

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 17.12.98.

③⑦ Priorité : 22.12.97 JP 35342297.

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 25.06.99 Bulletin 99/25.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI
KAISHA — JP.

⑦② Inventeur(s) : WAKAYAMA TOSHIO.

⑦③ Titulaire(s) :

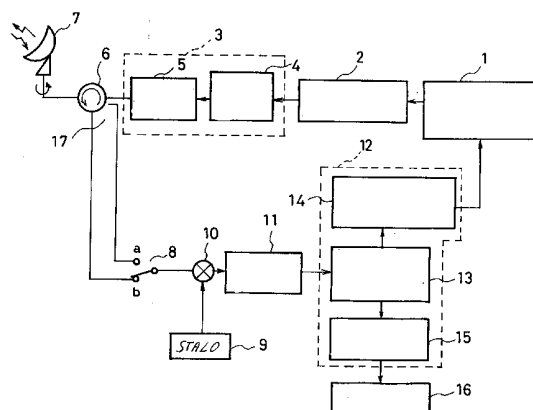
⑦④ Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

⑤④ APPAREIL RADAR METEOROLOGIQUE.

⑤⑦ L'invention concerne un appareil radar météorologi-
que.

Dans cet appareil pour projeter signal impulsionnel de
transmission constitué par une pluralité d'impulsions déli-
vrées par une unité d'émission (3) en direction d'une cible
au moyen d'une antenne (7) et calculer (en 13) la vitesse
Doppler de la cible à partir d'un signal impulsionnel reçu (en
11) réfléchi par cette dernière, la vitesse Doppler d'une cible
de référence (18) est calculée et l'instant d'émission du si-
gnal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission
(3) est corrigé sur la base de la vitesse Doppler de la cible
de référence de telle sorte que la vitesse Doppler de la cible
de référence s'annule.

Application notamment à l'observation de phénomènes
météorologiques tels que des nuages, de la pluie et du
brouillard.



La présente invention concerne un appareil radar météorologique utilisé pour l'observation de phénomènes météorologiques tels qu'un nuage, de la pluie et du brouillard.

5 Un appareil radar Doppler, qui permet l'observation précise de variations temporelles et spatiales du vent a été récemment utilisé en tant que moyens pour observer des phénomènes météorologiques tels qu'un nuage, de la pluie et du brouillard.

10 D'une manière générale, un appareil radar Doppler pour réaliser une observation météorologique (désigné ci-après de façon abrégée par "appareil radar météorologique") projette une onde impulsionnelle (qui sera désignée ci-après sous l'expression "signal impulsionnel d'émission")
15 constitué par une pluralité d'impulsions sur une cible telle qu'un nuage, de la pluie ou du brouillard, qui est un objet d'observation, mesure une différence de la phase Doppler entre les impulsions reçues, sur la base d'un effet Doppler à partir d'une onde sinusoïdale (qui sera désignée
20 ci-après sous l'expression "signal impulsionnel reçu") réfléchi par la cible, et calcule la vitesse Doppler de la cible sur la base de cette différence de phase Doppler. Il existe des systèmes de traitement de signaux servant à calculer la vitesse Doppler de la cible : un système FFT,
25 dans lequel un spectre de fréquences est obtenu par échantillonnage de chacune des impulsions de signaux impulsionnels reçus réfléchis et conversion d'une série temporelle de signaux impulsionnels reçus au moyen d'un traitement dit FFT (c'est-à-dire une transformation de
30 Fourier rapide), et un système de traitement de couples d'impulsions, dans lequel une différence de phase moyenne entre des signaux impulsionnels reçus est obtenue sur la base d'une variation de phase entre deux impulsions.

Comme émetteur pour ce type d'appareil radar
35 météorologique, on utilise un émetteur à magnétron

utilisant un tube d'émission à magnétron (tube d'émission auto-oscillant) pour satisfaire à des exigences telles qu'une fabrication rapide et des faibles coûts.

Par exemple, un appareil radar MTI utilisant un
5 magnétron en tant qu'émetteur est décrit dans la demande de brevet japonais mise à l'inspection publique N° Hei 3-54495. Une partie des signaux de transmission délivrés par un magnétron 1 sont filtrés par un coupleur directionnel 17 pour former un signal en avance de phase en
10 tant que référence pour la détection de phase de détecteurs de phase 1 à 4 ou 11 et 12, et la phase d'un signal de réception reçu par une antenne 4 est détectée sur la base de ce signal en avance de phase pour l'obtention du signal de sortie d'une onde détectée de phase très stable et très
15 précise.

D'une manière générale, dans un appareil radar Doppler de l'art antérieur utilisant un émetteur auto-oscillant tel qu'un magnétron (un émetteur à magnétron sera décrit plus loin à titre d'exemple), il existe différentes
20 erreurs de mesure de la vitesse radar sur la base de l'instabilité de fréquence de ce magnétron. Pour compenser les erreurs de mesure de la vitesse Doppler provoquées par l'instabilité de la caractéristique de fréquence de ce magnétron, on utilise différents systèmes. Dans un appareil
25 radar décrit dans la demande de brevet japonais mise à l'inspection publique N° Hei 3-54495 indiqué précédemment, un signal en avance de phase est formé par un signal impulsional d'émission délivré par un magnétron pour chaque impulsion d'émission, et la phase d'un signal
30 impulsional reçu est détectée sur la base de ce signal en avance de phase pour empêcher une altération de la précision de mesure par compensation d'une différence de phase initiale entre des impulsions d'émission, qui est l'une des causes des erreurs de mesure de la vitesse
35 Doppler provoquées par l'instabilité de la fréquence du

magnétron.

Contrairement à ce système de compensation de phase analogique (qui sera désignée ci-après comme étant un "système à verrouillage de phase analogique"), il existe un système permettant de corriger la phase d'une impulsion reçue en utilisant un signal numérique converti, par exemple un système (qui sera désigné ci-après sous l'expression "système à verrouillage de phase numérique"), dans lequel la phase d'un signal de réception est corrigée numériquement moyennant l'utilisation d'un signal numérique converti, est décrit au chapitre "B. Amplitude and Phase Memory" à la page 283, colonne de gauche de "The RONSARD Radars : A Versatile C-band Dual Doppler facility", IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE ELECTRONICS, vol. GE-17, N° 4, 15 octobre 1979. Un appareil radar météorologique utilisant ce système à verrouillage de phase numérique ne requiert pas un réglage directe de la phase d'un signal délivré par un oscillateur cohérent (également désigné sous l'abréviation COHO) et peut corriger numériquement la phase du signal 20 contrairement au système à verrouillage de phase analogique. C'est pourquoi, on peut obtenir une précision suffisamment élevée lors de la correction de la phase, par rapport au système analogique.

Conformément à des appareils radar utilisant ces systèmes de réception, même lorsqu'un émetteur à magnétron possédant des caractéristiques de fréquences très instables est utilisé en tant qu'unité d'émission, la référence de mesure de la phase d'un signal impulsionnel reçu est réglée pour chaque impulsion reçue et une altération de la 30 précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par une différence de la phase initiale entre les impulsions d'émission peut être empêchée.

Cependant, dans les appareils radar de l'art antérieur utilisant les systèmes de réception décrits 35 précédemment (y compris un appareil radar météorologique),

bien qu'une altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par une différence de la phase initiale entre des impulsions d'émission puisse être empêchée, (1) une différence entre les instants de sortie d'impulsions d'émission et (2) une altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par une instabilité ou analogue au moment de l'échantillonnage d'une forme d'onde d'émission ne peuvent pas être empêchées. Même si la vitesse Doppler de la cible est observée moyennant une compensation de la phase initiale, la mesure très précise de la vitesse Doppler, qui est exempte de toute altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler sur la base de la caractéristique de fréquence de l'émetteur à magnétron ne peut pas être obtenue.

On va décrire respectivement en référence à la figure 15 et à la figure 16 annexées à la présente demande l'altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler due à une différence entre les instants de sortie des impulsions d'émission et à une altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par une instabilité ou analogue au moment de l'échantillonnage d'une forme d'onde d'émission. La figure 15 est un schéma représentant la relation entre des impulsions d'émission délivrées par l'émetteur à magnétron et une unité de signal de déclenchement maître, et la figure 16 représente un schéma représentant la caractéristique de chaque impulsion d'émission représentée sur la figure 15. La figure 15 représente la relation de sortie entre deux première et seconde impulsions d'émission quelconques d'un signal d'émission constitué par une pluralité d'impulsions et un signal de déclenchement maître. L'expression "signal de déclenchement maître" désigne un signal de synchronisation qui est la base de la synchronisation dans le temps entre une opération d'émission et une opération de réception, et

un signal pour spécifier la fréquence de répétition des impulsions d'un signal impulsionnel d'émission projeté sur un objet observé.

Lorsque la caractéristique de fréquence de l'émetteur est stable, le cycle de répétition des impulsions d'un signal impulsionnel d'émission pour une antenne d'émission devient constant conformément à la fréquence de répétition des impulsions. Cependant, dans le cas d'un appareil radar utilisant un émetteur auto-oscillant tel qu'un émetteur à magnétron, la caractéristique de fréquence de l'émetteur est très instable et chaque impulsion d'émission d'un signal impulsionnel d'émission est délivrée par l'émetteur avant ou après le signal de déclenchement maître, qui est un signal de synchronisation. Cette opération d'émission est une opération basée sur l'instabilité de la fréquence de l'émetteur, qui peut apparaître même lorsque le cycle de l'impulsion d'un signal de déclenchement devant être appliqué à l'émetteur est réglé constant en fonction de la fréquence de répétition des impulsions. La relation entre l'instant de sortie du signal de déclenchement maître et l'instant de sortie d'une impulsion d'émission est telle que représentée sur la figure 15 (sur la figure 15 la première impulsion d'émission est synchronisée sur le signal de déclenchement maître, mais la seconde impulsion d'émission n'est pas synchronisée sur le signal de déclenchement maître). Le signal impulsionnel d'émission est constitué par une pluralité d'impulsions. Par conséquent, le signal impulsionnel d'émission délivré par l'émetteur à magnétron possédant une caractéristique de fréquence instable, tel qu'un émetteur à magnétron, inclut une impulsion de transmission qui est délivrée avant ou après le signal de déclenchement maître. Le signal impulsionnel d'émission, qui possède un cycle irrégulier de répétition d'impulsions, dans son ensemble est projeté en

direction de l'objet observé.

Un signal impulsionnel reçu, réfléchi par l'objet observé, est échantillonné par un convertisseur analogique/numérique en fonction de l'instant de sortie du signal de déclenchement maître, qui est un signal de synchronisation comme décrit précédemment. Les positions d'échantillonnage d'impulsions reçues échantillonnées par le convertisseur analogique/numérique sont les mêmes étant donné que l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission est synchrone avec l'instant de sortie du signal de déclenchement maître. Comme cela a été décrit précédemment, en ce qui concerne un signal impulsionnel reçu correspondant à un signal impulsionnel d'émission qui est asynchrone par rapport au signal de déclenchement maître, c'est-à-dire est délivré avant ou après ce signal de déclenchement maître, les positions d'échantillonnage d'impulsions reçues diffèrent les unes des autres.

La mesure de la vitesse Doppler est exécutée sur la base d'une différence de la phase Doppler entre des impulsions reçues mesurées dans des positions d'échantillonnage, c'est-à-dire une différence de la phase Doppler entre des impulsions reçues. Lorsque les positions d'échantillonnage d'impulsions reçues diffèrent l'une de l'autre en raison d'une différence des instants d'émission comme décrit précédemment, la vitesse Doppler de l'objet observé est observée à partir de chacune des différences de la phase Doppler mesurées dans les positions d'échantillonnage qui diffèrent les unes des autres. Par exemple, en ce qui concerne des impulsions reçues (non représentées) correspondant à des première et seconde impulsions d'émission représentées sur la figure 15, la phase Doppler d'une première impulsion reçue est mesurée dans une position "a", qui est une partie montante de l'impulsion, et la phase Doppler d'une seconde impulsion reçue est mesurée dans une position "b", qui est une partie

retombante de l'impulsion (pourvu que l'échantillonnage soit exécuté lors d'une montée du signal de déclenchement maître).

On va décrire les caractéristiques impulsionnelles d'un signal impulsionnel d'émission délivré par un émetteur à magnétron, tel que représenté sur la figure 16, et on va indiquer ci-après de façon détaillée l'altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler sur la base de la caractéristique impulsionnelle de ce signal impulsionnel d'émission. La caractéristique impulsionnelle d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'émetteur à magnétron possède une caractéristique temps-amplitude et une caractéristique temps-phase telles que représentées sur la figure 16 en raison de l'instabilité de sa caractéristique de fréquence. Sur la figure 16, le graphique supérieur représente une caractéristique d'amplitude et le graphique inférieur représente une caractéristique de phase. Le temps est porté sur l'axe des abscisses des diagrammes supérieur et inférieur. La phase d'une impulsion d'émission délivrée par l'émetteur à magnétron varie selon une forme complexe (la vitesse de variation de la phase n'est pas constante), depuis une montée jusqu'à une retombée de l'impulsion comme représenté dans le diagramme inférieur de la caractéristique de phase de la figure 16.

Par conséquent, même lorsque la vitesse Doppler d'un objet fixe est mesurée à partir d'un signal impulsionnel reçu réfléchi par l'objet fixe, les positions d'échantillonnage d'impulsions reçues diffèrent les unes des autres comme représenté sur la figure 15, la vitesse Doppler de l'objet fixe est mesurée à partir d'une différence de la phase Doppler entre des impulsions reçues mesurées dans des positions d'échantillonnage qui diffèrent les unes des autres.

Par exemple, lorsque des impulsions reçues correspondant aux impulsions d'émission représentées sur la

figure 15 sont réfléchies par l'objet fixe et que la position de mesure de phase de la première impulsion reçue est une partie montante d'impulsion (position indiquée par une flèche gauche dans le diagramme de la caractéristique d'amplitude) et la position de mesure de phase d'une
5 seconde impulsion reçue est une partie montante d'impulsion comme représenté sur la figure 16 (position indiquée par une flèche droite sur le diagramme de la caractéristique d'amplitude), l'objet observé, qui possède en réalité une
10 vitesse Doppler égale à 0, est évalué comme possédant une différence de phase Doppler T_i comme cela est représenté dans le diagramme inférieur de la caractéristique de phase de la figure 16, et l'objet observé est considéré comme se déplaçant à une vitesse Doppler correspondant à la
15 différence de phase Doppler T_i .

D'une manière générale, lorsque la vitesse Doppler de l'objet observé est calculée au moyen d'un procédé de traitement de couples d'impulsions ou analogues, la vitesse Doppler de l'objet observé est calculée à partir d'une
20 différence de la phase Doppler entre deux impulsions quelconques reçues d'un signal impulsionnel reçu, réfléchi par l'objet observé. Lorsque les phases Doppler de ces impulsions reçues sont mesurées dans la même position de mesure de phase, la vitesse Doppler de l'objet observé, qui
25 ne se déplace pas en soi, comme par exemple un bâtiment, ne produit aucun effet Doppler, la différence des phases Doppler des impulsions reçues est mesurée comme étant nulle, et la vitesse Doppler est observée comme étant nulle. Cependant, un signal impulsionnel d'émission délivré
30 par l'émetteur à magnétron est délivré à un instant d'émission qui diffère de l'instant de sortie du signal de déclenchement maître comme décrit précédemment. Par conséquent, lorsqu'un signal impulsionnel reçu correspondant au signal impulsionnel d'émission délivré à
35 cet instant d'émission est échantillonné à l'instant de

sortie du signal de déclenchement maître, les positions d'échantillonnage d'impulsions reçues, c'est-à-dire les positions de mesure de phase d'impulsions reçues diffèrent les unes des autres, et une vitesse Doppler erronée est observée.

Dans l'appareil radar utilisant l'émetteur à magnétron, l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission provenant de l'émetteur diffère de l'instant de sortie du signal de déclenchement maître en raison de l'instabilité de la caractéristique du magnétron. Même si une différence entre les phases initiales des impulsions d'émission d'un signal impulsionnel d'émission est compensée, une erreur est produite lors de la mesure de la phase Doppler de chaque impulsion reçue en raison de la différence décrite précédemment de l'instant d'émission, et à une variation de phase entre des impulsions d'émission, ce qui a pour effet que la précision de mesure de la vitesse Doppler diminue fortement. L'erreur de mesure de la vitesse Doppler sous l'effet de la différence concernant l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission est désignée sous l'expression "erreur de biais de la vitesse Doppler" pour la distinguer d'une erreur provoquée par la différence décrite précédemment entre les phases initiales des impulsions d'émission. La caractéristique impulsionnelle d'une impulsion d'émission diffère en fonction du type ou autre d'un magnétron utilisé dans chaque émetteur. Dans un tube amplificateur tel qu'un klystron, il n'existe aucune variation de phase entre des impulsions d'émission comme cela est représenté dans le diagramme caractéristique de phase de la figure 16, c'est-à-dire que la phase est constante depuis un instant de montée d'impulsion jusqu'à un instant de retombée de l'impulsion. Même si les positions de mesure de phase des impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu correspondant diffèrent les unes des autres, les phases

Doppler mesurées sont presque identiques et le problème décrit précédemment de l'émetteur à magnétron apparaît difficilement.

Une autre erreur de mesure de la vitesse Doppler
5 produite sur la base d'une variation de phase entre des impulsions d'émission représentées sur la figure 16 est une erreur aléatoire de la vitesse Doppler. C'est une erreur produite par une instabilité au moment de l'échantillonnage d'un signal impulsional reçu contrairement à une erreur de
10 mesure de la vitesse Doppler produite sur la base d'une différence d'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission. Ceci se produit lorsque l'instant d'échantillonnage d'une impulsion reçue est décalé par rapport à une position d'échantillonnage prédéterminée et
15 ce sous l'effet de l'instabilité du convertisseur analogique/numérique. Par exemple s'il s'agit d'une erreur produite par un décalage de la position d'échantillonnage dans la zone représentée par des traits obliques sur la figure 16.

20 Par conséquent, pour mesurer une vitesse Doppler extrêmement précise en empêchant une altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par une instabilité de la caractéristique de l'émetteur à magnétron, la vitesse Doppler doit être mesurée sans
25 altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par des erreurs de mesure en tenant compte des deux erreurs décrites précédemment (erreur de biais et erreur aléatoire).

Un appareil radar météorologique doit être à même
30 de recevoir fréquemment des ondes réfléchies par des gouttes de pluie et mesurer un nuage de pluie à une certaine distance d'un rideau de pluie. Dans de nombreux cas, on utilise une longueur d'onde dans la bande C ($\lambda = 5$ cm), pour mesurer des particules d'un nuage ayant un
35 diamètre inférieur à quelques dizaines de micromètres et un

brouillard, il faut utiliser une onde impulsionnelle ayant une longueur d'onde inférieure à une onde centimétrique, par exemple une onde électromagnétique ayant une bande de fréquences telle qu'une bande W ($\lambda = 3$ mm) ou une bande Ka (8,7 mm). Lorsque la vitesse Doppler de la cible est mesurée moyennant l'utilisation d'une onde électromagnétique à haute fréquence possédant une longueur d'onde relativement courte, l'intervalle entre les impulsions d'une onde électromagnétique projetée sur la cible, c'est-à-dire le cycle de répétition d'impulsions, doit être réglé sur une durée inférieure à celle de la bande C, à partir de sa relation avec la dénaturation de la vitesse Doppler (gamme maximale de vitesse mesurable), c'est-à-dire la reproductibilité des signaux.

D'une manière générale, plus la bande de fréquences utilisée est élevée, plus la fréquence Doppler augmente. Pour détecter d'une manière précise le contenu d'un signal de réception ayant une fréquence Doppler élevée, il faut échantillonner un grand nombre de fois le signal de réception. Pour accroître le nombre d'échantillonnages exécutés, il faut choisir un cycle de répétition d'impulsions (intervalle entre impulsions) court, ce qui a pour effet que l'influence d'un écho hors distance ou hors cycle devient importante. C'est-à-dire que lorsque la vitesse Doppler de la cible est mesurée au moyen d'un signal impulsionnel d'émission dont les impulsions d'émission sont séparées par un intervalle relativement court, à savoir un cycle court de répétition d'impulsions, un écho hors distance, comme par exemple un deuxième écho hors distance, un troisième écho hors distance ou un quatrième écho hors distance réfléchis par un objet autre que la cible est aisément inclus dans un signal impulsionnel reçu réfléchi par la cible, et la vitesse Doppler de la cible doit être calculée à partir d'un mauvais signal impulsionnel reçu, qui est fortement

influencé par l'écho hors distance.

Bien que l'appareil radar météorologique classique utilisant un émetteur à magnétron possède un avantage tel que l'émetteur peut être fabriqué plus facilement et à un
5 coût inférieur à un émetteur ayant un tube amplificateur tel qu'un klystron, la caractéristique de fréquence de l'émetteur est très instable et des erreurs de mesure de la vitesse Doppler sont obtenues sur la base d'un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission et
10 d'une instabilité au moment de l'échantillonnage d'un signal impulsionnel reçu en plus d'une différence entre les phases initiales des impulsions émises, ce qui réduit la précision de mesure de la vitesse Doppler de la cible.

Pour mesurer des particules d'un nuage ayant un
15 diamètre de particules inférieur à quelques dizaines de micromètres et du brouillard, il faut utiliser une onde d'impulsion, dont la longueur est inférieure à un centimètre. Dans ce cas, le cycle de répétition d'impulsions du signal impulsionnel d'émission doit être
20 réglé sur une durée nettement inférieure à celle de la bande C, à partir de sa relation avec la dénaturation de la vitesse Doppler ou analogue, et la vitesse Doppler de la cible doit être mesurée à partir d'un mauvais signal de réception qui est fortement influencée par un écho hors
25 distance.

