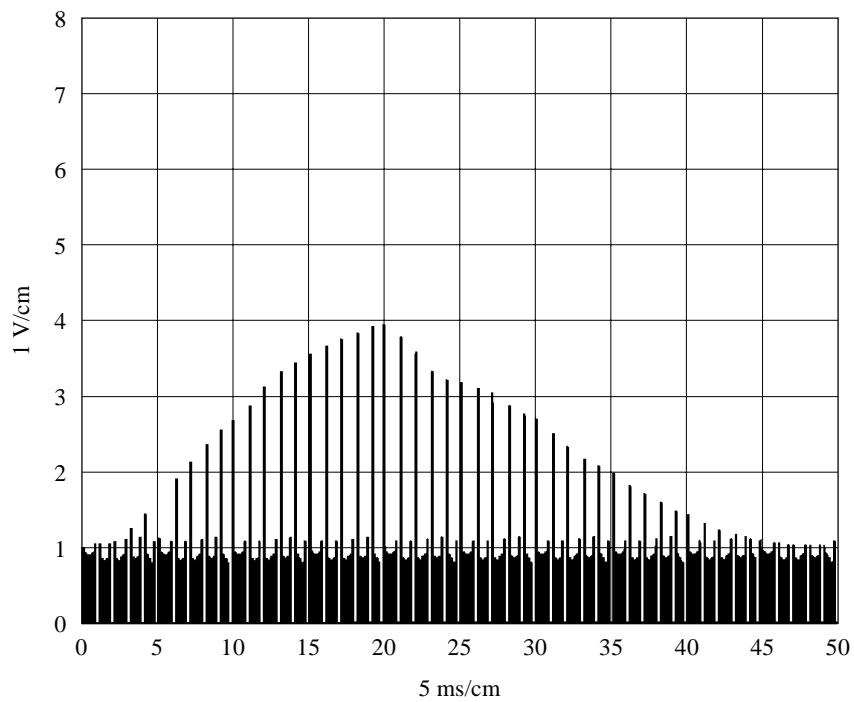
L'intégrateur à contre-réaction représenté à la Fig. 1 est constitué d'un limiteur d'entrée, d'un sommateur et d'une boucle de contre-réaction avec un limiteur de sortie et une temporisation correspondant à l'intervalle entre les impulsions de l'émetteur ($1/FRI$) des radars à trains d'impulsions fixes. Le gain total, K , de la boucle de contre-réaction est inférieur à l'unité pour empêcher l'instabilité. Le limiteur d'entrée agit comme un circuit d'écrêtage vidéo afin de fournir des impulsions d'entrée à niveau constant à l'intégrateur à contre-réaction; c'est un élément des circuits de l'intégrateur nécessaire pour supprimer le brouillage impulsionnel asynchrone. Le limiteur d'entrée, dont le seuil est généralement réglable, contrôle les propriétés de transfert de l'intégrateur. La Fig. 5 montre le signal de sortie du radar pour les mêmes conditions de brouillage que celles de la Fig. 4, avec intégration de la contre-réaction pour un seuil fixé à 0,34 V du limiteur d'entrée. Le brouillage asynchrone a été supprimé par l'intégrateur à contre-réaction.

2.3 Intégrateur binaire

L'intégrateur binaire représenté à la Fig. 2 est constitué d'un détecteur de seuil ou d'un comparateur, d'un compteur binaire ou d'une logique (circuit d'addition/soustraction) à mémoire PROM, d'une mémoire avec registre à décalage multibits et d'un convertisseur numérique-analogique (N/A). Chaque période entre impulsions est divisée en cases distance. Chaque fois que l'impulsion écho de la cible, le bruit et/ou le brouillage dépassent le seuil du comparateur, le compteur binaire ou la logique PROM est incrémenté. Pour cette simulation, on a utilisé une logique PROM avec incrémentation des états non linéaire (1, 2, 4, 8, 16, 31). Si les impulsions successives du train d'échos se situent toujours au-dessus du seuil du comparateur dans la case distance donnée, la PROM est chaque fois incrémentée à l'état immédiatement supérieur jusqu'à atteindre 31, le niveau maximal de l'intégrateur. Si, au cours d'une période FRI, le signal ne dépasse pas le seuil du comparateur, la logique PROM est décrémentée à l'état immédiatement inférieur, jusqu'à atteindre le niveau zéro. La soustraction donne la décroissance voulue du signal du train d'impulsions échos lorsque le faisceau n'est plus sur la cible, ce qui permet de supprimer les signaux brouilleurs asynchrones. L'amplitude de tension à la sortie du convertisseur N/A de l'intégrateur est déterminée par le compteur binaire ou le niveau de la PROM

(0 à 31) pour la case distance donnée, fois 0,125 V. Aussi, pour le niveau 31 du compteur binaire, la tension de sortie maximale du signal renforcé sera de 3,875 V ($31 \times 0,125$). La Fig. 6 montre le signal de sortie radar dans les mêmes conditions de brouillage que celles de la Fig. 4, après intégration binaire. Le brouillage asynchrone a été supprimé par l'intégrateur binaire.

