



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2005/10/06
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2006/04/20
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2007/02/19
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2005/002460
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2006/040441
(30) Priorité/Priority: 2004/10/08 (FR0410613)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G05D 1/06* (2006.01),
G01C 23/00 (2006.01)

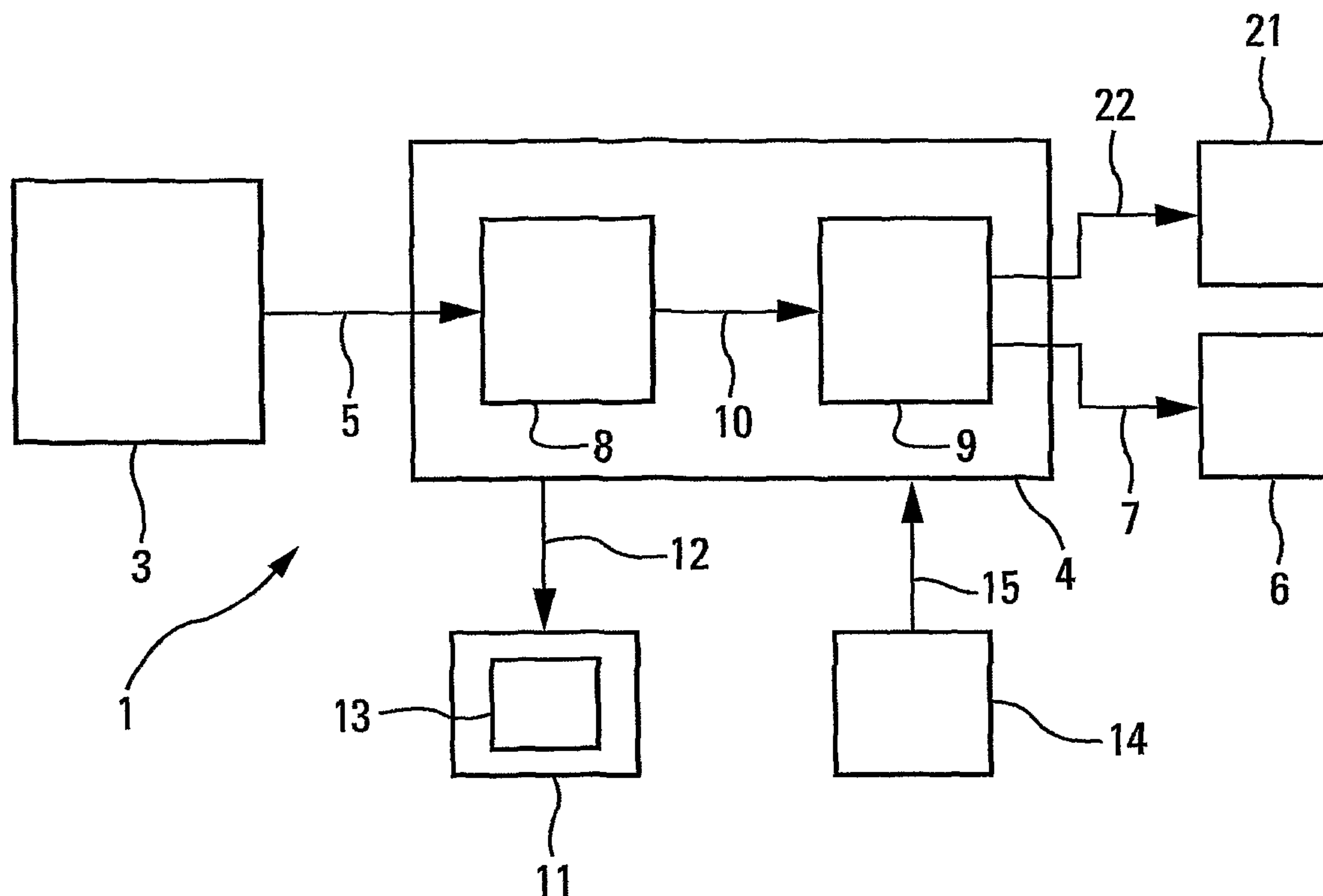
(71) Demandeur/Applicant:
AIRBUS FRANCE, FR

(72) Inventeurs/Inventors:
DAVEZE, FABIEN, FR;
FOUCART, VINCENT, FR;
BOTARGUES, PAULE, FR;
AVERSENG, DIDIER, FR

(74) Agent: ROBIC

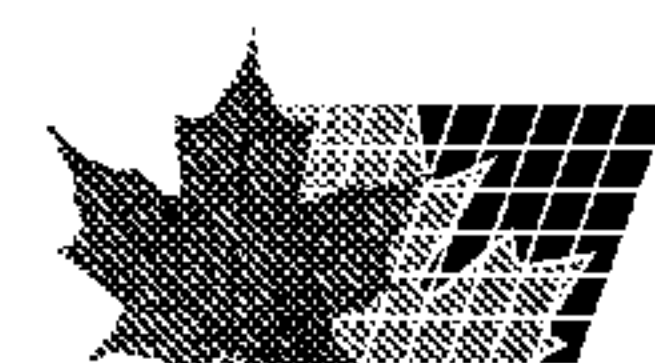
(54) Titre : PROCÉDE ET SYSTÈME D'ÉVITEMENT POUR UN AÉRONEF

(54) Title: AVOIDANCE METHOD AND SYSTEM FOR AN AIRCRAFT



(57) Abrégé/Abstract:

Procédé et système d'évitement pour un aéronef, ledit système d'évitement (1) comporte un système d'anticollision (3), des moyens de calcul (4) pour déterminer automatiquement lors d'une alarme, à partir d'informations d'évitement reçues du système d'anti-collision (3), des consignes d'évitement, et un dispositif d'aide à l'évitement (6, 21) qui est relié aux moyens de calcul (4) et qui aide au guidage de l'aéronef (A) à l'aide de consignes d'évitement reçues de ces moyens de calcul (4).