Un but de la présente invention, qui a été mise au point pour éliminer les problèmes indiqués précédemment, est de fournir un appareil radar météorologique pourvu d'une nouvelle structure et qui permette une observation
30 météorologique de grande précision tout en empêchant une altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission en raison de l'instabilité de la caractéristique de l'émetteur ou de l'altération de
35 la précision de mesure de la vitesse Doppler sur la base

d'une variation de phase entre des impulsions d'émission.

Un autre but de la présente invention est de fournir un appareil radar météorologique possédant une nouvelle structure et qui permette d'empêcher l'influence
5 d'un écho hors distance sur un signal impulsional reçu pour empêcher une détérioration de la précision de mesure provoquée par l'écho hors distance lorsque de fines particules d'un nuage ayant un diamètre inférieur à quelques dizaines de micromètres, du brouillard ou analogue
10 ou observés.

Selon un premier aspect de la présente invention, il est prévu un appareil radar météorologique destiné à projeter un signal impulsional d'émission constitué par une pluralité d'impulsions délivrées par une unité
15 d'émission en direction d'une cible et calculer la vitesse Doppler de la cible à partir d'un signal impulsional reçu réfléchi par cette dernière, caractérisé en ce que la vitesse Doppler d'une cible de référence est calculée et l'instant d'émission du signal impulsional d'émission
20 délivré par l'unité d'émission est corrigé sur la base de la vitesse Doppler de la cible de référence de telle sorte que la vitesse Doppler de la cible de référence s'annule.

Selon un second aspect de la présente invention, il est prévu un appareil radar météorologique, caractérisé en
25 ce qu'il comporte une unité d'émission servant à délivrer un signal impulsional d'émission constitué par une pluralité d'impulsions, une unité formant antenne d'émission-réception pour projeter le signal impulsional d'émission en direction d'une cible et recevoir un signal
30 impulsional reçu réfléchi par la cible, une unité de réception pour détecter la phase du signal impulsional reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception, une unité de calcul de la vitesse Doppler pour calculer la vitesse Doppler de la cible à partir des
35 impulsions reçues, dont les phases sont détectées par

l'unité de réception, une unité de calcul de synchronisation d'impulsions pour le calcul d'un décalage de la synchronisation des impulsions du signal impulsionnel d'émission à partir de la vitesse Doppler d'une cible de
5 référence calculée par l'unité de calcul de la vitesse Doppler, et une unité de commande de l'instant d'émission pour corriger l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission sur la base du décalage de la synchronisation des impulsions, calculée par
10 l'unité de calcul de la synchronisation des impulsions de sorte que la vitesse Doppler de la cible de référence s'annule.

Selon un troisième aspect de l'invention, il est prévu un appareil radar météorologique, caractérisé en ce
15 que la vitesse Doppler de la cible est calculée dans une position de mesure de phase, dans laquelle la vitesse de variation de la phase des impulsions reçues du signal impulsionnel reçu est relativement faible.

Selon un quatrième aspect de la présente invention,
20 il est prévu un appareil radar météorologique, caractérisé en ce qu'il comporte une unité d'émission pour délivrer un signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions, une unité formant antenne d'émission-réception pour projeter le signal impulsionnel d'émission
25 en direction d'une cible et recevoir un signal impulsionnel reçu, réfléchi par la cible, une unité de réception pour convertir à grande vitesse le signal impulsionnel reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception, en un signal numérique, une unité de calcul de la vitesse
30 Doppler servant à calculer la vitesse Doppler de la cible à partir des formes d'ondes d'amplitudes des impulsions reçues converties par l'unité de réception, une unité de calcul de cycle d'impulsions pour calculer un décalage de la synchronisation des impulsions du signal impulsionnel
35 d'émission à partir des formes d'ondes d'amplitudes des

impulsions d'émission converties par l'unité de réception, et une unité de commande de l'instant d'émission pour corriger l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission sur la base du
5 décalage de la synchronisation des impulsions calculée par l'unité de calcul du cycle d'impulsions, de manière que la vitesse Doppler d'une cible de référence s'annule.

Selon un cinquième aspect de la présente invention, il est prévu un appareil radar météorologique pour projeter
10 signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions délivrées par une unité d'émission en direction d'une cible et calculer la vitesse Doppler de la cible à partir d'un signal impulsionnel reçu réfléchi par cette dernière, caractérisé en ce que la vitesse Doppler
15 d'une cible de référence est mémorisée en tant que valeur de correction de la vitesse Doppler et que la vitesse Doppler de la cible est corrigée avec cette valeur de correction de la vitesse Doppler.

Selon un sixième aspect de la présente invention, il est prévu un appareil radar météorologique, caractérisé
20 en ce qu'il comporte une unité d'émission pour délivrer un signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions, une unité formant antenne d'émission-réception pour projeter un signal impulsionnel d'émission
25 en direction d'une cible et recevoir un signal impulsionnel reçu, réfléchi par la cible, une unité de réception pour détecter la phase du signal impulsionnel reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception, une unité de calcul de la vitesse Doppler pour calculer la vitesse
30 Doppler de la cible à partir des impulsions reçues, dont les phases sont détectées par l'unité de détection, et une unité de correction de la vitesse Doppler pour mémoriser une vitesse Doppler sur une cible de référence calculée au moyen de l'unité de calcul de la vitesse Doppler en tant
35 que valeur de correction de la vitesse Doppler, la vitesse

Doppler de la cible calculée par l'unité de calcul de la vitesse Doppler étant corrigée sur la base de la valeur de correction de la vitesse Doppler mémorisée dans l'unité de correction de la vitesse Doppler.

5 Selon un septième aspect de la présente invention, il est prévu un appareil radar météorologique, caractérisé en ce que la cible de référence est constituée par des moyens de retardement/réflexion prévus à l'intérieur de l'appareil.

10 Selon un huitième aspect de la présente invention, il est prévu un appareil radar météorologique, caractérisé en ce qu'une pluralité de signaux impulsionnels d'émission sont émis et les instants d'émission des signaux impulsionnels d'émission sont corrigés sur la base d'une
15 valeur moyenne et d'une variance des vitesses Doppler calculées à partir d'une pluralité de signaux impulsionnels reçus correspondant à la pluralité de signaux impulsionnels d'émission.

 Selon un neuvième aspect de la présente invention,
20 il est prévu un appareil radar météorologique pour projeter signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions délivrées par une unité d'émission en direction d'une cible et calculer la vitesse Doppler de la cible à partir d'un signal impulsionnel reçu réfléchi par
25 cette dernière, caractérisé en ce que cet appareil comporte un coupleur directionnel pour prélever une partie du signal impulsionnel d'émission pour l'envoyer à l'unité de réception, une unité de détection de synchronisation des impulsions pour calculer un décalage de la synchronisation
30 des impulsions du signal impulsionnel d'émission par rapport au signal impulsionnel d'émission prélevé par le coupleur directionnel et pour détecter l'instant d'échantillonnage du signal impulsionnel reçu par l'unité de réception sur la base du décalage de synchronisation des
35 impulsions, et des moyens de commande de l'instant

d'échantillonnage pour commander l'instant d'échantillonnage de l'unité de réception sur la base de l'instant d'échantillonnage détecté par l'unité de détection de la synchronisation des impulsions.

5 Selon un dixième aspect de la présente invention, il est prévu un appareil radar météorologique, caractérisé en ce que le signal impulsionnel d'émission est constitué de deux impulsions.

 Selon un onzième aspect de la présente invention,
10 il est prévu un appareil radar météorologique, qui est monté sur un corps mobile permettant de modifier le site de mesure de la vitesse Doppler.

 D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description donnée
15 ci-après prise en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

 - la figure 1 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique selon une forme de réalisation de la présente invention ;

20 - la figure 2 est un schéma permettant d'expliquer des conditions d'observation météorologique conformément à la forme de réalisation de la présente invention ;

 - les figures 3(a) à 3(c) sont des diagrammes permettant d'expliquer les systèmes de mesure et de calcul
25 de la vitesse Doppler conformément à la forme de réalisation de la présente invention ;

 - la figure 4 est un organigramme illustrant le fonctionnement de l'appareil radar météorologique conformément à la forme de réalisation de la présente
30 invention ;

 - les figures 5(a) et 5(b) sont des diagrammes représentant la caractéristique d'impulsion d'un signal impulsionnel d'émission délivré par une unité d'émission de l'appareil radar météorologique conformément à la forme de
35 réalisation de la présente invention ;

- la figure 6 est un schéma représentant le contenu de la mesure de la vitesse Doppler conformément à la forme de réalisation de la présente invention ;

5 - la figure 7 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique selon une autre forme de réalisation de la présente invention ;

- la figure 8 est un schéma-bloc de l'unité de réception de l'appareil radar météorologique conformément à la forme de réalisation de la présente invention ;

10 - la figure 9 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique selon une autre forme de réalisation de la présente invention ;

15 - la figure 10 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique selon une autre forme de réalisation de la présente invention ;

- les figures 11(a) à 11(g) sont des chronogrammes permettant d'expliquer les instants d'échantillonnage des impulsions reçues de l'appareil radar météorologique représenté sur la figure 10 ;

20 - la figure 12 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique conformément à une autre forme de réalisation de la présente invention ;

25 - les figures 13(a) à 13(e) sont des chronogrammes permettant d'expliquer les instants d'échantillonnage des impulsions reçues d'après un radar météorologique représenté sur la figure 12 ;

- la figure 14 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique selon une autre forme de réalisation de la présente invention ;

30 - la figure 15, dont il a déjà été fait mention, est un diagramme permettant d'expliquer les instants de sortie des impulsions d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par un émetteur à magnétron, et un signal de déclenchement maître ; et

35 - la figure 16, dont il a déjà été fait mention est

un diagramme représentant la caractéristique impulsionnelle de chaque impulsion d'émission de la figure 15.

On va donner ci-après une description détaillée des formes de réalisation préférées.

5 Forme de réalisation 1

On va décrire ci-après une forme de réalisation préférée de l'invention en référence aux figures 1 à 6. La figure 1 représente un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique conformément à une première forme de
10 réalisation de la présente invention. Sur la figure 1, le chiffre de référence 1 désigne une unité de commande de l'instant d'émission, qui sert à commander l'instant d'émission de chaque impulsion d'émission sur la base d'un décalage de la synchronisation des impulsions d'un signal
15 impulsionnel d'émission, qui sera décrit plus loin, le chiffre de référence 2 désigne une unité de délivrance d'une impulsion de synchronisation, commandée par l'unité 1 de commande de l'instant d'émission, pour délivrer une pluralité d'impulsions de prédéclenchement (pour délivrer
20 un signal impulsionnel d'émission à une unité de transmission ou d'émission 3) et un signal impulsionnel de synchronisation (qui sera désigné ci-après sous l'expression "signal de déclenchement maître") consistant en une pluralité d'impulsions de déclenchement maître, qui sont les références de temps du
25 cycle de répétition d'impulsions d'un signal impulsionnel d'émission, c'est-à-dire une fréquence de répétition d'impulsions, le chiffre de référence 4 désigne une unité de production de signaux impulsionnels servant à produire un signal impulsionnel qui est un signal modulé basé sur
30 chaque impulsion de prédéclenchement délivré par l'unité 2 de délivrance des impulsions de synchronisation, et le chiffre de référence 5 désigne un élément d'émission de l'unité d'émission 3 constitué par un tube d'émission auto-oscillant tel qu'un magnétron, pour la délivrance
35 d'impulsions d'émission à haute fréquence modulées par un

signal de modulation d'impulsion délivré par l'unité 4 de production de signaux impulsionnels pour chaque signal impulsionnel d'émission.

Le signal de déclenchement maître est un signal qui
5 est la base de temps usuelle pour des opérations d'émission et de réception. Ce signal est produit à un instant prédéterminé après la délivrance d'une impulsion de prédéclenchement. Lorsque des impulsions d'émission produites par l'unité d'émission 3 sont synchrones avec les
10 instants des impulsions de déclenchement maître, l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission est synchronisé sur l'instant de l'impulsion de déclenchement maître et, lorsque des impulsions d'émission sont asynchrones par rapport à l'instant de l'impulsion de
15 déclenchement maître, l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission n'est pas synchronisé sur l'instant du signal de déclenchement maître. Même lorsqu'un signal impulsionnel est reçu provenant de la cible et correspondant à un signal impulsionnel d'émission possédant
20 un tel décalage de synchronisation d'impulsion est échantillonné sur la base de l'instant de l'impulsion de déclenchement maître, la position d'échantillonnage de chaque impulsion reçue diffère de la position d'échantillonnage prédéterminée en raison du décalage de la
25 synchronisation de l'impulsion du signal impulsionnel reçu.

Le chiffre de référence 6 désigne un circulateur servant à délivrer un signal impulsionnel d'émission provenant d'un élément d'émission 5 à une unité formant
antenne d'émission-réception 7 et délivrer un signal
30 impulsionnel reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception 7 en direction de l'unité de réception 11 qui sera décrite plus loin, le chiffre de référence 7 désigne une unité formant antenne d'émission-réception, qui peut tourner selon un angle d'élévation et un angle d'azimut,
35 pour projeter un signal impulsionnel d'émission constitué

par une pluralité d'impulsions délivrées par l'élément d'émission 5 en direction de la cible ou analogue avec une largeur de faisceau prédéterminée et recevoir un signal impulsional reçu constitué par une pluralité d'impulsions réfléchies par la cible ou analogue, le chiffre de référence 8 désigne des moyens de commutation, dont la connexion est commutée en fonction d'instantanés d'émission et de réception par des moyens de commande tels que l'unité 1 de commande des instantanés d'émission pour envoyer un signal en avance de phase, qui fait partie de la puissance d'un signal impulsional d'émission prélevée par un coupleur directionnel 17, et un signal impulsional reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception 7, à l'unité de réception 11, qui sera décrite plus loin, à des instantanés prédéterminés respectifs (associés à un point "a" pour l'envoi du signal en avance de phase à l'unité de réception 11 lorsque le signal impulsional d'émission est projeté en direction d'une cible de référence ou en direction de la cible et associé à un point "b" pour l'envoi du signal impulsional reçu à l'unité de réception 11 lorsque le signal impulsional reçu réfléchi par la cible de référence ou par la cible est reçu), le chiffre de référence 9 désigne un oscillateur local (qui sera désigné ci-après sous le sigle STALO) pour la délivrance d'un signal d'oscillation local possédant une fréquence prédéterminée, le chiffre de référence 10 désigne un mélangeur servant à convertir un signal impulsional de référence ou un signal impulsional reçu en un signal IF possédant une fréquence intermédiaire avec un signal d'oscillation local délivré par l'oscillateur STALO 9, le chiffre de référence 9 désigne l'unité de réception servant à délivrer un signal vidéo de réception par détection de la phase du signal en avance de phase ou du signal impulsional amené par conversion à une fréquence intermédiaire par le mélangeur 10.

L'appareil radar météorologique selon la présente forme de réalisation est un appareil radar météorologique qui utilise un système à verrouillage de phase numérique pour obtenir aisément une précision désirée de correction
5 de phase. L'appareil radar météorologique selon la présente invention est caractérisé en ce qu'une observation météorologique d'une précision supérieure devient possible, par le fait qu'une altération de la position de mesure de vitesse Doppler est empêchée, altération qui est due à
10 l'intervalle de temps décrit précédemment entre des instants d'émission d'un signal impulsionnel d'émission ou analogue, tandis que la correction d'une différence entre les phases initiales des impulsions d'émission du signal impulsionnel d'émission provoquée par le système de
15 verrouillage à phase numérique, est exécutée. La présente invention peut également être appliquée à un appareil radar météorologique utilisant un système de correction de phase analogue, mais on n'en donnera pas la description détaillée.

20 Le chiffre de référence 12 représente une unité de traitement de la vitesse Doppler servant à exécuter le calcul de la vitesse Doppler de la cible ou de la cible de référence à partir d'un signal impulsionnel reçu, et l'affichage sur une unité d'affichage 16 sur la base de la
25 vitesse Doppler calculée ou analogue, le chiffre de référence 13 désigne une unité de calcul de la vitesse Doppler servant à calculer la vitesse de la cible ou de la cible de référence à partir d'une différence de phase entre les impulsions reçues d'un signal vidéo de réception
30 délivré par l'unité de réception 11, le chiffre de référence 14 désigne une unité de calcul de synchronisation d'impulsions pour calculer un décalage de la synchronisation des impulsions d'un signal impulsionnel d'émission par rapport à un signal de déclenchement maître,
35 c'est-à-dire une différence entre les instants d'émission

sur la base de la vitesse Doppler mesurée de la cible de référence, et le chiffre de référence 15 désigne une unité de traitement de données servant à traiter des données de sorte qu'un opérateur tel qu'un contrôleur peut vérifier et
5 contrôler la cible et sa vitesse Doppler moyennant l'affichage de la vitesse Doppler de la cible calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler et analogue, sur une unité d'affichage 16 tel qu'un moniteur, conjointement avec les dimensions, la forme et le type de la cible.

10 L'unité 14 de calcul de synchronisation des impulsions de l'appareil radar météorologique selon la forme de réalisation représentée sur la figure 1 calcule un décalage de la synchronisation des impulsions d'un signal impulsional d'émission délivré par une unité d'émission 3
15 sur la base des différences de phase Doppler entre les impulsions reçues d'un signal impulsional reçu, réfléchi par la cible de référence. Etant donné qu'en tant que système de calcul d'un décalage de la synchronisation de l'impulsion de l'appareil radar météorologique selon la
20 présente invention, on peut utiliser non seulement un système décrit dans la présente forme de réalisation, mais également un système servant à calculer un décalage d'une synchronisation des impulsions basée sur une différence de la durée de mesure entre des formes d'onde d'amplitude par
25 mesure des formes d'ondes d'amplitudes d'impulsions d'émission à partir des formes d'onde d'échantillonnage des impulsions d'émission, qui seront décrites ci-après. Le décalage calculé de la synchronisation des impulsions d'un signal impulsional d'émission (qui sera désigné ci-après
30 sous l'expression "décalage de l'instant d'émission") est renvoyé par un signal de correction de cadence de l'instant d'émission à l'unité 1 de commande des instants d'émission, qui décale l'instant de sortie de chaque impulsion de prédéclenchement (constitué par une pluralité d'impulsions
35 de déclenchement correspondant aux impulsions d'émission

d'un signal impulsionnel d'émission) délivré par l'unité 2 de sortie d'impulsion de synchronisation sur la base de l'instruction du signal de correction de l'instant d'émission, délivrée par l'unité 14 de calcul de la synchronisation des impulsions.

Le signal de correction de l'instant d'émission délivré par une unité 14 de calcul de la synchronisation des impulsions est un signal de correction servant à corriger les instants de sortie d'impulsions de prédéclenchement de telle sorte que les impulsions d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission 3 sont délivrées en synchronisme avec les instants de sortie d'impulsions de déclenchement maître. L'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission 3 utilisant un tube d'émission auto-oscillant tel qu'un magnétron peut être corrigé en fonction de la caractéristique de fréquence de l'unité d'émission 3 par réglage des instants de sortie d'impulsions de prédéclenchement délivrées par l'unité 2 de délivrance d'impulsions de synchronisation sur la base de ce signal de correction de l'instant d'émission délivré par l'unité 14 de calcul de synchronisation des impulsions. La correction de l'instant d'émission sera décrite ci-après de façon détaillée dans la section de fonctionnement de l'appareil radar météorologique selon la présente invention.

La figure 2 est un diagramme schématique permettant d'expliquer une observation météorologique en utilisant l'appareil radar météorologique selon la présente invention. Comme représenté sur la figure 2, une onde impulsionnelle d'émission (qui sera désigné ci-après comme étant un "signal impulsionnel d'émission") constituée par une pluralité d'impulsions délivrées par l'unité d'émission 3 est projetée en direction d'un nuage qui est un objet observé, à partir de l'unité formant antenne d'émission-

réception 7 avec une largeur de faisceau prédéterminée et une onde réfléchie (qui sera désignée ci-après sous l'expression "signal impulsionnel reçu") constituée par une pluralité d'impulsions réfléchis par ce nuage, est reçue
5 par l'unité formant antenne d'émission-réception 7 pour calculer la vitesse Doppler à partir de ce signal impulsionnel reçu. Par exemple lorsque le nuage représenté sur la figure 2 s'écarte de l'unité formant antenne d'émission-réception 7, un effet Doppler dans cette
10 direction (par exemple une direction positive) est produit entre une impulsions reçue et une différence de phase Doppler dans la direction positive est mesurée. Lorsque le nuage est fixe, une différence de phase Doppler provoquée par l'effet Doppler est mesurée comme étant nulle. Par
15 conséquent le déplacement du nuage est observé sur la base de la mesure de la différence de phase Doppler.

La vitesse Doppler de la cible est calculée sur la base d'une différence de phase Doppler entre les impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu. Lorsque le signal
20 impulsionnel reçu est constitué par au moins deux impulsions reçues, la vitesse Doppler de la cible peut être théoriquement calculée à partir de ces impulsions reçues. Dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, un nombre élevé de signaux impulsionnels
25 d'émission sont projetés sur la cible comme représenté sur la figure 2, en tenant compte de la caractéristique de fréquence d'un émetteur à magnétron utilisé dans l'élément de transmission 5, et les propriétés de la cible sont telles que représentées ci-après et une valeur moyenne des
30 vitesses Doppler calculée à partir de la pluralité de signaux impulsionnels reçus est prise en tant que vitesse Doppler de la cible.