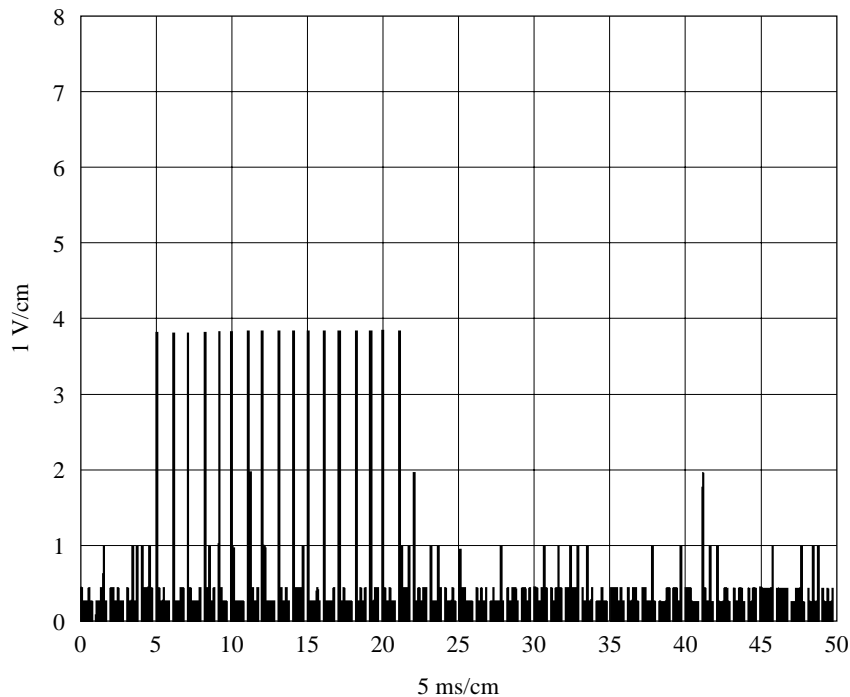
FIGURE 5
Signal de sortie simulé du radar avec intégrateur à contre-réaction
en présence du brouillage



S/N utile = 15 dB
 I/N du brouilleur 1 = 10 dB
 I/N du brouilleur 2 = 15 dB
 I/N du brouilleur 3 = 20 dB

FIGURE 6

Signal de sortie simulé du radar avec intégrateur binaire en présence de brouillage



S/N utile = 15 dB
 I/N du brouilleur 1 = 10 dB
 I/N du brouilleur 2 = 15 dB
 I/N du brouilleur 3 = 20 dB

1372-06

2.4 Efficacité comparée

Décalage angulaire de la cible en azimut:	0,9°	(ouverture de faisceau 0,7) pour l'intégrateur à contre-réaction
	0,2°	(ouverture de faisceau 0,2) pour l'intégrateur binaire
Résolution angulaire:	1,2°	(ouverture de faisceau 0,9) pour l'intégrateur à contre-réaction
	0°	(ouverture de faisceau nulle) pour l'intégrateur binaire

2.5 Sensibilité du signal utile

La sensibilité baisse d'environ 1 dB lorsque l'intégrateur est réglé de manière à supprimer, dans les modes 2 et 3 d'annulation des impulsions, sans contre-réaction, le brouillage impulsif en mode vidéo normal et en mode d'élimination des échos fixes (MTI – moving target indicator). Toutefois, en mode MTI avec contre-réaction, la perte de sensibilité peut atteindre 2 dB en raison de la nécessité de régler le limiteur d'entrée de l'intégrateur de manière à maintenir le niveau de brouillage au-dessous du niveau de bruit intrinsèque.

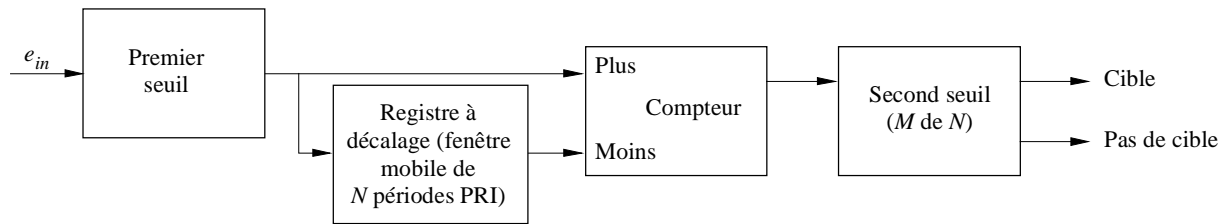
3 Détection à seuil double

3.1 Description

La détection à seuil double est une technique de traitement du signal postdétecté utilisée sur les radars de radionavigation et de recherche. Sa fonction est d'extraire les cibles des impulsions échos ou de les en distinguer. Toutefois, la méthode à seuil double possède aussi la capacité inhérente de supprimer les fausses alarmes produites par le brouillage impulsif asynchrone. La Fig. 7 est le schéma fonctionnel (simplifié) du détecteur à seuil double.