Le nombre de signaux impulsionnels d'émission projetés sur la cible peut être réglé sur le meilleur
35 nombre en tenant compte du rapport signal/bruit du signal

de réception et de la gamme de vitesses de la cible (la cible telle qu'un nuage, de la pluie ou un brouillard est constituée de particules de nuage ou de particules de pluie, son état interne varie de manière irrégulière et est compliqué et la vitesse Doppler diffère en fonction du site
5 de mesure), ce qui permet la mesure de grande précision de la vitesse Doppler de la cible.

On va décrire brièvement, en référence aux figures 3(a) à 3(c) le système de mesure de la vitesse Doppler et
10 le principe de calcul de la vitesse Doppler conformément à cette forme de réalisation. Le calcul d'un décalage de la synchronisation des impulsions d'un signal impulsionnel d'émission par l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation est exécuté sur la base de la vitesse
15 Doppler mesurée de la cible de référence comme décrit précédemment.

Cette forme de réalisation a pour but de mesurer la vitesse Doppler d'une cible telle que des particules d'un nuage, ayant un diamètre de quelques dizaines de
20 micromètres, ou d'un brouillard en utilisant un système de mesure désigné comme étant un "système de mesure à impulsions doubles". Le système de mesure à impulsions doubles est l'un des systèmes permettant de calculer la vitesse Doppler au moyen d'un procédé à couples
25 d'impulsions. Comme représenté sur la figure 3(a) sert à mesurer la vitesse Doppler d'une cible en utilisant un signal impulsionnel d'émission constitué de deux impulsions d'émission, dont l'intervalle est prédéterminé sur la base d'une fréquence d'émission. Sous l'effet de ce système de
30 mesure à doubles impulsions, une altération de la précision de mesure provoquée par un écho hors distance peut être fortement réduite, comme cela sera décrit plus loin.

Lorsqu'un signal impulsionnel d'émission est constitué de deux impulsions comme représenté sur la figure
35 3(a), le cycle d'impulsions (intervalle entre impulsions

dans le cas de deux impulsions) des impulsions d'émission (T_1 , T_2) est réglé sur une courte durée. En augmentant l'intervalle de temps entre les signaux impulsionnels d'émission, on peut réduire l'influence d'un écho hors distance. Par exemple, il est possible de réduire un tel phénomène consistant en ce qu'un N-ème signal impulsional reçu, qui est réfléchi par un objet autre que la cible, comme par exemple la surface de la mer, qui fait apparaître un écho parasite, est inclus dans les signaux impulsionnels reçus $N+1$, $N+2$, ... réfléchis par la cible et reçus, ce qui rend impossible de calculer de façon précise les phases Doppler des impulsions reçues réfléchies par la cible. Comme décrit précédemment, dans l'appareil radar météorologique qui mesure la vitesse Doppler ou analogue en utilisant une onde impulsionalle, la vitesse Doppler maximale mesurable et le temps de corrélation d'un signal impulsional reçu sont inversement proportionnels à la fréquence d'émission d'un émetteur. Par conséquent, l'intervalle entre impulsions d'un signal impulsional d'émission, c'est-à-dire le cycle d'impulsions, doit avoir une durée plus faible dans un appareil radar météorologique ayant une fréquence d'émission plus élevée.

La figure 3(a) est un diagramme d'instantanés d'émission-de réception représentant la relation émission-réception entre un signal impulsional d'émission (T_1 , T_2) et un signal impulsional reçu (R_1 , R_2) réfléchi par la cible correspondant au signal impulsional d'émission de l'appareil radar météorologique conformément à cette forme de réalisation, la figure 3(b) est un diagramme représentant un signal vidéo obtenu par détection de la phase d'un signal impulsional reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception 7, et la figure 3(c) est un diagramme de la phase Doppler représentant la relation entre un signal vidéo (signal du canal I et signal du canal Q) représentée sur la figure

3(b) et une phase Doppler. Comme cela est représenté sur la figure 3(b) et sur la figure 3(c), le signal vidéo impulsionnel reçu est composé d'un signal du canal I et d'un signal du canal Q.

5 D'une manière générale, la vitesse Doppler V_d de la cible ou de la cible de référence, qui va être décrite ci-après, est calculée à partir d'une différence de phase basée sur l'effet Doppler, qui est produit entre les impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu, réfléchi
10 par la cible par exemple et obtenu conformément à la relation suivante :

[relation 1]

$$V_d = f_d \cdot \lambda / 2 \quad (1)$$

f_d est une fréquence Doppler et λ une longueur
15 d'onde d'une onde d'émission (qui sera désignée ci-après sous l'expression "longueur d'onde d'émission"). La fréquence Doppler f_d est obtenue à partir de la relation suivante conformément à la figure 3(b) et à la figure 3(c). La longueur d'onde d'émission diffère en fonction d'une
20 bande de fréquences utilisée dans un appareil radar météorologique, comme par exemple une bande d'ondes millimétriques ou centimétriques.

[relation 2]

$$f_d = (\phi_{i+1} - \phi_i) / 2\pi \cdot \Delta t \quad (2)$$

25 ϕ_i est une phase Doppler d'une première impulsion reçue R_1 , ϕ_{i+1} est une phase Doppler d'une seconde impulsion reçue R_2 , Δt est un intervalle entre l'impulsion reçue R_1 et l'impulsion reçue R_2 , et j est une unité de nombre imaginaire. ϕ_i et ϕ_{i+1} , qui sont les phases Doppler
30 des impulsions reçues R_1 et R_2 peuvent être obtenues à partir des relations suivantes (5) et (6) sur la base de la relation entre le signal du canal I et le signal du canal Q, représentés respectivement sur la figure 3(c) lorsqu'un signal vidéo v_i pour la première impulsions reçue R_1 est
35 représenté par la relation (3) et qu'un signal v_{i+1} pour la

seconde impulsion reçue R2 est représenté par la relation suivante (4).

Dans les relations (5) et (6), "Arg" est une fonction indiquant un angle de phase d'un nombre complexe et les angles de phase des signaux vidéo Vi et Vi+1 peuvent être obtenus à partir des relations respectives (5) et (6).

[relation 3]

$$V_i = (I_i + jQ_i) \quad (3)$$

[relation 4]

$$V_{i+1} = (I_{i+1} + jQ_{i+1}) \quad (4)$$

[relation 5]

$$\phi_i = \text{Arg}(V_i) \quad (5)$$

[relation 6]

$$\phi_{i+1} = \text{Arg}(V_{i+1}) \quad (6)$$

Pour obtenir la vitesse Doppler Vd de la cible, une différence de phase entre les impulsions reçues d'un signal impulsional reçu réfléchi par la cible est ainsi obtenue, une différence de phase entre l'impulsion reçue R1 et l'impulsion reçue R2 est obtenue (à partir des phases Doppler représentées par la relation (3) et la relation (4) dans cette forme de réalisation), et la fréquence Doppler fd de la cible est alors obtenue sur la base de cette différence de phases (à partir de la relation (2) dans cette forme de réalisation). Enfin la vitesse Doppler Vd est obtenue sur la base de cette fréquence Doppler fd (à partir de la relation (1) dans cette forme de réalisation).

On va donner ci-après une description du fonctionnement de l'appareil radar météorologique conformément à cette forme de réalisation.

Dans cette forme de réalisation, on va décrire l'ensemble du fonctionnement de l'appareil radar météorologique en référence aux figures 1 à 4 et on va décrire de façon détaillée l'opération de correction de l'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission projetée sur la cible en référence aux figures 5 et 6. Lors

de l'opération de correction de l'instant d'émission conformément à cette forme de réalisation, un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission 3 est calculé à partir de la
5 différence de phase Doppler mesurée de la cible de référence moyennant l'utilisation du principe de mesure de la vitesse Doppler.

La figure 4 est un organigramme du fonctionnement de l'appareil radar météorologique selon cette forme de
10 réalisation, qui comprend l'étape consistant à calculer un décalage de la synchronisation des impulsions d'un signal impulsionnel d'émission sur la base de la vitesse Doppler calculée à partir d'un signal impulsionnel reçu, réfléchi par une cible fixe ou une cible stationnaire (qui sera
15 désignée ci-après sous l'expression "cible de référence), et la correction de l'instant d'émission pour synchroniser l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission devant être projeté sur la cible avec l'instant d'émission du signal de déclenchement maître sur la base du décalage
20 de la synchronisation des impulsions. Comme représenté sur la figure 4, l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation règle l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission sur la base d'un décalage de l'instant d'émission d'une impulsion d'émission. Il existe
25 un appareil radar météorologique qui règle l'instant d'échantillonnage de l'unité de réception 11 et analogue. On va décrire ces appareils ci-après de façon détaillée.

L'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation mesure la vitesse Doppler de la cible de
30 référence lors d'un pas S1 de mesure de la cible de référence. Bien que la cible de référence telle qu'un bâtiment ne présente, de façon idéale, aucune surface fluctuante et produise à peine des fluctuations de la fréquence Doppler comme décrit précédemment, le versant
35 d'une montagne est également utilisé en tant que cible de

référence, de la manière indiquée ci-après. Lorsque la vitesse Doppler d'un objet possédant une surface fluctuante, comme par exemple le versant d'une montagne couverte d'arbres, est mesurée plusieurs fois, les valeurs
5 de mesure de la vitesse Doppler sont dispersées autour de zéro. Lorsqu'une valeur obtenue par formation de la moyenne des valeurs de mesure de la vitesse Doppler est prise en tant que vitesse Doppler, les fluctuations de la fréquence Doppler peuvent être réduites et le versant de la montagne
10 peut être utilisé en tant que cible de référence.

En utilisant une cible ayant une surface fluctuante en tant que cible de référence, on peut obtenir un appareil radar météorologique qui n'est pas limité par un site d'installation et un environnement de mesure.

15 Un pas S2 d'évaluation d'une valeur Doppler zéro est un pas consistant à évaluer si la vitesse Doppler de la cible de référence, mesurée lors de l'étape S1 de mesure de la cible de référence, est nulle ou non et à calculer la vitesse Doppler de la cible de référence au moyen de
20 l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler. La cible de référence est ce qu'on appelle une cible stationnaire, qui ne se déplace pas en soi. Un effet Doppler n'est pas produit dans un signal impulsionnel reçu réfléchi par la cible stationnaire, et la vitesse Doppler basé sur une
25 différence de phase entre les impulsions reçues de ce signal impulsionnel reçu doit être mesurée théoriquement comme étant nulle.

Lorsque la vitesse Doppler est évaluée comme étant nulle lors du pas S2 d'évaluation de cette vitesse Doppler
30 nulle, on estime que l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'élément d'émission 5 est synchronisé sur l'instant de sortie d'un signal de déclenchement délivré par l'unité 2 de délivrance d'impulsions de synchronisation, c'est-à-dire que l'instant
35 d'émission n'est pas décalé et que le programme passe à

l'opération d'une étape S4 de mesure opérationnelle. Lorsque la vitesse Doppler est évaluée comme n'étant pas nulle, une évaluation est exécutée du fait que l'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission délivré par
5 l'élément d'émission 5 n'est pas synchronisé sur l'instant de sortie d'un signal de déclenchement délivré par l'unité 2 de délivrance d'impulsions de synchronisation, c'est-à-dire que l'instant d'émission est décalé et que le programme passe à un pas S3 de correction de l'instant
10 d'émission.

Le pas S3 de correction de l'instant d'émission est le pas de calcul d'un décalage de l'instant d'émission à partir de la vitesse Doppler mesurée lors du pas S2 d'évaluation de la valeur Doppler zéro, c'est-à-dire d'une
15 différence de phase entre des impulsions reçues réfléchies par la cible de référence et consistant à corriger l'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission sur la base du décalage de l'instant d'émission. Lors de ce pas, l'unité 14 de calcul de la synchronisation des
20 impulsions calcule tout d'abord un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission délivré par l'unité d'émission 3 sur la base de la vitesse Doppler de la cible de référence calculé par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler, puis envoie à l'unité 1 de commande des
25 instants d'émission un signal de correction de l'instant d'émission sur la base du décalage de l'instant d'émission calculé à partir de la vitesse Doppler de la cible de référence.

L'unité 1 de commande de l'instant d'émission
30 corrige l'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission délivré par l'unité d'émission 3 sur la base du signal de correction de l'instant d'émission délivré par l'unité 14 de calcul de la synchronisation des impulsions. De façon plus spécifique, l'instant d'émission d'un signal
35 impulsional d'émission délivré par l'élément d'émission 5

est commandé moyennant un décalage de l'instant de sortie d'un signal de sortie de prédéclenchement délivré par l'unité 2 délivrant des impulsions de synchronisation de sorte que la vitesse Doppler de la cible de référence est
5 mesurée comme étant nulle. Comme cela a été décrit précédemment, un signal impulsionnel reçu est échantillonné en synchronisme avec l'instant de sortie d'un signal de déclenchement maître. Si l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission est synchronisé sur l'instant de
10 sortie d'un signal de déclenchement maître, les positions d'échantillonnage des impulsions reçues sont les mêmes et il est possible d'empêcher une altération de la précision de mesure provoquée par un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission, qui apparaît sur la
15 base de la caractéristique de fréquence de l'élément d'émission 5.

La relation entre la vitesse Doppler calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler et le décalage de l'instant d'émission calculé par l'unité 14 de calcul de
20 la synchronisation des impulsions n'est pas toujours linéaire, mais est fréquemment non linéaire conformément à la caractéristique de fréquence d'élément d'émission 5, qui est un tube d'émission à magnétron. Dans cette forme de réalisation, comme représenté sur la figure 4, la quantité
25 de l'unité 2 délivrant les impulsions de synchronisation calculé lors du pas S3 de correction de l'instant d'émission, c'est-à-dire la quantité de correction de l'instant d'émission, est réduite par répétition de la boucle de fonctionnement du pas S1 au pas S3 (une réduction
30 sera décrite plus loin).

C'est-à-dire qu'un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission est corrigé sur la base de la vitesse Doppler calculée par une mesure, effectuée à un instant, de la vitesse Doppler de la cible de référence.
35 Même lorsque la vitesse Doppler de la cible de référence

est à nouveau mesurée avec le signal impulsionnel d'émission, dont l'instant d'émission a été corrigé, la vitesse Doppler de la cible de référence n'est pas calculée comme étant nulle (hormis le cas où la vitesse Doppler s'annule accidentellement). En réalité le décalage de la synchronisation des impulsions du signal impulsionnel d'émission sur la base de l'instabilité de la caractéristique de fréquence de l'élément d'émission 5 est corrigé par répétition de la boucle de fonctionnement allant du pas S1 au pas S3, représentée sur la figure 4 jusqu'à ce que la vitesse Doppler de la cible de référence s'annule ou puisse être traitée comme étant nulle. En ce qui concerne le procédé de calcul concret pour la minimalisation (procédé de minimalisation), un tel procédé de minimalisation optimum est choisi en fonction de la caractéristique des impulsions d'un élément d'émission utilisé dans l'unité d'émission 3 pour la correction, comme cela sera décrit plus loin.

Le décalage de l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission, qui apparaît sur la base de la caractéristique de fréquence de l'élément d'émission 5, est empêché par répétition de la boucle de fonctionnement du pas S1 au pas S3, jusqu'à ce que la vitesse Doppler de la cible de référence soit mesurée comme étant nulle.

Lorsque la vitesse Doppler de la cible de référence est mesurée comme étant nulle lors du pas S2 d'évaluation de la valeur Doppler zéro, le programme passe à un pas S4 de mesure du fonctionnement, comme décrit précédemment, pour mesurer la vitesse Doppler de la cible avec le signal impulsionnel d'émission, dont l'instant d'émission a été corrigé. Sur la figure 4, une boucle est formée, qui revient du pas S4 de mesure du fonctionnement au pas S1 de mesure de la cible de référence. C'est pourquoi, lorsque la vitesse Doppler de la cible est mesurée pendant un certain intervalle de temps à l'instant d'émission corrigé, l'état

interne de l'élément d'émission 5 est en outre modifié par la chaleur et la caractéristique de fréquence et la caractéristique de sortie d'impulsion de l'élément d'émission 5 différent de ce fait de la caractéristique initiale, avec comme résultat le fait que la mesure précise de la vitesse Doppler peut être impossible lors du premier instant d'émission corrigé. Dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, pour empêcher ce problème, une boucle de fonctionnement est prévue pour confirmer si l'instant d'émission du signal impulsional d'émission projeté en direction de la cible est décalé ou non, par retour au pas S1 de mesure de la cible de référence servant à mesurer la vitesse Doppler de la cible de référence lorsque la vitesse Doppler de la cible est mesurée pendant un intervalle de temps prédéterminé à l'instant d'émission correct.

Dans ce cas, lors du pas S1 de mesure de la cible de référence exécuté une seconde fois, la vitesse Doppler de la cible de référence peut être mesurée avec un signal impulsional d'émission, dont l'instant d'émission a été corrigé tel qu'il est utilisé lors du pas précédent S4 de mesure du fonctionnement, ou la vitesse Doppler de la cible de référence peut être mesurée à partir du début à partir du signal impulsional d'émission, dont l'instant d'émission est basé sur l'instant de délivrance d'un signal de déclenchement possédant un cycle prédéterminé, avant correction.

Dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, une boucle est formée, qui revient du pas S4 de mesure de fonctionnement au pas S1 de mesure de la cible de référence pour exécuter l'opération de correction de l'instant d'émission sur la base de la cible de référence à des intervalles correspondant à une durée prédéterminée. Par conséquent, même lorsque l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation

fonctionne pour une observation météorologique, il est possible d'effectuer une observation météorologique de longue durée très précise sans altération de la précision de mesure.

5 On va décrire de façon détaillée l'opération de correction de l'instant d'émission lors du pas S3 de correction de l'instant d'émission illustré sur la figure 4, en référence aux figures 5(a) et 5(b) et la figure 6. Les figures 5(a) et 5(b) sont des diagrammes représentant la caractéristique des impulsions d'un signal impulsional d'émission projeté en direction de la cible de référence ou sur la cible à partir de l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, et le réglage de l'instant d'émission (les diagrammes supérieurs
10 représentent des caractéristiques d'amplitude et les diagrammes inférieurs représentent des caractéristiques de phase). La figure 5(a) est un diagramme représentant la caractéristique d'une première impulsion T1 et la figure 5(b) est un diagramme représentant la caractéristique d'une
15 seconde impulsion d'émission T2, délivrée après la première impulsion d'émission T1.

 Etant que l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation observe les conditions météorologiques en utilisant des impulsions doubles, un
25 signal impulsional d'émission délivré par l'unité d'émission 3 est constitué par un couple d'impulsions comme cela est représenté sur les figures 5(a) et 5(b), c'est-à-dire qu'un couple formé de la première impulsion d'émission T1 et de la seconde impulsion d'émission T2 comme
30 représenté sur les figures 5(a) et 5(b) est projeté plusieurs fois successivement en direction de la cible ou sur la cible de référence.

 La pluralité de signaux impulsionnels d'émission possèdent presque les mêmes caractéristiques d'impulsion
35 que si on utilisait les mêmes tubes d'émission en

magnétron. Cependant comme décrit précédemment, l'état interne du magnétron varie d'une manière complexe en fonction des conditions d'utilisation de l'appareil radar météorologique, telles que le site d'installation, la
5 vitesse Doppler est calculée à partir de chaque signal faisant partie d'une pluralité de signaux impulsionnels reçus correspondant à la pluralité de signaux impulsionnels d'émission dans cette forme de réalisation, et la vitesse Doppler de la cible ou de la cible de référence est obtenue
10 à partir d'une valeur moyenne de cette vitesse Doppler.

Sur les figures 5(a) et 5(b) un point "a" est la position d'échantillonnage d'une impulsion reçue lorsque l'impulsion reçue est échantillonnée à une fréquence de répétition d'impulsions de l'appareil radar météorologique,
15 c'est-à-dire à l'instant de sortie d'un signal de déclenchement délivré par l'impulsion délivrant les impulsions de synchronisation et un point "b" est la position d'échantillonnage d'une impulsion reçue après que l'instant d'émission a été réglé par l'opération de
20 correction de l'instant d'émission exécutée lors des pas S1 et S3 représentés sur la figure 4. Lorsque l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission 3 n'est pas réglé, les positions d'échantillonnage des impulsions reçues du signal
25 impulsionnel reçu correspondant, c'est-à-dire les positions de mesure de phase (désignées ci-après sous l'expression "position d'échantillonnage") (point "a") des impulsions reçues diffèrent l'une de l'autre d'une erreur de montée d'impulsion (erreur de biais) sur la base de la
30 caractéristique de fréquence de l'élément d'émission 5.

Par conséquent, même lorsque la vitesse Doppler de la cible de référence est calculée à partir d'un signal impulsionnel reçu dans cet état (au niveau du point "a"), les positions d'échantillonnage des impulsions reçues
35 deviennent des positions de mesure de phase, qui diffèrent

les unes des autres comme cela est représenté sur les figures 5(a) et 5(b). Bien que la vitesse Doppler réelle soit nulle, si la valeur de phase de la première impulsion d'émission T1 est représentée par $Ia1$ et si la valeur de phase de la seconde impulsion d'émission T2 est désignée par $Ia2$, on estime qu'il existe une différence de phase ($Ia1 - Ia2$) entre les impulsions reçues R1 et R2 et la cible de référence possède une vitesse Doppler équivalente à cette différence de phase ($Ia1 - Ia2$).

10 Dans cette forme de réalisation, la vitesse Doppler de la cible de référence, c'est-à-dire la quantité d'un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission 3 (la quantité de décalage d'un signal de prédéclenchement) est calculée à
15 partir d'une différence de phase ($Ia1 - Ia2$) entre les impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu réfléchi par la cible de référence, et l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission est corrigé afin de réduire le décalage de l'instant d'émission produit par un décalage
20 du signal de prédéclenchement de manière à synchroniser le cycle de répétition d'impulsions avec le cycle d'impulsions du signal de déclenchement maître. Les positions d'échantillonnage des impulsions reçues R1 et R2 du signal impulsionnel reçu après que la minimalisation, c'est-à-dire
25 l'instant d'émission, a été réglée, sont situées en un point "b" représenté sur les figures 5(a) et 5(b), ce qui a pour effet d'empêcher une altération de la position de mesure de la vitesse Doppler provoquée par un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission,
30 qui apparaît sur la base de la caractéristique de fréquence de l'élément d'émission 5.

Comme cela est représenté dans les diagrammes inférieurs de la caractéristique de phase de la figure 5(a) et de la figure 5(b), étant donné que le taux de variation
35 de la phase des impulsions reçues est élevé lorsqu'un

élément d'émission auto-oscillant tel qu'un magnétron est utilisé dans l'unité d'émission 3, l'influence d'une instabilité sur l'unité de conversion analogique/numérique (non représentée dans cette forme de réalisation) est importante lorsque les impulsions reçues sont échantillonnées au niveau du point "a". Par conséquent, il est souhaitable d'échantillonner des impulsions reçues dans une position d'échantillonnage "b", dans laquelle une variation de phase est relativement inférieure à une variation dans le temps (un décalage de l'instant d'échantillonnage) (des fluctuations de la phase Doppler sont relativement faibles au niveau du point "b" même lorsqu'une différence dans la position d'échantillonnage est produite par l'instabilité de l'unité de conversion analogique/numérique). Dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, pour la correction d'un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsif d'émission, les positions d'échantillonnage d'impulsions reçues, qui sont les moins influencées par l'instabilité de l'échantillonnage provoquée par un décalage de l'instant d'émission, sont obtenues pour corriger l'instant d'émission d'un signal impulsif d'émission de sorte que les impulsions reçues sont échantillonnées dans ces positions d'échantillonnage.

Une erreur sur la vitesse Doppler produite sur la base d'une variation de phase entre des impulsions d'émission est une erreur aléatoire telle que la vitesse Doppler possède une valeur aléatoire dans chaque mesure. Lorsque la vitesse Doppler de la cible est mesurée en utilisant un émetteur tel qu'un émetteur à magnétron, la mesure de haute précision de la vitesse Doppler est difficile si l'erreur de biais décrite précédemment, basée sur un décalage de l'instant d'émission, et une erreur aléatoire basée sur une variation de la phase entre les impulsions d'émission, ne sont pas prises en considération.

Dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, les positions d'échantillonnage d'impulsions reçues, qui minimisent cette erreur aléatoire, c'est-à-dire les positions de mesure de phase sont calculées à partir de la vitesse Doppler de la cible de référence calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler, pour corriger l'instant d'émission d'un signal impulsif d'émission.

Les relations (7) à (9) données plus loin sont des relations de calcul permettant d'obtenir la quantité de décalage d'un signal de prédéclenchement calculé par l'unité de calcul de synchronisation avec l'unité 14 de calcul de synchronisation des impulsions de l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation. La relation suivante (7) est une relation permettant le calcul d'une valeur moyenne des vitesses Doppler mesurées, c'est-à-dire une erreur de biais, la relation suivante (8) est une relation permettant de calculer une variance des vitesses Doppler mesurées, c'est-à-dire une erreur aléatoire, et la relation suivante (9) est une relation obtenue par pondération et synthèse de la relation (7) pour le calcul d'une erreur de biais de la vitesse Doppler et la relation (8) sert à calculer une erreur aléatoire de la vitesse Doppler. L'erreur de biais de la vitesse Doppler, calculée à partir de la relation (7), est une erreur produite lorsque l'instant d'échantillonnage d'une première impulsion d'émission et l'instant d'échantillonnage d'une seconde impulsion d'émission diffèrent l'un de l'autre et que l'erreur aléatoire de la vitesse Doppler calculée à partir de la relation (8) est une erreur aléatoire telle que la vitesse Doppler prend une valeur aléatoire lors de chaque mesure en raison de l'instabilité de l'unité de conversion analogique/numérique (le taux de variation de la phase d'impulsion d'émission est délivré par l'élément d'émission 5, qui est un émetteur à magnétron, est élevé et l'influence de l'instabilité est élevée, conformément à la

position d'échantillonnage). A partir de la vitesse Doppler de la cible de référence calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler, l'unité 14 de calcul de la synchronisation des impulsions obtient un instant d'échantillonnage tel que la valeur de la relation (9), c'est-à-dire une erreur de biais de la vitesse Doppler et une erreur aléatoire de la vitesse Doppler, est minimisée. Un signal de correction de l'instant d'émission est envoyé à l'unité 1 de commande des instants d'émission de sorte que des impulsions reçues peuvent être échantillonnées à cet instant d'échantillonnage.

De façon plus spécifique, des calculs pour l'obtention d'une erreur de biais de la vitesse Doppler calculée à partir de la relation (7) et d'une erreur aléatoire de la vitesse Doppler calculée à partir de la relation (8) sont exécutés par modification des valeurs "t" et "u" sur l'axe d'état des diagrammes de caractéristiques d'impulsions représentés sur les figures 5(a) et 5(b) de sorte que la valeur de la relation (9) est minimisée.

[relation 7]

$$\text{valeur moyenne : } v^{(1)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N v_j^{(1)} \quad (7)$$

[relation 8]

$$\text{variance : } v^{2(1)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (v_j^{(1)})^2 \quad (8)$$

[relation 9]

$$w_1 |v^{(1)}(t, u)|^2 + w_2 (v^{2(1)}(t, u)) \quad (9)$$

Dans la relation (9), w_1 est un poids pondérant la valeur moyenne de vitesses Doppler obtenues à partir de la relation (7), et w_2 est un poids de la variance obtenue à partir de la relation (8). Ces poids w_1 et w_2 sont réglés sur des valeurs qui permettent d'exécuter le calcul de minimalisation de la relation (9) d'une manière très

efficace en tenant compte des caractéristiques (les caractéristiques d'impulsions décrites précédemment ou analogues) d'un appareil utilisé. Par exemple, on considère que l'erreur de biais de la vitesse Doppler est faible et
5 que seule l'erreur aléatoire de la vitesse Doppler est élevée lorsque les différences entre les caractéristiques de la première impulsion d'émission et celle de la seconde impulsion d'émission sont faibles. Dans ce cas, un problème de minimalisation peut être résolu dans la condition dans
10 laquelle w_1 dans la relation (9) est faible (ou nul).

La figure 6 est un schéma permettant d'expliquer le contenu de la mesure de la vitesse Doppler, qui est exécutée dans cette forme de réalisation. Dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, la
15 différence de phase Doppler de la cible de référence produite par un décalage de l'instant d'émission provoqué par l'erreur de biais de la vitesse Doppler et par l'erreur aléatoire de la vitesse Doppler est minimisée par la mesure de la vitesse Doppler à partir d'une pluralité de
20 signaux impulsionsnels reçus, comme représenté sur la figure 6, pour améliorer la précision de correction.

En référence à la figure 6, dans cette forme de réalisation, l'opération de projection d'un nombre N ($j = N$) de signaux impulsionsnels constitués chacun des deux
25 impulsions, en direction d'une cible de référence et une opération de la moyenne de vitesses Doppler calculée à partir d'un nombre N de signaux impulsionsnels reçus correspondant au nombre N de signaux impulsionsnels d'émission pour le calcul de la vitesse Doppler est répétée
30 un nombre de fois " n " ($i = n$) et en outre la moyenne d'un nombre " n " de vitesses Doppler est formée pour l'obtention de la vitesse Doppler de la cible de référence.

Etant donné qu'il existe une différence en ce qui concerne l'instant d'émission d'un signal impulsionsnel
35 d'émission délivré par l'unité d'émission 3 entre $j = 1$ et

j = n en raison des caractéristiques de l'élément d'émission 5 et de l'instabilité d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique même lorsque l'instant de sortie d'un signal de déclenchement délivré par l'unité 3 de sortie délivrant les impulsions de synchronisation est également fixé. Pour obtenir une valeur moyenne et une variance de la différence dans l'instant d'émission en raison des caractéristiques de l'élément d'émission 5, une mesure est exécutée un nombre de fois N.

De ce fait, une valeur moyenne des vitesses Doppler de la cible de référence, c'est-à-dire une erreur de biais et une variance des vitesses Doppler, c'est-à-dire une erreur aléatoire peuvent être calculées sur la base des caractéristiques de fréquence et des caractéristiques de sortie d'impulsions de l'élément d'émission 5 comme décrit précédemment de sorte que l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission 3 et les positions d'échantillonnage d'impulsions reçues peuvent être corrigées et réglées d'une manière plus précise.

On donnera plus loin une description du choix d'une technique de calcul pour minimaliser une valeur moyenne des vitesses Doppler et une variance des vitesses Doppler de signaux impulsionnels d'émission. Comme décrit précédemment, lorsque le calcul de la relation (9), qui pondère une erreur de biais de la vitesse Doppler est exécuté, on utilise la méthode des moindres carrés avec une variable devant être estimée pour ajuster la position d'échantillonnage de l'une ou l'autre de la première impulsion d'émission T1 et de la deuxième impulsion d'émission T2 (la variable t ou u représentée sur la figure 5(a) ou sur la figure 5(b) est ajustée) pour minimaliser un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission. Lorsque le calcul de la relation (9), qui pondère à la fois une erreur de biais de la vitesse Doppler et une erreur aléatoire de la vitesse Doppler, est exécuté,

on utilise la méthode des moindres carrés avec deux variables devant être estimées (les deux variables t et u représentées sur les figures 5(a) et 5(b) sont ajustées) pour minimaliser un décalage de l'instant d'émission d'un
5 signal impulsionnel d'émission, et une différence de phase est provoquée par le décalage de l'instant d'émission.

Un procédé typique pour résoudre le problème de la minimalisation est le procédé de Gauss-Newton, le procédé de la pente maximale, le procédé Marquardt ou analogue. Le
10 meilleur procédé est choisi et appliqué en fonction de la relation entre les caractéristiques de fréquence de l'élément d'émission 5 utilisé dans l'unité d'émission 3 et le temps de traitement.

Comme cela a été décrit précédemment, dans
15 l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, le décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission, qui apparaît sur la base de la caractéristique de fréquence et de la caractéristique de sortie d'impulsions de l'élément d'émission 5 est calculé
20 et corrigé sur la base de la vitesse Doppler de la cible de référence. C'est pourquoi un signal impulsionnel d'émission, dont l'instant d'émission est synchronisé sur l'instant de sortie d'un signal Doppler délivré par l'unité de délivrance des impulsions de synchronisation, peut être
25 projeté en direction d'une cible à l'instant de la mesure de la vitesse Doppler de la cible, et les positions d'échantillonnage des impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu réfléchi par la cible peuvent être identiques, ce qui permet d'éliminer une différence entre
30 les positions d'échantillonnage des impulsions reçues, qui est apparue sur la base du décalage de l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission, et d'observer des conditions météorologiques avec une grande précision sans altération de la précision de mesure même dans le cas d'un
35 appareil radar météorologique utilisant un élément

d'émission tel qu'un tube d'émission à magnétron.

Comme cela est représenté sur la figure 4, même après que l'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission a été corrigé de manière à régler les positions d'échantillonnage d'impulsions reçues, l'opération (pas S1 à S3 représentés sur la figure 4) de correction de l'instant d'émission sur la base de la cible de référence est répétée sur une base régulière. C'est pourquoi l'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission peut être également corrigé de manière à absorber une variation de l'état interne de l'élément d'émission 5 provoqué par l'exécution du pas S4 de mesure en fonctionnement pendant un long intervalle de temps. Par conséquent on peut obtenir un appareil radar météorologique ayant une précision élevée de mesure, sans altération de la précision de mesure même après une observation météorologique de longue durée.

Forme de réalisation 2

On va décrire une autre forme de réalisation de la présente invention en référence à la figure 7. La figure 7 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique selon une autre forme de réalisation de la présente invention. Dans la forme de réalisation 1 ci-dessus, l'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission est corrigé moyennant l'utilisation d'un objet dont la vitesse Doppler est nulle, c'est-à-dire d'une cible fixe telle qu'un bâtiment, la surface de la mer ou un versant de montagne, qui ne se déplace pas de façon relative au moment de la mesure de la vitesse Doppler, en tant que cible de référence. La cible de référence n'est jamais obligatoirement une telle cible fixe et peut être constituée par des moyens de retardement/de réflexion prévus à l'intérieur et à l'extérieur de l'appareil comme représenté sur la figure 7.

Sur la figure 7, le chiffre de référence 18 désigne

des moyens de retardement/réflexion qui sont à l'intérieur ou à l'extérieur de l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, et le chiffre de référence 19 désigne des seconds moyens de commutation raccordés aux
5 moyens de retardement/réflexion 18 lors du pas S3 de correction de l'instant d'émission, sur la figure 4 et à l'unité formant antenne d'émission/réception 8 lors du pas S4 de mesure en fonctionnement. Les moyens de retardement/réflexion 18 peuvent être constitués par un
10 élément de retard et une borne de réflexion raccordée à l'élément de retardement, ou un signal impulsionnel d'émission transmis dans un trajet de transmission constitué par un câble ou analogue et retardé d'une manière prédéterminée peut être envoyé aux seconds moyens de
15 commutation 18 sans utilisation de la borne de réflexion. Sur la figure 7, les mêmes symboles de référence que dans l'autre forme de réalisation désignent les mêmes éléments ou des éléments correspondants, et on n'en donnera pas la description détaillée.

20 De même dans cette forme de réalisation, lorsque le pas S4 de mesure de l'opération se poursuit pendant un intervalle de temps prédéterminé, le programme revient au pas S1 de mesure de la cible de référence pour vérifier s'il existe un décalage de l'instant d'émission d'un signal
25 impulsionnel d'émission à nouveau par rapport à la forme de réalisation 1. Dans ce cas, lorsque le fonctionnement de l'appareil passe du pas S4 de mesure en fonctionnement au pas S1 de mesure de la cible de référence, les seconds moyens de commutation 18 sont connectés aux moyens de
30 retardement/réflexion 18 à partir de l'unité formant antenne d'émission-réception 7 par l'intermédiaire de moyens de commande tels que l'unité de commande de l'instant d'émission 1.

35 Dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, la vitesse Doppler de la cible de

référence peut être toujours mesurée sans être limitée par le site d'installation, l'environnement de mesure et analogue de l'appareil radar météorologique et l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission peut être
5 corrigé.

La vitesse Doppler d'un objet réfléchissant est calculée d'une manière générale à partir d'un écho de réflexion provenant de l'objet réfléchissant, inclus dans une impulsion reçue lors de la mesure de la vitesse
10 Doppler. Par exemple, lorsque le pas S1 de mesure de la cible de référence, illustré sur la figure 4, est exécuté pour un écho topographique (mer ou montagne) en tant que cible de référence, si un objet autre que la cible de référence, tel que de la pluie ou du brouillard, existe
15 autour de la cible de référence, un écho partant de l'objet autre que la cible de référence est inclus dans un signal impulsionnel reçu réfléchi par la cible de référence, et la vitesse Doppler de la cible de référence est calculée à partir des impulsions reçues du signal impulsionnel reçu
20 contenant à un écho de réflexion provenant d'un objet autre que la cible de référence, ce qui altère la position de mesure de la vitesse Doppler de la cible de référence. Contrairement à cela, conformément à cette forme de réalisation, on peut réaliser un appareil radar
25 météorologique qui peut empêcher un écho de réflexion provenant d'un objet autre que la cible de référence soit contenu dans une impulsion reçue provenant de la cible de référence, ne gêne pas le fonctionnement de l'exécution du pas S1 de mesure de la cible de référence conformément à
30 des conditions de mesure et est exempt de toute altération de la précision de mesure. C'est pourquoi, les avantages fournis par l'appareil radar météorologique selon la présente forme de réalisation sont importants.

Forme de réalisation 3

35 On va décrire ci-après une autre forme de

réalisation de la présente invention en référence à la figure 8. Les appareils radar météorologiques des formes de réalisation 1 et 2 indiquées précédemment comprennent une unité de traitement de détection de phase située dans
5 l'unité de réception et un oscillateur à quartz de grande précision pour l'obtention d'un signal vidéo, comme dans le cas de l'appareil radar décrit dans la demande de brevet japonais mise à l'inspection publique N° Hei 3-54495 indiquée précédemment. Un appareil radar météorologique
10 selon cette forme de réalisation calcule directement la vitesse Doppler d'une cible à partir d'un cible impulsional reçu, sans l'obtention d'un signal vidéo obtenu par détection de la phase.

La figure 8 est un schéma-bloc représentant la
15 configuration d'une unité de réception 20 utilisée dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation. Sur la figure 8, le chiffre de référence 21 désigne une unité de conversion analogique/numérique fonctionnant à grande vitesse pour la conversion directe
20 d'un signal vidéo de réception reçu par l'unité d'antenne d'émission-réception 7 et amené par conversion à une fréquence intermédiaire en étant converti par le mélangeur 10 en un signal numérique sans détection de phase, et le chiffre de référence 22 désigne une unité de traitement de
25 détection numérique de la phase, servant à réaliser une détection numérique de la phase d'un signal impulsional reçu, qui a été converti par l'unité de conversion analogique/numérique 21 fonctionnant à grande vitesse. L'unité de conversion analogique/numérique 21 fonctionnant
30 à grande vitesse convertit des signaux vidéo de réception en des signaux numériques d'une manière séquentielle à une fréquence supérieure à la fréquence des signaux vidéo de réception. D'autres éléments constitutifs de l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation sont
35 identiques à ceux de l'appareil radar météorologique

représenté sur la figure 1 ou sur la figure 7. Cette forme de réalisation peut être réalisée en remplacement de l'unité de réception 11 de l'appareil radar météorologique représenté sur la figure 1 ou sur la figure 7 par l'unité
5 de réception 20 représentée sur la figure 13.

Dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, un signal impulsionnel reçu, qui est reçu par une unité formant antenne d'émission-réception 7, est échantillonné directement par l'unité de conversion
10 analogique/numérique 21 fonctionnant à grande vitesse, et ce à une vitesse élevée, et un décalage de la synchronisation d'impulsion, c'est-à-dire un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission est calculé à partir de la différence des instants de
15 mesure des formes d'ondes d'amplitude entre des impulsions d'émission prélevées par le coupleur directionnel 17. Etant donné que l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation calcule un décalage de la synchronisation des impulsions sur la base d'une différence de position de
20 la forme d'onde d'amplitude entre les impulsions d'émission délivrées par l'unité d'émission 3, il n'est pas nécessaire d'obtenir une différence de phase Doppler entre les impulsions reçues à partir des diagrammes inférieurs des caractéristiques de phase représentés sur les figures 5(a)
25 et 5(b) et la correction de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission compte tenu d'une erreur aléatoire n'est pas nécessaire contrairement aux formes de réalisation indiquées précédemment.

Conformément à cette forme de réalisation, étant
30 donné qu'un signal impulsionnel reçu amené par conversion à une fréquence intermédiaire est directement converti en un signal numérique contrairement à l'appareil radar classique, on peut obtenir un appareil radar météorologique qui a des dimensions réduites, étant donné que l'unité de
35 traitement de détection de phase n'est pas nécessaire.

Forme de réalisation 4

On va décrire ci-après une autre forme de réalisation de la présente invention en référence à la figure 9. Dans les appareils radar météorologiques des formes de réalisation indiquées précédemment, les valeurs de la relation (7) et de la relation (8) servant à minimaliser la valeur de la relation (9) sont calculées au moyen de l'unité 14 de calcul de la synchronisation des impulsions à partir de la vitesse Doppler de la cible de référence calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler pour corriger la séquence d'émission d'un signal impulsionnel d'émission et mesurer la vitesse Doppler de la cible. La vitesse Doppler de la cible de référence calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler peut être mémorisée directement dans une mémoire ou analogue sous la forme d'une valeur de correction de la vitesse Doppler sans tenir compte de la relation entre la vitesse Doppler mesurée de la cible de référence et un décalage de l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission pour corriger la vitesse Doppler mesurée respectivement de la cible avec cette valeur de correction de la vitesse Doppler. Conformément à cette forme de réalisation, bien qu'il soit difficile de réduire l'influence de l'erreur aléatoire décrite précédemment de la vitesse Doppler, une altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler sur la base d'une erreur de biais de la vitesse Doppler, c'est-à-dire un décalage de la synchronisation d'une impulsion d'un signal impulsionnel d'émission en rapport avec l'instant de sortie d'un signal de déclenchement maître, c'est-à-dire un décalage de l'instant d'émission peut être fortement réduite.

La figure 9 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation. Sur la figure 9, le chiffre de référence 23 désigne une unité de correction de la vitesse Doppler servant à mémoriser la

vitesse Doppler de la cible de référence calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler au moyen de l'unité 14 de calcul de synchronisation des impulsions, et le chiffre de référence 24 désigne une unité de traitement
5 de la vitesse Doppler, comprenant l'unité 23 de correction de la vitesse Doppler, pour corriger la vitesse Doppler d'une cible calculée au moyen de l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler, avec la valeur de correction de la vitesse Doppler mémorisée dans l'unité 23 de correction de la
10 vitesse Doppler. L'unité 14 de calcul de synchronisation des impulsions de cette forme de réalisation a pour rôle de mémoriser la vitesse Doppler de la cible de référence parmi les vitesses Doppler calculées par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler, en tant que valeur de correction de la
15 vitesse Doppler dans l'unité 23 de correction de la vitesse Doppler.