FIGURE 7

Schéma fonctionnel du détecteur à seuil double



1372-07

La détection «à seuil double» consiste à fixer un niveau de polarisation, T , le «premier seuil» à la sortie du radar, et à compter ensuite le nombre d'impulsions dont l'amplitude dépasse ce niveau T dans une «fenêtre temporelle mobile». Celle-ci est constituée de N périodes de récurrence dans une case distance donnée, N étant approximativement égal au nombre d'impulsions émises pendant que le faisceau balaie un angle correspondant à l'ouverture angulaire du faisceau à mi-puissance. Si, dans une case distance donnée, le nombre d'impulsions dépassant le niveau T dans la fenêtre mobile est supérieur ou égal au nombre M , le «second seuil» préattribué, il faut considérer qu'une cible est présente dans la case. Les valeurs du premier seuil T et du second seuil M sont choisies en fonction d'une probabilité de fausse alarme, P_{fa} et la probabilité de détection, P_d .

Il existe par ailleurs des critères de détection à seuil double plus complexes que ceux ci-dessus. Il est possible d'utiliser, par exemple, une taille de fenêtre fixe ayant des niveaux de premier seuil différents pour le front avant et le front arrière. Il est aussi possible d'utiliser une fenêtre de taille variable avec des premiers seuils différents pour les fronts avant et arrière.

A première vue, la technique à seuil double devrait être efficace dans l'atténuation des effets du brouillage impulsionnel asynchrone. Lors du passage du faisceau sur la cible, les échos reçus correspondent à la même case distance. Toutefois, des impulsions brouilleuses aléatoires apparaissant pendant la période de récurrence ne se produiront probablement guère plus de quelques fois dans N périodes de récurrence dans la même case distance à moins que l'impulsion brouilleuse ne soit extrêmement intense.

3.2 Efficacité comparée

Le détecteur à seuil double a une probabilité de détection de la cible légèrement moins grande que celle des intégrateurs à sommation des impulsions d'échos. L'efficacité (P_d et P_{fa}) du détecteur à seuil double en matière de suppression du brouillage impulsionnel asynchrone dépend du premier et du second seuil.

4 Discriminateur FRI

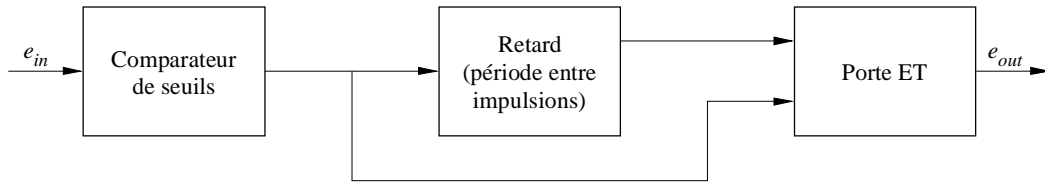
La Fig. 8 est le schéma fonctionnel simplifié d'un discriminateur FRI. Celui-ci utilise un comparateur de seuils, un retard (registre à décalage) et un circuit de coïncidence (porte ET) pour supprimer les impulsions brouilleuses asynchrones n'ayant pas la même FRI (période entre impulsions) que le signal utile. Le discriminateur fonctionne généralement au niveau de la vidéo, les impulsions d'échos dépassant le seuil étant envoyées au comparateur; une période de récurrence des impulsions après, une deuxième impulsion d'écho atteint l'entrée du circuit de coïncidence au moment précis où la première quitte le registre à décalage. Par cette méthode, toutes les impulsions d'échos du train, sauf la première, sont traitées. Le niveau de seuil du comparateur est généralement fixé à un rapport seuil/bruit de 6 à 8 dB. Il est possible de concevoir des discriminateurs FRI plus complexes pour supprimer les multiples du signal FRI utile.

4.1 Efficacité comparée

Le discriminateur FRI ne renforce pas le signal utile comme le fait le circuit à intégrateur à contre-réaction ou à intégrateur binaire. De plus, il y a perte de sensibilité du signal utile en fonction du seuil fixé pour le comparateur.