Dans cette forme de réalisation, la vitesse Doppler de la cible de référence mesurée lors du pas S1 de mesure de la cible de référence, représenté sur la figure 4, est
20 mémorisée directement dans l'unité 23 de correction de la vitesse Doppler en tant que correction de vitesse Doppler et la vitesse Doppler d'une cible calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler est corrigée avec la valeur de correction de la vitesse Doppler mémorisée dans l'unité
25 23 de correction de la vitesse Doppler lors du pas S4 de mesure en fonctionnement pour mesurer la vitesse Doppler de la cible. Le traitement de signaux pour l'affichage de cette valeur Doppler corrigée en tant que vitesse Doppler de la cible sur l'unité d'affichage 16 et analogue est
30 exécuté. Sur la figure 9, les mêmes chiffres de référence que sur les autres formes de réalisation désignent les mêmes éléments ou des éléments correspondants, et on n'en donnera pas la description détaillée.

L'appareil radar météorologique conformément à
35 cette forme de réalisation mémorise la vitesse Doppler

mesurée de la cible de référence en tant que valeur de correction de vitesse Doppler dans les moyens de mémoire. Par conséquent une erreur de biais de la vitesse Doppler peut être fortement réduite, le pas S2 d'évaluation de la
5 vitesse Doppler, et le pas S3 de correction de l'instant d'émission des formes de réalisation ci-dessus représentées sur la figure 4 ne sont pas requis, et la durée nécessaire pour la minimalisation décrite précédemment, consistant en ce que la vitesse Doppler est mesurée de façon répétée
10 jusqu'à ce que la vitesse Doppler de la cible de référence soit évaluée comme étant nulle comme dans les formes de réalisation indiquées ci-dessus, peut être fortement réduite. Cette forme de réalisation devient efficace lorsqu'une erreur aléatoire de la vitesse Doppler sur la
15 base de la caractéristique de fréquence de l'élément d'émission 5 est faible et sa réduction est évaluée comme inutile et lorsqu'une réduction d'une erreur aléatoire est évaluée comme étant impossible en fonction de la caractéristique de fréquence de l'élément d'émission 5
20 (lorsque le taux de variation du temps de phase des impulsions d'émission est linéaire, des erreurs de mesure (erreurs aléatoires) de la phase Doppler provoquées par une instabilité prennent la même valeur dans n'importe quelle position d'échantillonnage et par conséquent la correction
25 des erreurs aléatoires n'est pas nécessaire).

Forme de réalisation 5

On va décrire ci-après une autre forme de réalisation de la présente invention en référence aux figures 10 et 11. Un décalage de l'instant d'émission d'un
30 signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission 3 est calculé à partir de la différence de phase Doppler de la cible de référence mesurée en utilisant le principe de mesure de la vitesse Doppler lors de l'opération de correction de l'instant d'émission dans les
35 formes de réalisation précédentes, par exemple les formes

de réalisation 1 et 2. La présente invention a pour but de réaliser un appareil radar météorologique, qui soit exempt de toute altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler, par synchronisation de l'instant d'émission d'un
5 signal impulsionnel d'émission sur l'instant d'échantillonnage d'un signal impulsionnel reçu même lorsqu'on utilise un élément d'émission possédant une caractéristique de fréquence instable, comme par exemple un émetteur à magnétron. S'il existe un moyen pour calculer un
10 décalage de la synchronisation des impulsions, ce décalage de synchronisation des impulsions peut être calculé par de tels moyens.

Dans les formes de réalisation 1 à 3 indiquées précédemment, l'instant d'émission d'un signal impulsionnel
15 d'émission délivré par l'unité d'émission 3 est corrigé sur la base du décalage calculé de synchronisation des impulsions. L'instant d'échantillonnage de l'unité de réception peut être réglé pour synchroniser l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par
20 l'unité d'émission avec l'instant d'échantillonnage d'un signal impulsionnel reçu, qui est reçu par l'unité de réception sans correction de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission.

La figure 10 est un schéma-bloc d'un appareil radar
25 météorologique selon cette forme de réalisation. Sur la figure 10, le chiffre de référence 25 désigne une unité de réception dont la constitution interne est représentée de façon détaillée et qui correspond à l'unité de réception 11 de l'appareil radar météorologique représenté sur la figure
30 1 ou sur la figure 7, le chiffre de référence 26 désigne l'unité de traitement de détection de phase pour le prélèvement de signaux vidéo de réception dans les canaux I et Q à partir des signaux impulsionnels reçus, qui sont reçus dans l'unité formant antenne d'émission-réception 7,
35 27 et une unité de conversion analogique/numérique pour

convertir le signal vidéo de réception, prélevé par l'unité 26 de traitement de détection de phase, en un signal numérique, et le chiffre de référence 28 désigne une unité de détection de l'instant de déclenchement (non représentée, mais un signal de prédéclenchement et un signal de déclenchement maître délivré par l'unité 2 délivrant les impulsions de synchronisation sont appliqués à l'unité 32 de détection de l'instant de déclenchement) qui est une unité de détection de synchronisation d'impulsions servant à mesurer le temps qui s'est écoulé à partir de l'instant où un signal de prédéclenchement est délivré, jusqu'à l'instant où une impulsion d'émission correspondante est délivrée, et pour mesurer un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission 3 à partir d'un intervalle de temps entre la durée indiquée précédemment et la durée qui s'est écoulée depuis l'instant où un signal de prédéclenchement est délivré, jusqu'à l'instant où un signal de déclenchement maître est délivré (cette durée est une fréquence de répétition des impulsions de l'appareil préréglée sur la base des conditions de mesure, c'est-à-dire un cycle de répétition d'impulsions (connu)).

L'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission 3 est mesuré à partir d'un signal en avance de phase prélevé par le coupleur directionnel 17. Le chiffre de référence 29 désigne des troisièmes moyens de commutation servant à délivrer le signal en avance de phase, prélevé par le coupleur directionnel 17, à l'unité 28 de détection de synchronisation pendant l'opération d'émission, et les moyens de retardement 30, qui sont des moyens de commande de l'instant d'échantillonnage, pour ajuster l'instant d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27 sur la base d'un décalage d'un instant d'émission détecté par l'unité 28 de détection de l'instant

du signal de déclenchement.

Le chiffre de référence 31 désigne une unité de traitement de la vitesse Doppler, qui correspond à une unité de traitement de vitesse Doppler 12 de l'appareil radar météorologique de la forme de réalisation 1 ou 2 mentionnée précédemment, pour le traitement de la vitesse Doppler comme par exemple le calcul de la vitesse Doppler d'une cible à partir d'un signal impulsionnel reçu, ayant été soumis à une conversion analogique/numérique sur la base de l'instant d'échantillonnage ajusté par les moyens de retardement 30. L'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler calcule la vitesse Doppler d'une cible ou analogue à partir d'un signal numérique échantillonné par l'unité de conversion analogique/numérique 27. Sur la figure 10, les mêmes symboles de référence que dans les formes de réalisation précédentes désignent les mêmes éléments ou des éléments correspondants et on n'en donnera pas leur description détaillée.

On va décrire ci-après de façon détaillée, en référence à la figure 11, le fonctionnement de l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation, en particulier l'opération de correction de l'instant d'échantillonnage de l'unité de correction analogique/numérique 27. La figure 11 est un organigramme permettant d'expliquer l'opération de correction de l'instant d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27. Dans cette forme de réalisation, "un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission" se réfère à un intervalle de temps entre l'instant de sortie d'une impulsion d'émission délivrée par l'unité d'émission 3 et l'instant de sortie d'une impulsion de déclenchement maître délivré par l'unité 2 délivrant les impulsions de synchronisation, lorsque ces impulsions sont délivrées d'une manière asynchrones l'une par rapport à l'autre.

Etant donné que l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre l'instant où un signal de prédéclenchement est délivré, et l'instant où un signal de déclenchement maître est délivré, est toujours fixé, un décalage de l'instant d'émission d'une impulsion d'émission peut être calculé au moyen de la mesure de l'intervalle de temps écoulé depuis l'instant où le signal de prédéclenchement est délivré par l'unité 2 de sortie de l'impulsion de synchronisation, jusqu'à l'instant où l'impulsion de transmission correspondant au signal de prédéclenchement est délivré. Dans cette forme de réalisation, l'instant d'échantillonnage d'un signal impulsionnel reçu est commandé sur la base du décalage calculé de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission. La figure 11(b) représente les instants de délivrance d'un premier signal de prédéclenchement et l'instant du signal de prédéclenchement délivrés par l'unité de délivrance d'impulsions de synchronisation, figure 11(a), la figure 11(a) représente les instants de sortie d'une première impulsion d'émission et d'une seconde impulsion d'émission délivrés par l'élément d'émission 5 et correspondant aux signaux de prédéclenchement des figures 11(b) et 11(c), et la figure 11(f) illustre le calcul des instants d'émission des première et seconde impulsions d'émission moyennant la détection des niveaux de sortie des impulsions d'émission représentées sur les figures 11(a) et 11(d) et la figure 11(g) représente l'instant de délivrance d'un signal d'instant d'échantillonnage délivré par les moyens de retardement 29 à l'unité de conversion analogique/numérique 27 par mesure de l'intervalle de temps écoulé depuis l'instant où chaque signal de prédéclenchement représenté sur la figure 11(b) est délivré, et l'instant où chaque impulsion d'émission représentée sur la figure 11(a) est délivrée par des moyens de mesure tels qu'un compteur, et un décalage de l'instant d'émission d'un signal

impulsionnel d'émission à partir de ces intervalles de temps mesurés.

C'est-à-dire que dans cette forme de réalisation, un décalage de l'instant d'émission d'un signal
5 impulsionnel d'émission délivré par une unité d'émission 3 est mesuré à partir des durées des retards indiqués précédemment calculées par l'unité 29 de détection des instants de déclenchement, et l'instant d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27 est
10 commandé sur la base de ces retards (TL1, TL2).

De façon plus spécifique, un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission délivré par l'élément d'émission 5 est calculé à partir des retards (TL1, TL2) indiqués précédemment des première et seconde
15 impulsions d'émission, calculés par l'unité 28 de détection des instants de déclenchement, et les instants d'échantillonnage des impulsions d'émission et des impulsions reçues par l'unité de conversion analogique/numérique 27 sont retardés du décalage calculé de l'instant
20 d'émission. Par conséquent, les instants d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27 sont retardés par un signal de durée d'échantillonnage délivré par les moyens de retardement 29 de manière que ces instants soient amenés à coïncider avec les instants
25 d'échantillonnage des impulsions d'émission d'un signal impulsionnel d'émission et des impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu.

Conformément à cette forme de réalisation, un décalage de la synchronisation des impulsions d'un signal
30 impulsionnel d'émission peut être corrigé sans calcul d'un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission à partir de la vitesse Doppler de la cible de référence contrairement aux formes de réalisation 1 à 4 indiquées précédemment, les positions d'échantillonnage
35 d'impulsions reçues peuvent être réglées sur les mêmes

positions que celles des impulsions d'émission dans un appareil radar météorologique utilisant un émetteur possédant une caractéristique de fréquence instable, soit par exemple un émetteur à magnétron, et on peut réaliser un
5 appareil radar météorologique qui permet la mesure de grande précision de la vitesse Doppler avec une faible altération de la précision de mesure.

Dans l'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation et selon la forme de réalisation 2
10 indiquée précédemment, la vitesse Doppler d'une cible peut être mesurée avec une grande précision et une faible altération de cette précision de mesure, grâce à la correction d'un décalage de la synchronisation d'impulsions provoqué par la caractéristique de fréquence de l'élément
15 d'émission 5 indépendamment de l'environnement de mesure. C'est pourquoi, la vitesse Doppler d'une cible peut être mesurée par montage de cet appareil radar météorologique sur un corps mobile tel qu'une automobile. L'avantage de cet appareil radar météorologique monté sur un véhicule est
20 que la vitesse Doppler d'une cible peut être mesurée au niveau d'un site, dans lequel il est difficile d'installer un appareil radar météorologique et que la vitesse Doppler d'une cible peut être mesurée en une pluralité de sites avec un seul appareil radar météorologique.

25 Des moyens pour installer l'appareil radar météorologique peuvent être des moyens normaux de fixation pour la fixation de cet appareil sur un car mobile ou sur des moyens d'installation amovibles.

Forme de réalisation 6

30 On va décrire ci-après une autre forme de réalisation de la présente invention en référence à la figure 12 et à la figure 13. Dans la forme de réalisation 5, un retard entre l'instant où un signal de prédéclenchement est délivré, et l'instant où une impulsion
35 d'émission correspondante est délivrée, est mesuré et les

positions d'échantillonnage des impulsions d'émission d'un système impulsional d'émission et les positions d'échantillonnage des impulsions reçues d'un signal impulsional reçu sont commandées sur la base de ce retard
5 de manière qu'elles soient identiques de manière à empêcher une altération de la précision de mesure de la vitesse radar, provoquée par un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsional d'émission délivré par l'unité d'émission 3. Un décalage de l'instant d'émission peut être
10 obtenu au moyen d'un autre procédé pour commander les positions d'échantillonnage des impulsions d'émission d'un signal impulsional d'émission et les positions d'échantillonnage des impulsions reçues d'un signal impulsional reçu de manière qu'elles soient identiques.
15 Dans cette forme de réalisation, l'instant de démarrage de l'échantillonnage est détecté à partir d'un signal impulsional de référence prélevé par le coupleur directionnel 17 de sorte qu'un signal impulsional d'émission et un signal impulsional reçu sont
20 échantillonnés par l'unité de conversion analogique/numérique 27 sur la base de l'instant détecté de démarrage de l'échantillonnage.

La figure 12 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique selon la présente forme de réalisation. Sur
25 la figure 12, le chiffre de référence 32 désigne une unité de détection d'instant de déclenchement, qui est une unité de détection de synchronisation d'impulsions servant à introduire un signal en avance de phase prélevé par le coupleur directionnel 17 au moment de l'opération
30 d'émission et servant à détecter le niveau de sortie de chaque impulsion d'émission d'entrée (le signal d'avance de phase fait partie de la puissance d'un signal impulsional d'émission) dans une position de mesure arbitraire, le chiffre de référence 33 désigne des troisièmes moyens de
35 commutation (qui correspondent au troisièmes moyens de

commutation 33 de la forme de réalisation 5 indiquée précédemment), dont la connexion est commutée de manière à appliquer uniquement un signal impulsionnel de référence prélevé par le coupleur directionnel 17 et envoyé à l'unité 5 31 de détection des instants de déclenchement, et pour ne pas appliquer un signal impulsionnel reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission/réception 7, à l'unité 31 de détection des instants de déclenchement, le chiffre de référence 34 désigne des moyens de retardement, qui sont 10 des moyens de commande d'instant d'échantillonnage servant à retarder l'instant d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/ numérique 27 d'une durée pendant laquelle le niveau de sortie de l'impulsion d'émission d'un signal impulsionnel de référence détecté par l'unité 32 de 15 détection des instants de déclenchement atteint le niveau de sortie maximum de l'impulsion d'émission, et le chiffre de référence 35 désigne une unité de traitement de la vitesse Doppler servant à exécuter le même traitement que l'unité 31 de traitement de la vitesse Doppler de 20 l'appareil radar météorologique de la forme de réalisation 5 mentionnée précédemment, comme par exemple le calcul de la vitesse Doppler d'une cible à partir des impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu ayant été soumis à la conversion analogique/numérique, à la cadence 25 d'échantillonnage commandée par les moyens de retardement 34.

On va décrire ci-après, en référence à la figure 13, le fonctionnement de l'appareil radar météorologique de cette forme de réalisation, en particulier l'opération de 30 correction des instants d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27. La figure 13 est un chronogramme permettant d'expliquer l'opération de correction des instants d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27 constituant l'appareil 35 radar météorologique selon cette forme de réalisation. La

figure 13(b) représente les instants d'émissions de la première impulsion d'émission et de la seconde impulsion d'émission d'un signal impulsionnel de référence prélevé par le coupleur directionnel 17 et détecté par le mélangeur 5 10 et par l'unité 28 de traitement de détection de la phase, la figure 13(a) représente les instants de sortie du premier signal de prédéclenchement et du second signal de prédéclenchement délivrés par l'unité 2 délivrant les impulsions de synchronisation et correspondant aux première 10 et seconde impulsions d'émission, et la figure 13(c) représente l'instant de détection du niveau de sortie de chaque impulsion d'émission représentée sur la figure 13(b). L'unité 32 de détection des instants de déclenchement détecte les impulsions d'émission d'un signal 15 impulsionnel de référence en utilisant un niveau de détection préréglé et délivre un signal de déclenchement indicatif d'un instant de détection aux moyens de retardement 34.

La figure 13(d) délivre l'instant de sortie d'un 20 signal de déclenchement maître (qui sera désigné ci-après par "signal de déclenchement maître") indicatif d'un instant de détection d'une impulsion d'émission délivré par l'unité 31 de détection des instants de déclenchement et envoyé par les moyens de retardement 34 à l'unité de 25 conversion analogique/numérique 27 sur la base du retard, et la figure 13(e) représente les instants d'échantillonnage d'un signal impulsionnel d'émission et d'un signal impulsionnel reçu échantillonnés par l'unité de conversion analogique/numérique 27 sur la base d'un signal 30 de déclenchement maître délivré par les moyens de retardement 34.

Conformément à cette forme de réalisation, un signal de déclenchement maître est formé à partir de la forme d'onde d'impulsion d'émission d'un signal 35 impulsionnel de référence prélevé par le coupleur

directionnel 17 à partir d'un signal impulsionnel d'émission projeté sur une cible, et utilisé pour commander les instants d'échantillonnage des impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu, par l'unité de conversion
5 analogique/numérique 27. Par conséquent, un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission provoqué par la caractéristique de fréquence et la caractéristique de délivrance d'impulsions de l'élément d'émission 5 peut être corrigé sans mesure préalable de la
10 vitesse Doppler, par exemple de la vitesse Doppler d'une cible de référence, contrairement aux formes de réalisation indiquées précédemment, et on peut obtenir un appareil radar météorologique ayant une précision élevée de mesure sans altération de la précision de mesure, qui est obtenue
15 par réglage des positions d'échantillonnage des impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu dans une même position.

Forme de réalisation 7

On va décrire ci-après, en référence à la figure
20 14, une autre forme de réalisation de la présente invention. Dans la forme de réalisation 6 indiquée précédemment, une différence entre les positions d'échantillonnage des impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu, provoquée par un décalage de l'instant
25 d'émission d'un signal impulsionnel d'émission, est empêchée au moyen de la correction des instants d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27 de l'unité de réception 25 sur la base d'un retard requis pour qu'une impulsion d'émission détectée à
30 partir d'un signal impulsionnel de référence atteigne son niveau de sortie maximum à partir de sa position de détection du niveau de sortie de sorte que les positions d'échantillonnage des impulsions reçues sont réglées de manière à être coïncidentes. Comme autres moyens, la
35 vitesse Doppler d'une cible de référence est calculée comme

dans le cas de l'appareil radar météorologique de la forme de réalisation 1 indiquée précédemment, un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission est calculé à partir de la vitesse Doppler de la cible de référence, et le retard produits par les moyens de retardement 27 est réglé sur la base du décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission obtenu à partir de cette vitesse Doppler, c'est-à-dire une différence de phase entre des impulsions reçues.

10 La figure 14 est un schéma-bloc d'un appareil radar météorologique conformément à cette forme de réalisation. Sur la figure 14, le chiffre de référence 106 désigne des moyens de réglage de retard servant à calculer un décalage de l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission
15 délivré par l'unité d'émission 3 sur la base de la vitesse Doppler d'une cible de référence calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler et pour commander la formation d'un retard correspondant à cet instant d'émission, par les moyens de retardement 38, qui sont les moyens de commande
20 d'instant d'échantillonnage qui seront décrits plus loin et servent à régler l'instant d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27, et le chiffre de référence 37 désigne une unité de traitement de la vitesse Doppler comprenant les moyens 36 de réglage du rotor, l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler servant à
25 calculer la vitesse Doppler d'une cible de référence et une unité 15 de traitement des données servant à traiter des données pour l'affichage de la vitesse Doppler d'une cible calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler, sur l'unité d'affichage 16 comme par exemple un moniteur.
30 Le chiffre de référence 38 désigne des moyens de retardement servant à régler l'instant d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27 sur la base du retard commandé par les moyens 36 de réglage du retard et du retard détecté par l'unité 32 de détection du retard
35

de l'instant de déclenchement (qui sera désigné ci-après sous l'expression "unité de détection") de sorte que les positions d'échantillonnage des impulsions reçues d'un signal impulsionnel reçu, par l'unité de conversion
5 analogique/numérique 27, deviennent identiques.

Sur la figure 14, les mêmes symboles de référence que dans les autres formes de réalisation désignent les mêmes éléments ou des éléments correspondants et leurs descriptions sont omises.

10 L'appareil radar météorologique selon cette forme de réalisation commande l'instant d'échantillonnage de l'unité de conversion analogique/numérique 27 sur la base de la vitesse Doppler d'une cible de référence calculée par l'unité 13 de calcul de la vitesse Doppler ainsi que le
15 retard des impulsions d'émission obtenu sur la base d'un décalage de l'instant d'émission d'un signal impulsionnel d'émission détecté à partir d'un signal en avance de phase. C'est pourquoi la mesure de la vitesse Doppler peut être exécutée d'une manière plus précise que dans le cas de
20 l'appareil radar météorologique conformément à la forme de réalisation 6 indiquée précédemment.

Forme de réalisation 8

Les appareils radar météorologiques des formes de réalisation indiquées précédemment sont des appareils radar
25 météorologiques fonctionnant la bande Ka ou dans la bande des ondes millimétriques, pour l'observation de conditions météorologiques, comme par exemple de fines particules d'un nuage, ayant un diamètre inférieur à plusieurs dizaines de micromètres, et du brouillard. On a décrit cet appareil
30 radar météorologique pour l'exécution de la mesure avec des impulsions doubles, qui est un système de mesure convenant pour l'observation de conditions météorologiques. La présente invention peut être également appliquée à un appareil radar météorologique utilisant une mesure
35 d'impulsions continues en utilisant des impulsions

continues fonctionnant dans la bande des ondes centimétriques (bande L : $\lambda = 30$ cm, bande S : $\lambda = 10$ cm, bande C : $\lambda = 5$ cm, bande X : $\lambda = 3$ cm). Même lorsque la présente invention est appliquée à un appareil radar
5 météorologique pour l'exécution d'une telle mesure d'impulsions continues, on peut obtenir les mêmes effets que ceux décrits dans les formes de réalisation précédentes.

Par exemple, dans le cas d'une mesure d'impulsions
10 continues, une observation météorologique simultanée d'une pluralité d'objets à observer devient techniquement possible moyennant l'exécution d'une analyse de fréquence avec des transformations FFT. Même si la mesure de la vitesse Doppler d'une cible de référence est empêchée par
15 des certaines situations de mesure et par les conditions de mesure d'un objet à observer ou analogue expliquées dans la forme de réalisation 2 indiquée précédemment, la mesure de la vitesse Doppler de la cible de référence peut être réalisée par séparation d'une pluralité de signaux dans le
20 domaine des fréquences avec un traitement FFT.

Dans l'appareil radar météorologique utilisé pour la mesure d'impulsions continues et utilisant des impulsions continues comme dans cette forme de réalisation, bien qu'une modification de l'état interne de l'élément
25 d'émission 5 soit plus stable que celle d'un système pour délivrer des impulsions d'émission d'une manière intermittente sous la forme d'une mesure par impulsions doubles et que l'altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler ne soit pas aussi élevée que dans le cas
30 d'une mesure par impulsions doubles, la caractéristique de phase d'impulsions d'émission délivrées par l'unité d'émission 3 sont telles que représentées sur les figures 5(a) et 5(b). Etant donné qu'une différence de phase entre les impulsions d'émission devient élevée et ce même avec un
35 léger décalage de l'instant d'émission lorsqu'un

échantillonnage est exécuté en un point où il existe une forte inclinaison dans la caractéristique de phase, la relation (7) permettant d'obtenir une valeur moyenne de la vitesse Doppler pour minimaliser la valeur de la relation (9), et la relation (8) servant à obtenir une variante de la différence de phase provoquée par le décalage de l'instant d'émission sont calculées. Dans ce cas, l'état interne de l'élément d'émission 5 est plus stable que dans le cas de la mesure à doubles impulsions et le problème de minimalisation de la relation (9), qui pondère la relation (8), peut être résolu.

Comme décrit précédemment, conformément au premier aspect de la présente invention, dans un appareil radar météorologique servant à projeter un signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions délivrées par l'unité d'émission sur une cible et calculer la vitesse Doppler de la cible à partir d'un signal impulsionnel reçu réfléchi par la cible, la vitesse Doppler d'une cible de référence est calculée et l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission est corrigé sur la base de la vitesse Doppler de la cible de référence de sorte que la vitesse Doppler de la cible de référence s'annule. Par conséquent, même lorsqu'on utilise un émetteur ayant une caractéristique de fréquence très instable, comme par exemple un émetteur à magnétron, on peut obtenir un appareil radar météorologique très précis, dans lequel les positions d'échantillonnage des impulsions reçues du signal impulsionnel reçu deviennent identiques et une mesure très précise de la vitesse Doppler est possible sans altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par une erreur de biais.

Conformément au second aspect de la présente invention, l'appareil radar météorologique comprend une unité d'émission servant à délivrer une impulsion d'un

signal impulsionnel d'émission constituée par une pluralité d'impulsions, une unité formant antenne d'émission-réception servant à projeter le signal impulsionnel d'émission en direction d'une cible et à recevoir un signal
5 impulsionnel reçu réfléchi par la cible, une unité de réception pour détecter la phase du signal impulsionnel reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception, une unité de calcul de la vitesse Doppler servant à calculer la vitesse Doppler de la cible à partir
10 des impulsions reçues, dont les phases sont détectées par l'unité de réception, une unité de calcul de synchronisation des impulsions pour calculer un décalage de la synchronisation des impulsions du signal impulsionnel d'émission par rapport à la vitesse Doppler d'une cible de
15 référence calculée par l'unité de calcul de la vitesse Doppler, et une unité de commande de l'instant d'émission servant à corriger l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission sur la base du décalage de la synchronisation des impulsions
20 calculé par l'unité de calcul de synchronisation des impulsions, de sorte que la vitesse Doppler de la cible de référence s'annule. Par conséquent, même lorsqu'on utilise un émetteur possédant une caractéristique de fréquence très instable, comme par exemple un émetteur à magnétron, on
25 peut obtenir un appareil radar météorologique, dans lequel les positions d'échantillonnage des impulsions reçues du signal impulsionnel reçu deviennent identiques et il est possible d'effectuer une mesure très précise de la vitesse Doppler sans altération de la précision de mesure de la
30 vitesse Doppler due à une erreur de biais.

Selon le troisième aspect de la présente invention, la vitesse Doppler de la cible est calculée dans une position de mesure de phase dans laquelle le taux de variation de la phase des impulsions reçues du signal
35 impulsionnel reçu est relativement faible. Par conséquent,

on peut obtenir un appareil radar météorologique qui permet la mesure de grande précision de la vitesse Doppler sans altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par une erreur aléatoire.

5 Conformément au quatrième aspect de la présente invention, l'appareil radar météorologique comprend une unité d'émission servant à délivrer un signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions, une
10 unité formant antenne d'émission-réception pour projeter l'impulsion du signal impulsionnel d'émission sur une cible et recevoir un signal impulsionnel reçu réfléchi par la cible, et une unité de conversion pour convertir à grande
15 vitesse le signal impulsionnel reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception, en un signal numérique à grande vitesse, une unité de calcul de la
20 vitesse Doppler pour calculer la vitesse Doppler de la cible à partir des formes d'ondes d'amplitude des impulsions reçues converties par l'unité de réception, l'unité de calcul du cycle d'impulsions pour calculer un
25 décalage de l'impulsion de synchronisation du signal impulsionnel d'émission par rapport aux formes d'ondes d'amplitude des impulsions d'émission converties par l'unité de réception, une unité de commande de l'instant d'émission pour corriger l'instant d'émission du signal
30 impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission sur la base du décalage de la synchronisation des impulsions calculé par l'unité de calcul de cycle d'impulsions de sorte que la vitesse Doppler d'une cible de référence s'annule. Par conséquent, même si on utilise un émetteur
35 possédant des caractéristiques de fréquence instables, tel qu'un émetteur à magnétron, on peut obtenir un appareil radar météorologique, dans lequel les positions d'échantillonnage des impulsions reçues du signal impulsionnel reçu deviennent identiques et la mesure très
précise de la vitesse Doppler est possible sans altération

de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par une erreur de biais. Aucun matériel pour la détection de la phase de traitement n'est nécessaire et un décalage de l'instant d'émission du signal impulsional d'émission
5 peut être calculé à partir de formes d'ondes échantillonnées et sans être basé sur des caractéristiques de phase.

Conformément au cinquième aspect de la présente invention, l'appareil radar météorologique pour projeter
10 sur une cible un signal impulsional d'émission constitué d'une pluralité d'impulsions délivrées par l'unité d'émission, est calculée la vitesse Doppler de la cible à partir d'un signal impulsional reçu réfléchi par la cible, la vitesse Doppler d'une cible de référence est mémorisée
15 en tant que valeur de correction de la vitesse Doppler, et la vitesse Doppler de la cible est corrigée avec cette valeur de correction de la vitesse Doppler. C'est pourquoi, on peut obtenir un appareil radar météorologique qui peut corriger un décalage de l'instant d'émission du signal
20 impulsional d'émission provoqué par l'instabilité de la caractéristique de fréquence d'un émetteur à magnétron et permet la mesure très précise de la vitesse Doppler sans altération de la position de mesure.

Conformément au sixième aspect de la présente
25 invention, l'appareil radar météorologique comprend une unité d'émission servant à délivrer un signal impulsional d'émission constitué par une pluralité d'impulsions, une unité formant antenne d'émission-réception servant à projeter le signal impulsional d'émission sur une cible et
30 recevoir un signal impulsional reçu réfléchi par la cible, une unité de réception servant à détecter la phase du signal impulsional reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception, une unité de calcul de la vitesse Doppler servant à calculer la vitesse Doppler de la
35 cible à partir des impulsions reçues, dont les phases sont

détectées par l'unité de réception, et l'unité de correction de la vitesse Doppler servant à corriger la vitesse Doppler de la cible de référence calculée par l'unité de calcul de la vitesse Doppler en tant que valeur
5 de correction de la vitesse Doppler, et la vitesse Doppler de la cible calculée par l'unité de calcul de la vitesse Doppler et corrigée sur la base de la valeur de correction de la vitesse Doppler mémorisée dans l'unité de correction de la vitesse Doppler. Par conséquent, on peut obtenir un
10 appareil radar météorologique, qui permet de corriger un décalage de l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission, dû à l'instabilité de la caractéristique de fréquence d'un émetteur à magnétron et permet la mesure très précise de la vitesse Doppler sans altération de la
15 précision de mesure.

Conformément au septième aspect de la présente invention, la cible de référence est constituée par des moyens de retardement/réflexion prévus à l'intérieur de l'appareil. C'est pourquoi, on peut obtenir un appareil
20 radar météorologique qui permet la mesure très précise de la vitesse Doppler de la cible en empêchant une altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler en tant que site de mesure, dans lequel il n'existe aucune cible de référence, et qui permet de mesurer la vitesse Doppler de
25 la cible avec une grande précision, sans être limité par l'environnement d'observation tel qu'un site d'installation.

Conformément au huitième aspect de la présente invention, une pluralité des signaux impulsionnels d'émission sont émis et des instants d'émission des signaux
30 impulsionnels d'émission sont corrigés sur la base d'une valeur moyenne et d'une variance des vitesses Doppler calculée à partir d'une pluralité de signaux impulsionnels reçus correspondant à la pluralité de signaux impulsionnels
35 d'émission. C'est pourquoi, on peut obtenir un appareil

radar météorologique qui peut corriger les instants d'émission des signaux impulsionnels d'émission conformément aux propriétés d'une cible ayant une certaine gamme de vitesses, comme par exemple un nuage, de la pluie
5 ou du brouillard, et permet la mesure très précise de la vitesse Doppler avec une faible altération de la position de mesure.

Conformément au neuvième aspect de la présente invention, un appareil radar météorologique servant à
10 projeter un signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions délivrées dans l'unité d'émission, sur une cible et calculer la vitesse Doppler de la cible à partir d'un signal impulsionnel reçu, réfléchi par la cible comprend un coupleur directionnel servant à
15 prélever une partie du signal impulsionnel d'émission pour l'envoyer à l'unité de réception, une unité de détection de la synchronisation d'impulsions pour calculer un décalage de la synchronisation des impulsions du signal impulsionnel d'émission à partir du signal impulsionnel d'émission
20 prélevé par le coupleur directionnel, et détecter l'instant d'échantillonnage du signal d'impulsionnel reçu au niveau de l'unité de réception sur la base du décalage de synchronisation des impulsions, lesdits moyens de commande d'instant d'échantillonnage pour commander l'instant
25 d'échantillonnage de l'unité de réception sur la base de l'instant d'échantillonnage détecté par l'unité de détection de la synchronisation des impulsions. C'est pourquoi, on peut obtenir un appareil radar météorologique qui est à même de faire coïncider les positions
30 d'échantillonnage des impulsions reçues du signal impulsionnel reçu dans un site de mesure, où il n'existe aucune cible de référence, et permet la mesure très précise de la vitesse Doppler sans altération de la précision de mesure de la vitesse Doppler provoquée par une erreur de
35 biais.

Conformément au dixième aspect de la présente invention, le signal impulsionnel d'émission est constitué de deux impulsions. C'est pourquoi on peut obtenir un appareil radar météorologique qui permet d'empêcher une
5 altération de la précision de mesure provoquée par l'influence d'un écho hors distance, un tel écho réfléchi par un objet autre que la cible étant inclus dans un signal impulsionnel reçu réfléchi par la cible, au moment de la mesure de la cible comme par exemple une particule d'un
10 nuage ayant des particules d'un diamètre inférieur à quelques dizaines de micromètres ou un brouillard, et permet la mesure très précise de la vitesse Doppler.

Conformément au onzième aspect de la présente invention, l'appareil radar météorologique est monté sur un
15 corps mobile de manière à permettre de modifier le site de mesure de la vitesse Doppler. C'est pourquoi, on peut obtenir un appareil radar météorologique qui permet une mesure très précise de la vitesse Doppler d'une cible en empêchant une altération de la pression de mesure de la
20 vitesse Doppler dans un site de mesure où il n'existe aucune cible de référence, et peut mesurer la vitesse Doppler de la cible en une pluralité de sites de mesure avec un seul appareil.

REVENDICATIONS

1. Appareil radar météorologique destiné à projeter un signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions délivrées par une unité d'émission
5 (3) en direction d'une cible et calculer la vitesse Doppler de la cible à partir d'un signal impulsionnel reçu réfléchi par cette dernière, caractérisé en ce que la vitesse Doppler d'une cible de référence est calculée et l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission délivré par
10 l'unité d'émission (3) est corrigé sur la base de la vitesse Doppler de la cible de référence de telle sorte que la vitesse Doppler de la cible de référence s'annule.

2. Appareil radar météorologique, caractérisé en ce qu'il comporte :

15 une unité d'émission (3) servant à délivrer un signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions ;

une unité formant antenne d'émission-réception (7) pour projeter le signal impulsionnel d'émission en
20 direction d'une cible et recevoir un signal impulsionnel reçu réfléchi par la cible ;

une unité de réception (11) pour détecter la phase du signal impulsionnel reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception (7) ;

25 une unité (13) de calcul de la vitesse Doppler pour calculer la vitesse Doppler de la cible à partir des impulsions reçues, dont les phases sont détectées par l'unité de réception ;

une unité (14) de calcul de synchronisation des
30 impulsions pour le calcul d'un décalage de la synchronisation des impulsions du signal impulsionnel d'émission à partir de la vitesse Doppler d'une cible de référence calculée par l'unité (13) de calcul de la vitesse Doppler ; et

35 une unité (1) de commande de l'instant d'émission

pour corriger l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission (3) sur la base du décalage de la synchronisation des impulsions, calculée par l'unité (14) de calcul de la synchronisation des impulsions de sorte que la vitesse Doppler de la cible de référence s'annule.

3. Appareil radar météorologique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la vitesse Doppler de la cible est calculée dans une position de mesure de phase, dans laquelle la vitesse de variation de la phase des impulsions reçues du signal impulsionnel reçu est relativement faible.

4. Appareil radar météorologique, caractérisé en ce qu'il comporte :

15 une unité d'émission (3) pour délivrer un signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions ;

 une unité (7) formant antenne d'émission-réception pour projeter le signal impulsionnel d'émission en direction d'une cible et recevoir un signal impulsionnel reçu, réfléchi par la cible ;

20 une unité de réception (11) pour convertir à grande vitesse le signal impulsionnel reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception, en un signal numérique ;

 une unité (13) de calcul de la vitesse Doppler servant à calculer la vitesse Doppler de la cible à partir des formes d'ondes d'amplitudes des impulsions reçues converties par l'unité de réception ;

30 une unité de calcul de cycle d'impulsions pour calculer un décalage de la synchronisation des impulsions du signal impulsionnel d'émission à partir des formes d'ondes d'amplitudes des impulsions d'émission converties par l'unité de réception ; et

35 une unité (1) de commande de l'instant d'émission

pour corriger l'instant d'émission du signal impulsionnel d'émission délivré par l'unité d'émission sur la base du décalage de la synchronisation des impulsions calculée par l'unité de calcul du cycle d'impulsions, de manière que la
5 vitesse Doppler d'une cible de référence s'annule.

5. Appareil radar météorologique pour projeter signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions délivrées par une unité d'émission en direction d'une cible et calculer la vitesse Doppler de la
10 cible à partir d'un signal impulsionnel reçu réfléchi par cette dernière, caractérisé en ce que la vitesse Doppler d'une cible de référence est mémorisée en tant que valeur de correction de la vitesse Doppler et que la vitesse Doppler de la cible est corrigée avec cette valeur de
15 correction de la vitesse Doppler.

6. Appareil radar météorologique, caractérisé en ce qu'il comporte :

une unité d'émission (3) pour délivrer un signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité
20 d'impulsions ;

une unité (7) formant antenne d'émission-réception pour projeter le signal impulsionnel d'émission en direction d'une cible et recevoir un signal impulsionnel reçu, réfléchi par la cible ;

25 une unité de réception (11) pour détecter la phase du signal impulsionnel reçu, qui est reçu par l'unité formant antenne d'émission-réception ;

une unité (13) de calcul de la vitesse Doppler pour calculer la vitesse Doppler de la cible à partir des
30 impulsions reçues, dont les phases sont détectées par l'unité de détection ; et

une unité (23) de correction de la vitesse Doppler pour mémoriser une vitesse Doppler sur une cible de référence calculée au moyen de l'unité de calcul de la
35 vitesse Doppler en tant que valeur de correction de la

vitesse Doppler ;

la vitesse Doppler de la cible calculée par l'unité (13) de calcul de la vitesse Doppler étant corrigée sur la base de la valeur de correction de la vitesse Doppler
5 mémorisée dans l'unité (23) de correction de la vitesse Doppler.

7. Appareil radar météorologique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la cible de référence est constituée par des moyens de
10 retardement/réflexion (18) prévus à l'intérieur de l'appareil.

8. Appareil radar météorologique selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une pluralité de signaux impulsionnels d'émission sont émis et les instants
15 d'émission des signaux impulsionnels d'émission sont corrigés sur la base d'une valeur moyenne et d'une variance des vitesses Doppler calculées à partir d'une pluralité de signaux impulsionnels reçus correspondant à la pluralité de signaux impulsionnels d'émission.

20 9. Appareil radar météorologique pour projeter signal impulsionnel d'émission constitué par une pluralité d'impulsions délivrées par une unité d'émission en direction d'une cible et calculer la vitesse Doppler de la cible à partir d'un signal impulsionnel reçu réfléchi par
25 cette dernière, caractérisé en ce que cet appareil comporte :

un coupleur directionnel (17) pour prélever une partie du signal impulsionnel d'émission pour l'envoyer à l'unité de réception ;

30 une unité (14) de détection de synchronisation des impulsions pour calculer un décalage de la synchronisation des impulsions du signal impulsionnel d'émission par rapport au signal impulsionnel d'émission prélevé par le coupleur directionnel et pour détecter l'instant
35 d'échantillonnage du signal impulsionnel reçu par l'unité

de réception sur la base du décalage de synchronisation des impulsions ; et

des moyens de commande de l'instant d'échantillonnage pour commander l'instant
5 d'échantillonnage de l'unité de réception sur la base de l'instant d'échantillonnage détecté par l'unité de détection de la synchronisation des impulsions.

10. Appareil radar météorologique selon la revendication 8, caractérisé en ce que le signal
10 impulsionnel d'émission est constitué de deux impulsions.

11. Appareil radar météorologique selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il est monté sur un corps mobile permettant de modifier le site de mesure de la vitesse Doppler.