FIGURE 8

Schéma fonctionnel du discriminateur FRI



1372-08

5 Discriminateur de durée d'impulsion

Si la durée d'impulsion du brouilleur est différente de celle du radar visé, on peut l'utiliser comme moyen de discrimination. Une méthode de mise en œuvre d'un discriminateur de durée d'impulsion est représentée à la Fig. 9. L'impulsion d'entrée est différenciée et scindée en deux canaux. Dans un de ceux-ci, l'impulsion différenciée est retardée d'un temps correspondant à la largeur, τ , de l'impulsion utile, alors que dans l'autre l'impulsion différenciée est inversée. Si l'impulsion d'entrée est de largeur τ , l'impulsion inversée de front arrière différenciée coïncide dans le temps avec l'impulsion de front avant retardée du temps τ . Le circuit de coïncidence permet aux signaux des deux canaux de ne passer que s'ils vont coïncider exactement dans le temps. Si l'impulsion d'entrée n'est pas de largeur τ , les deux pointes ne coïncident pas dans le temps et l'impulsion est éliminée.

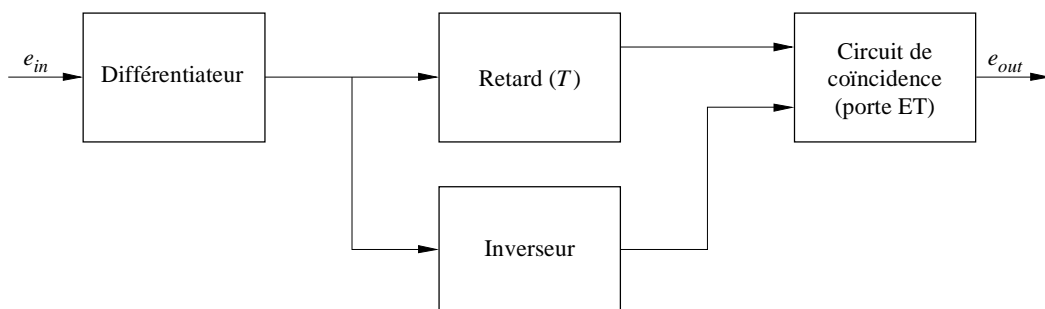
Les discriminateurs de durée d'impulsion ne sont généralement pas efficaces contre les brouillages de fréquence légèrement décalée en raison de la réponse impulsionnelle à la sortie FI du récepteur au front avant et au front arrière d'un signal à impulsion légèrement décalée en fréquence. Les réponses des fronts avant et arrière d'un signal impulsionnel légèrement décalé en fréquence sont généralement analogues à celles obtenues pour toute la largeur d'impulsion du signal utile car les radars sont équipés de filtres FI accordés.

5.1 Efficacité comparée

Les discriminateurs de durée d'impulsion diminuent généralement la sensibilité du récepteur et donc la probabilité de détection.

FIGURE 9

Schéma fonctionnel du discriminateur de durée d'impulsion



1372-09

6 Discrimination d'amplitude d'impulsion

6.1 Description

Il est possible d'utiliser la discrimination de l'amplitude d'impulsion pour supprimer le brouillage impulsionnel asynchrone si le niveau du signal brouilleur est supérieur de quelques décibels au bruit du récepteur ou au niveau du fouillis radar. Dans une des techniques de discrimination d'amplitude d'impulsion, le niveau du signal de la même case distance est cumulé pour plusieurs périodes d'impulsion radar consécutives. La valeur de la tension est mémorisée et la tension moyenne calculée. La tension dans chaque case distance est ensuite comparée à 4 ou 5 fois la moyenne. Si l'une des cases distance dépasse cette valeur, elle est remplacée par la moyenne. S'il y a du brouillage dans une des cases distance seulement et du bruit dans les autres, le brouillage impulsionnel asynchrone avec une valeur maximale de I/N supérieure à 12-24 dB (selon les critères de 4 ou 5 fois la moyenne) sera éliminé pour la suite du traitement radar.

Il est possible de mettre au point de nombreux algorithmes différents pour supprimer le brouillage impulsionnel asynchrone basés sur la discrimination des amplitudes d'impulsion. La mission du radar et le type de traitement du signal radar doivent être pris en considération dans le choix d'un algorithme de discrimination d'amplitude d'impulsion.

6.2 Efficacité comparée

Les inconvénients au niveau du signal utile peuvent être maintenus au minimum par le choix de l'algorithme approprié. Les discriminateurs d'amplitude d'impulsion ne suppriment pas les signaux brouilleurs faibles et ne fonctionnent pas de manière satisfaisante en présence de fouillis important, à moins de leur conférer des caractéristiques additionnelles.