FIG. 1

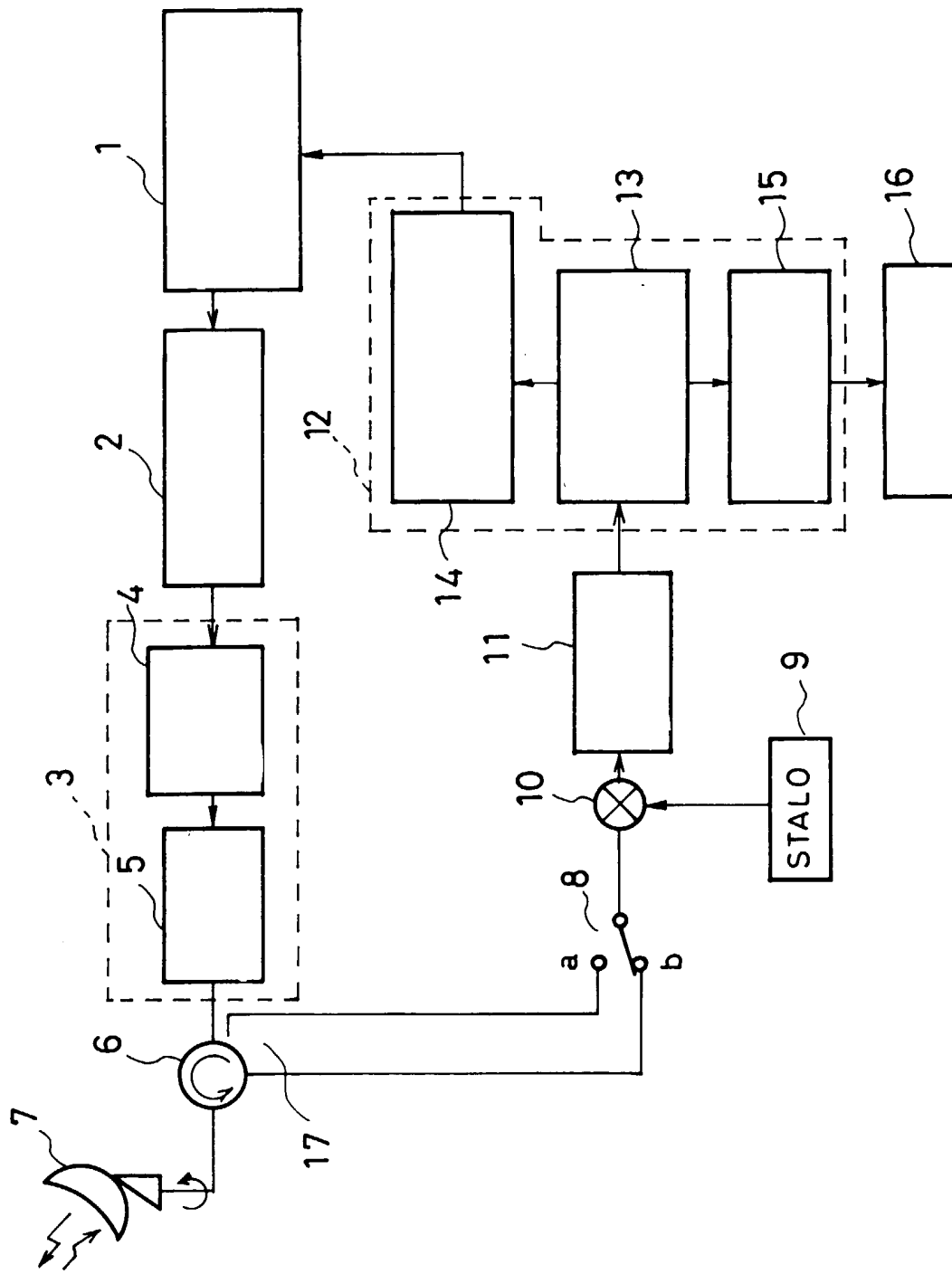


FIG. 2

ONDES
IMPULSIONNELLES
D'EMISSION

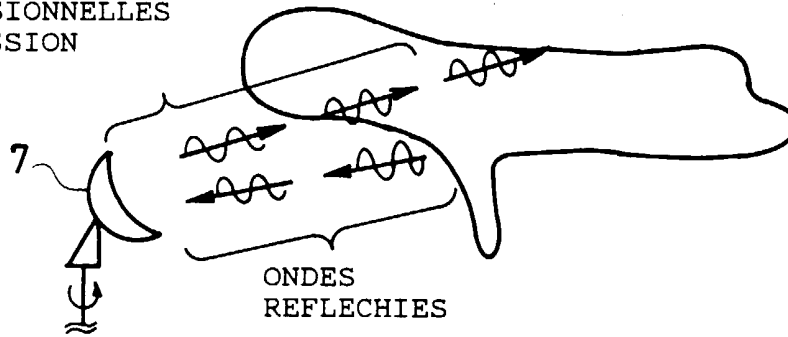


FIG. 3 (a)

MESURE A IMPULSIONS DOUBLES
(PROCEDE A COUPLES D'IMPULSIONS)

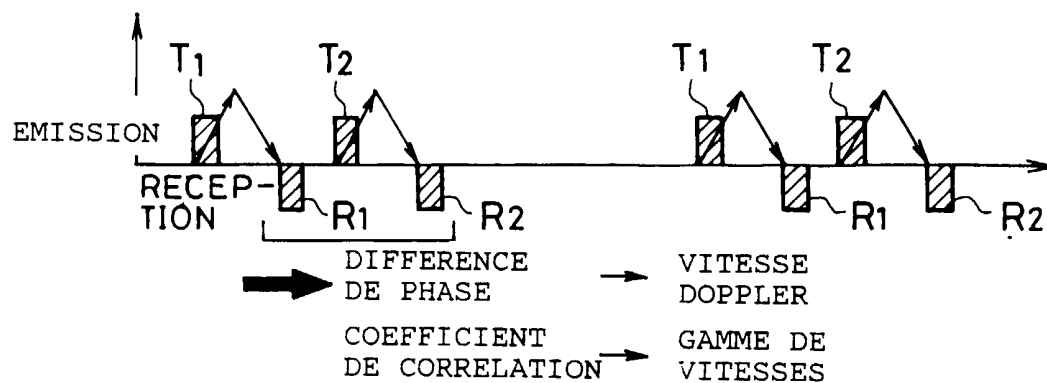


FIG. 3 (b)

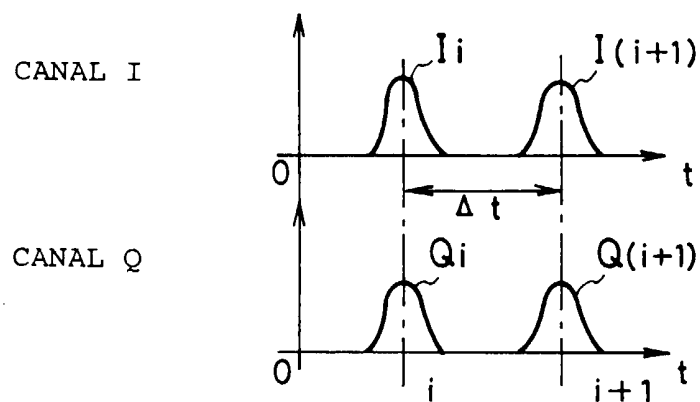


FIG. 3 (c)

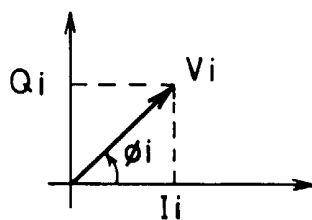


FIG. 4

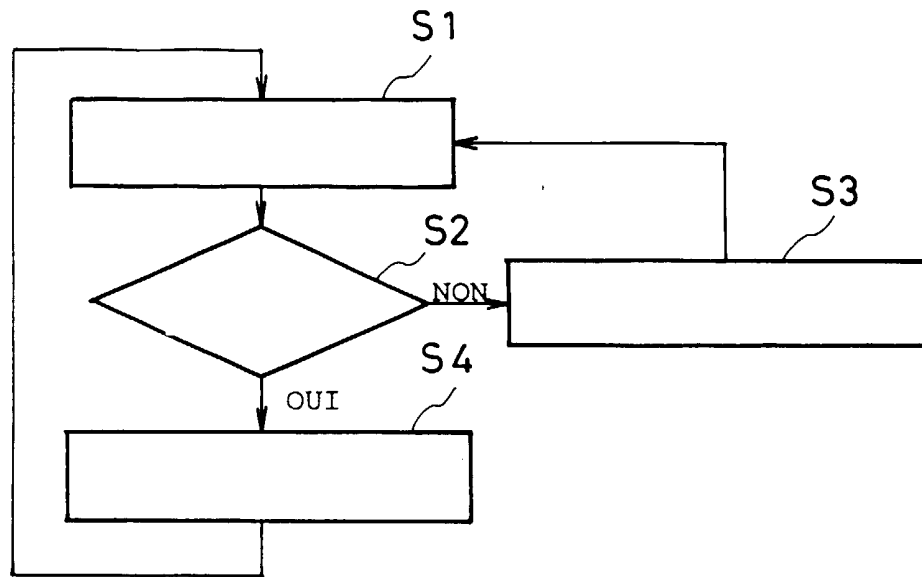


FIG. 5 (a)

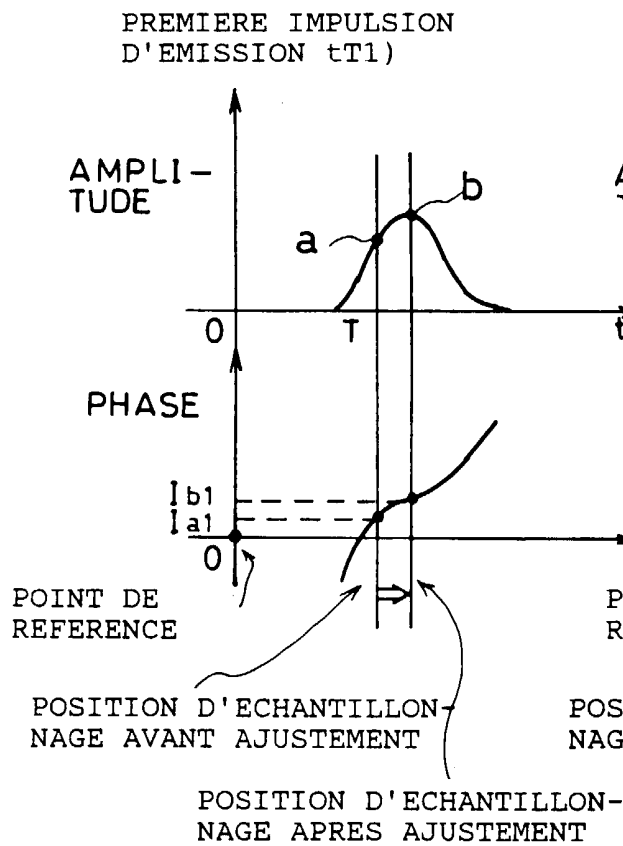


FIG. 5 (b)

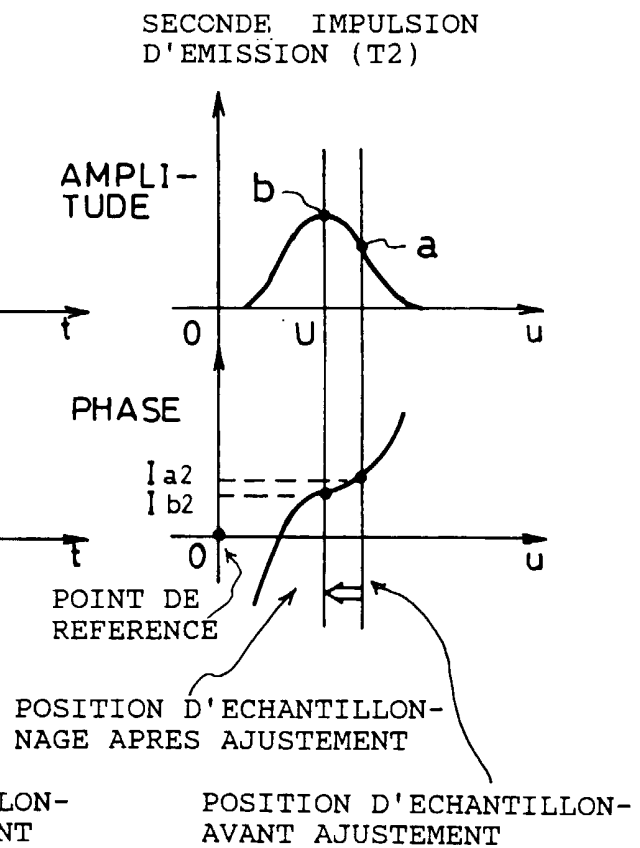


FIG. 6

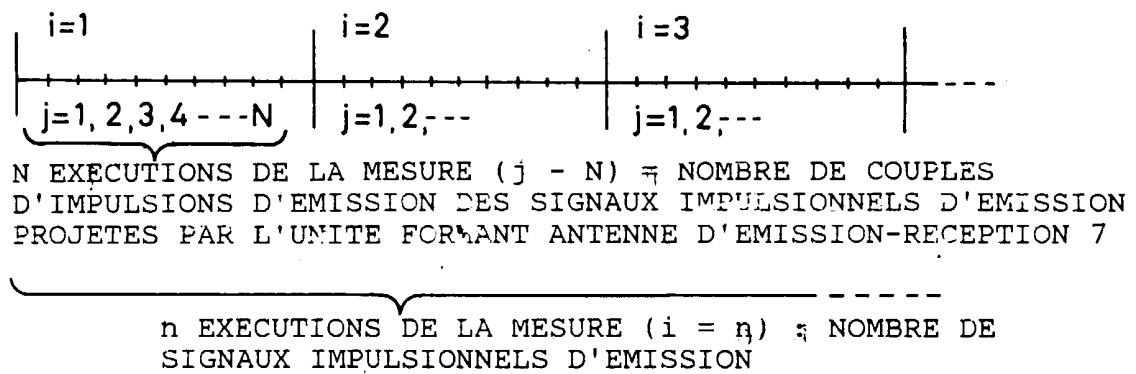


FIG. 7

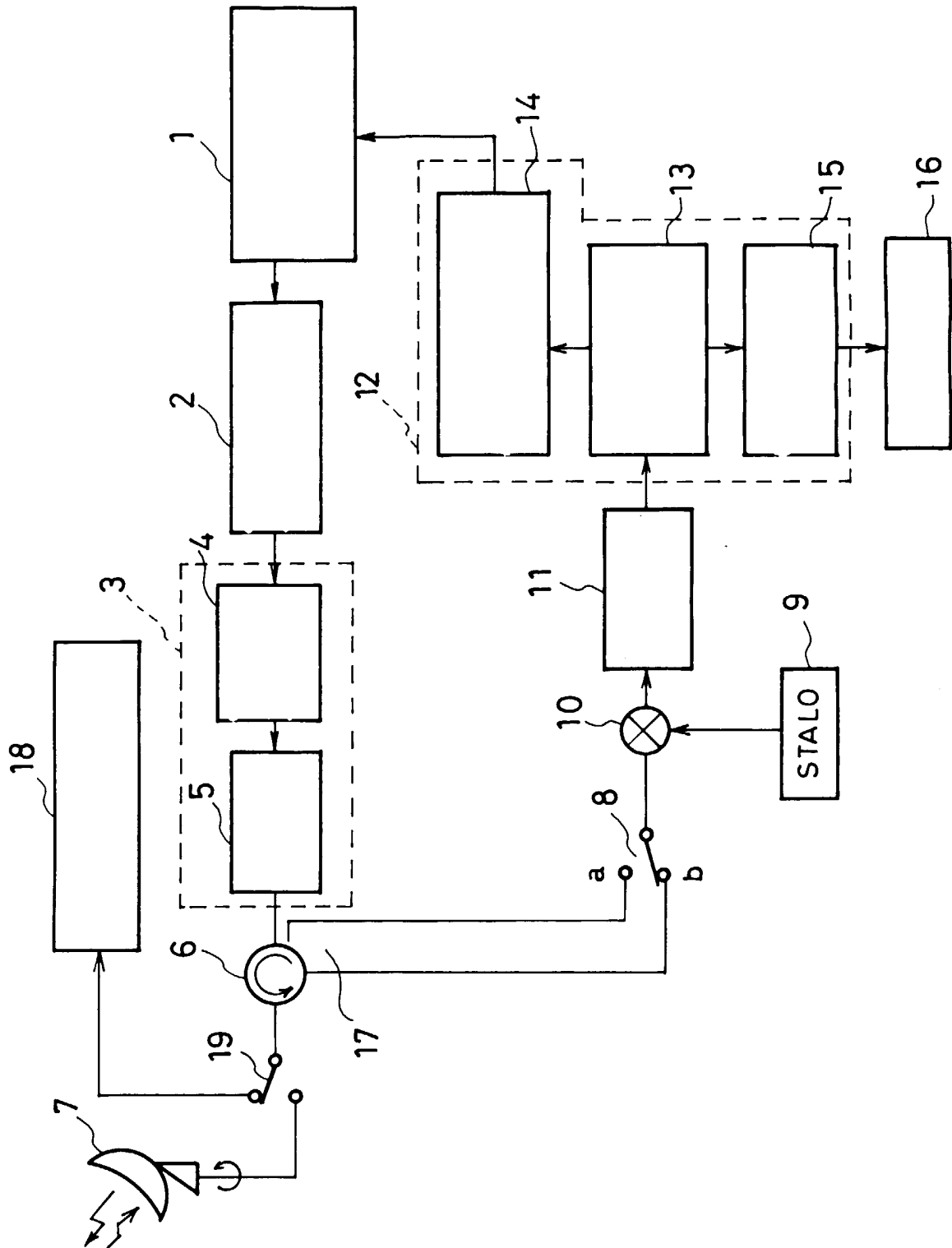


FIG. 8

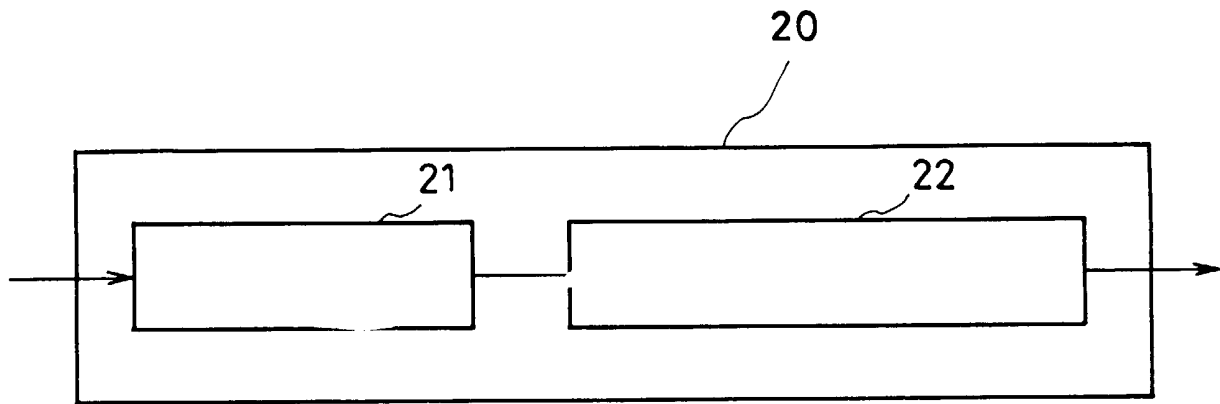


FIG. 9

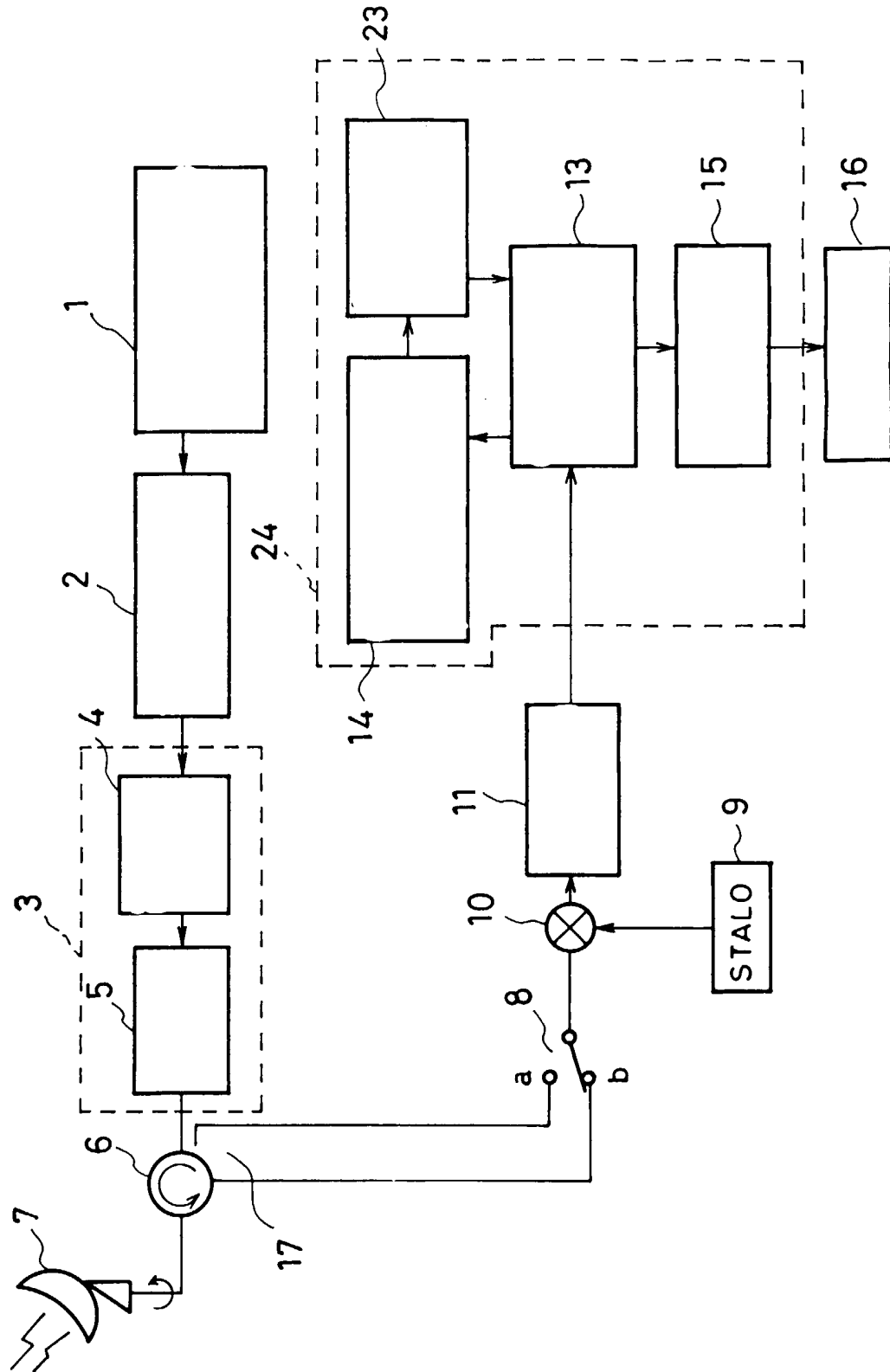
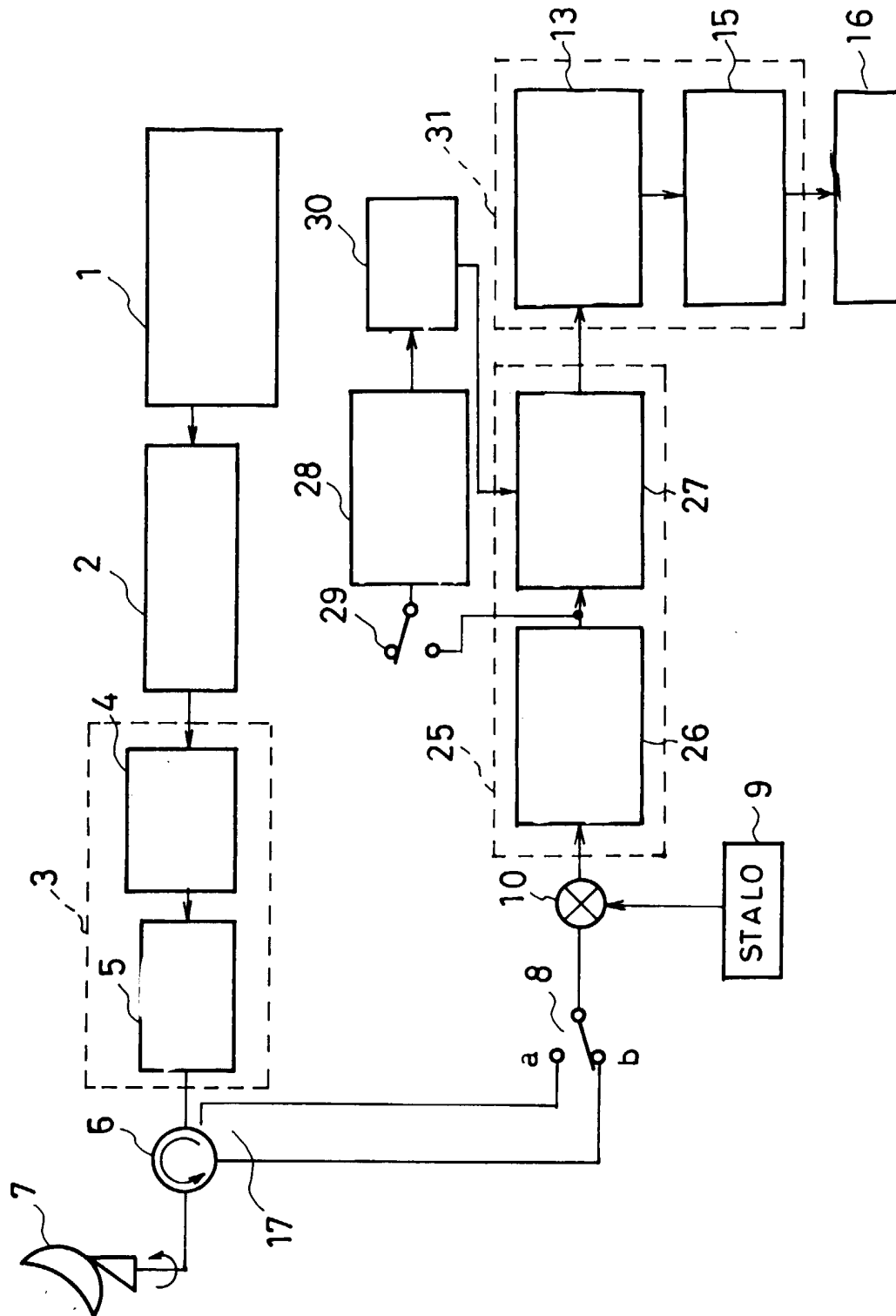


FIG. 10



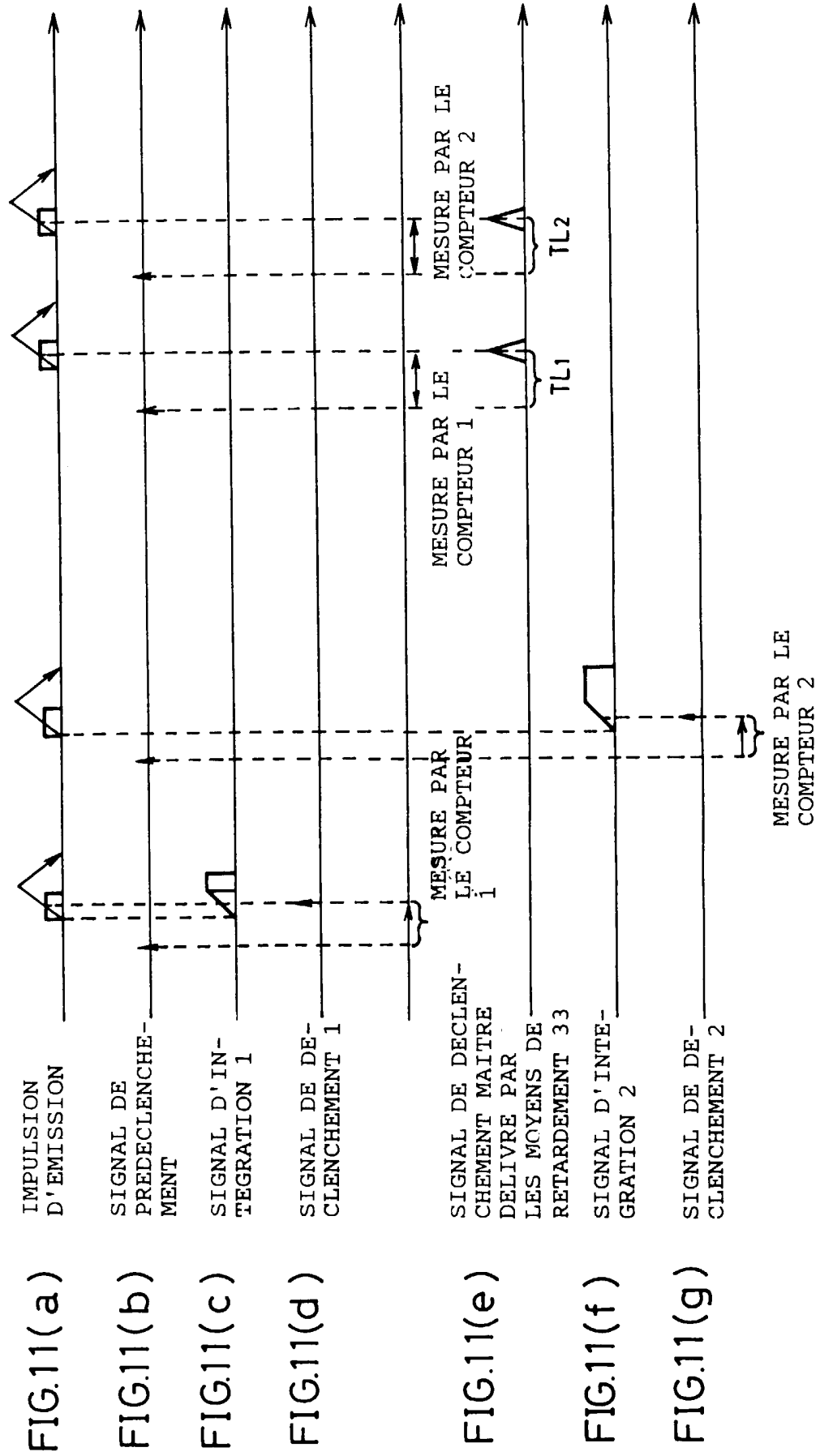
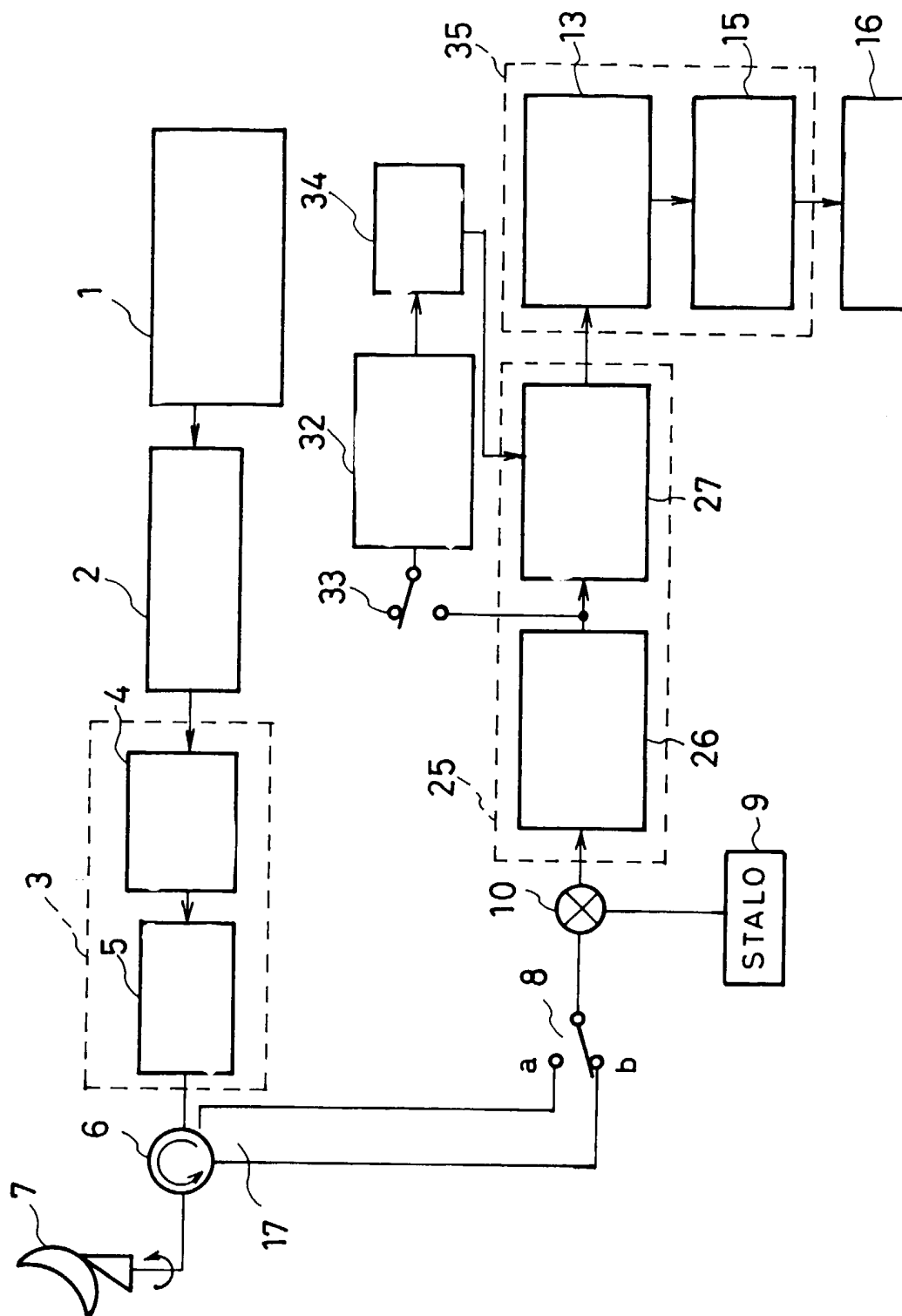


FIG. 12



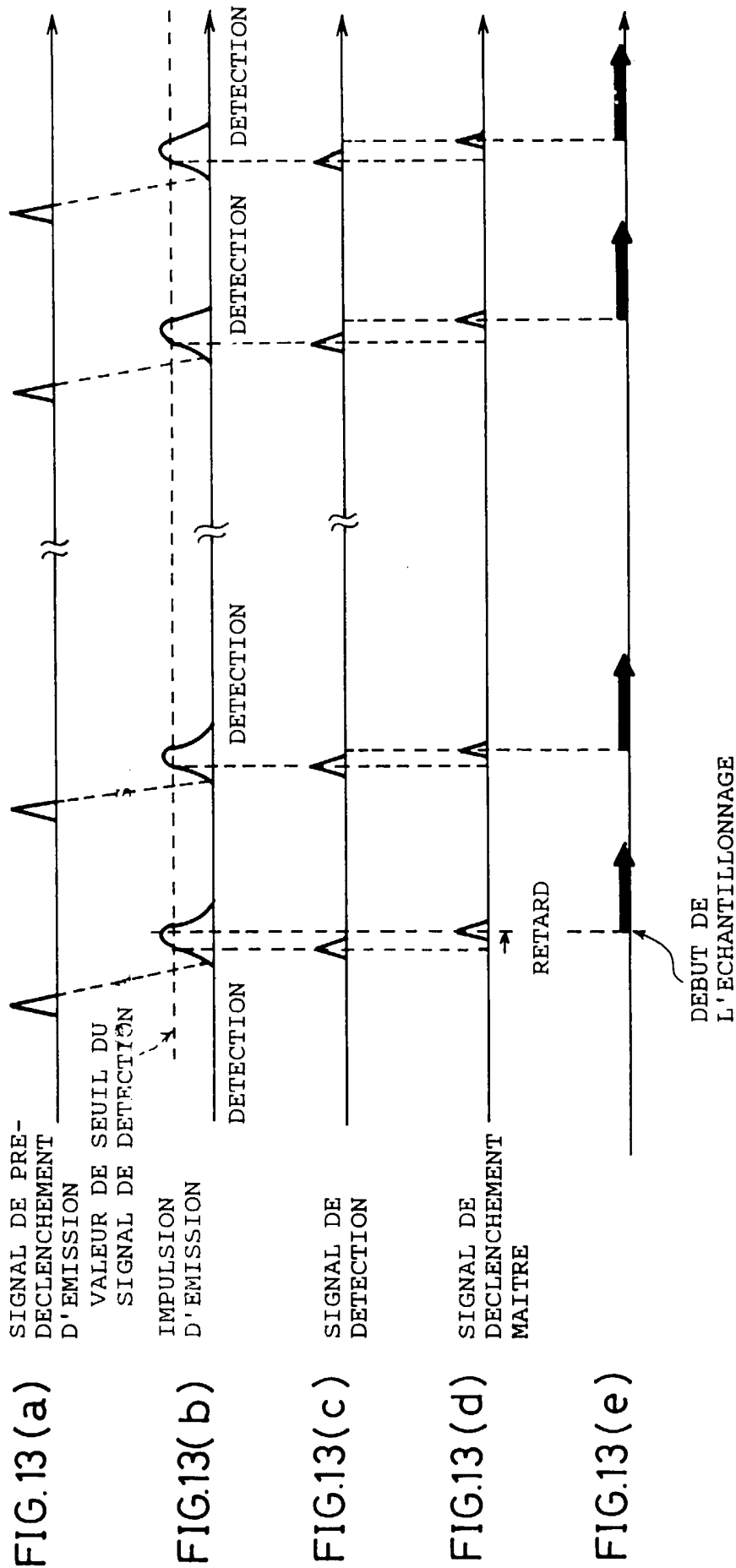


FIG. 14

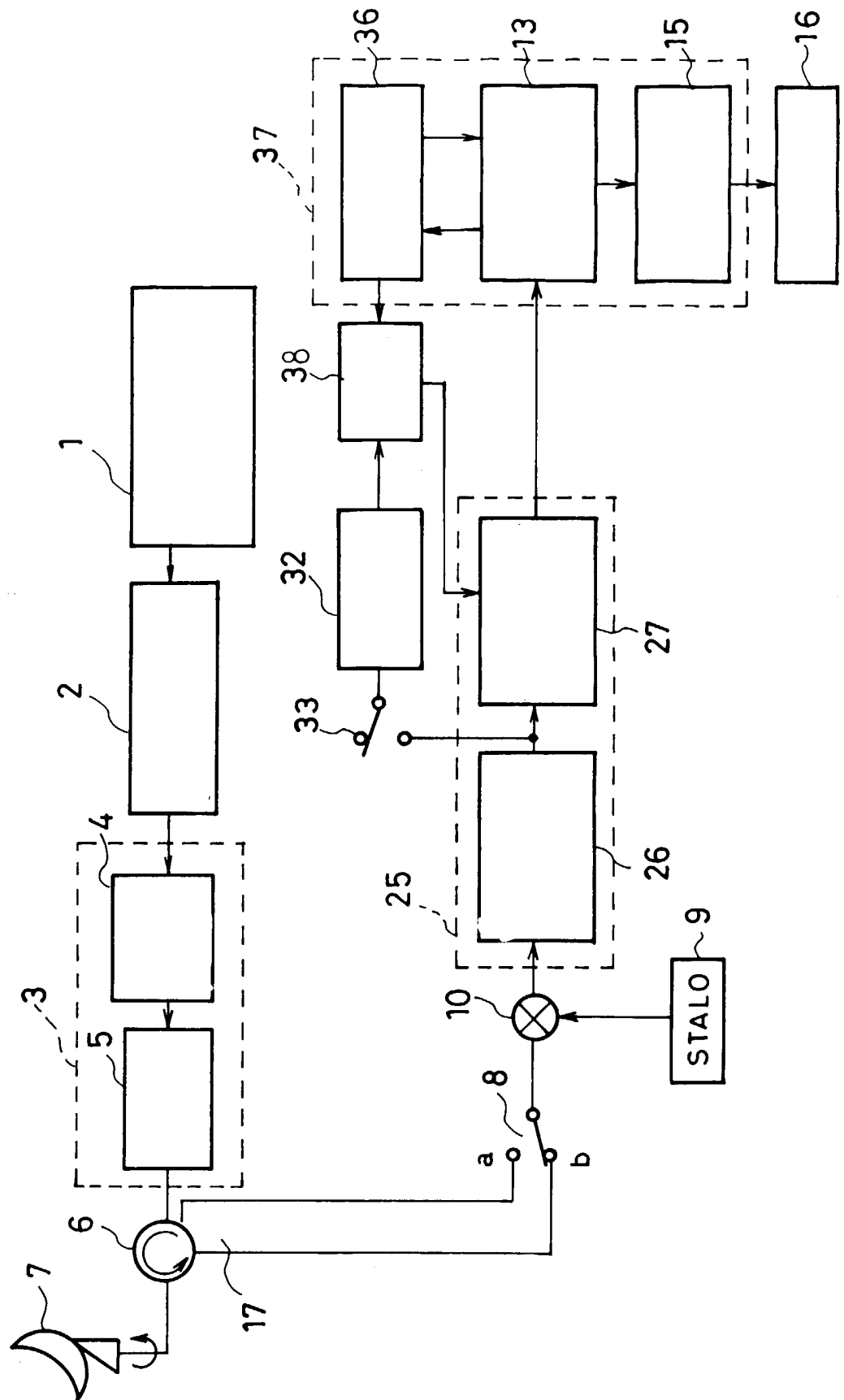


FIG.15

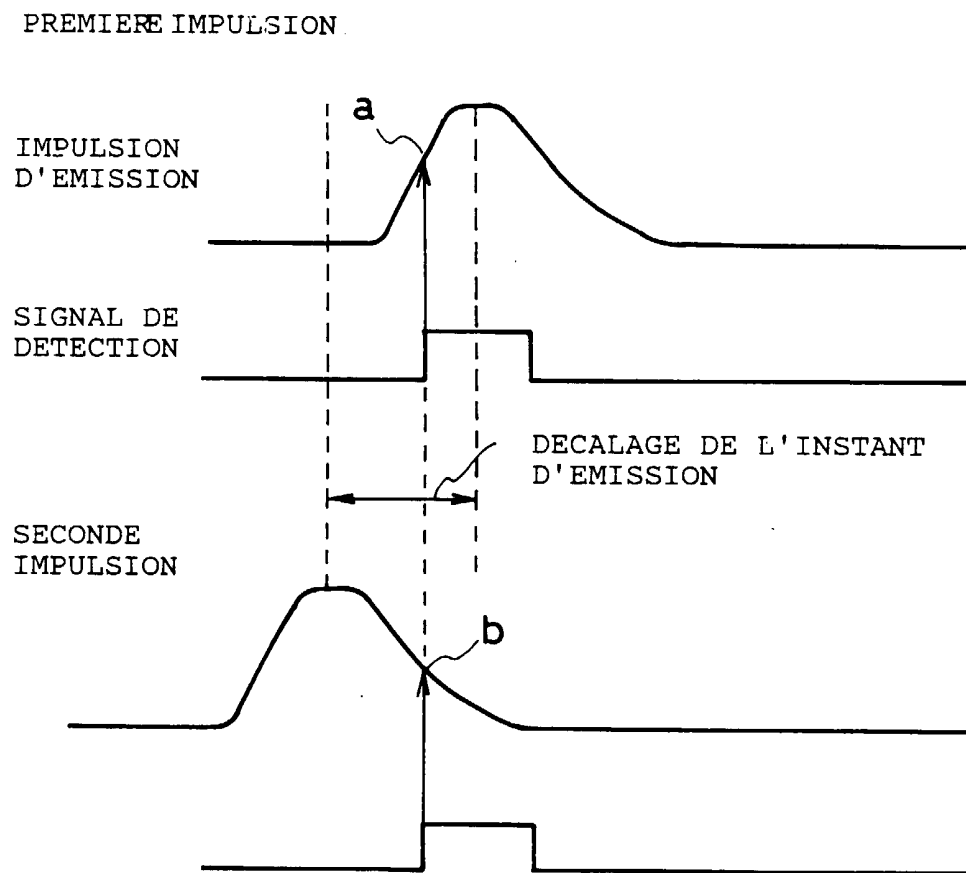


FIG. 16