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
20 avril 2006 (20.04.2006)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2006/040441 A1(51) Classification internationale des brevets :
G05D 1/06 (2006.01) *G01C 23/00* (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2005/002460(22) Date de dépôt international :
6 octobre 2005 (06.10.2005)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0410613 8 octobre 2004 (08.10.2004) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **AIR-BUS FRANCE** [FR/FR]; 316 route de Bayonne, F-31060 TOULOUSE (FR).

(72) Inventeurs; et

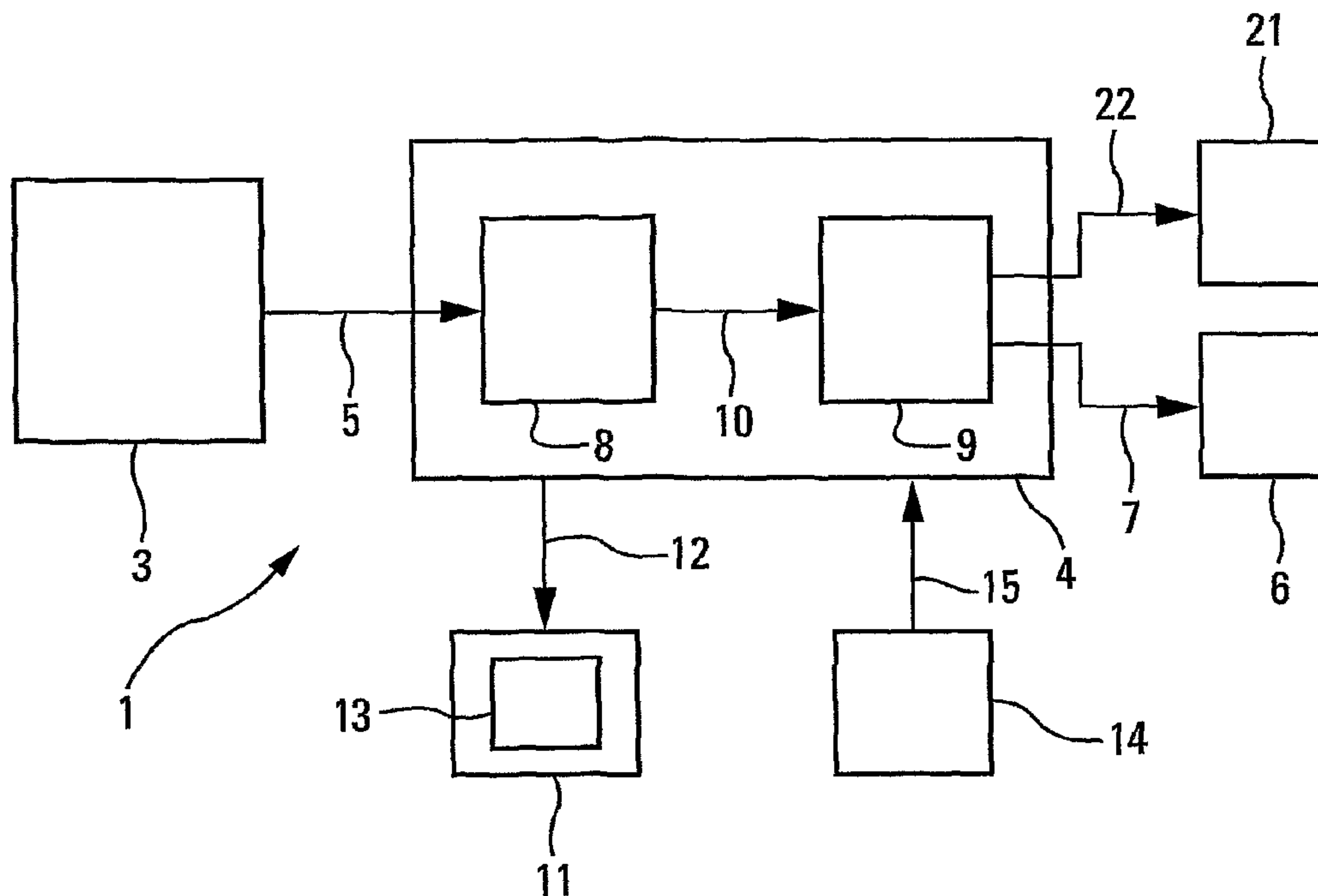
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **DAV-EZE, Fabien** [FR/FR]; 23 rue du 14 juillet, F-31100 TOULOUSE (FR). **FOUCART, Vincent** [FR/FR]; 8, résidence les Jardins Occitans, F-31520 RAMONVILLE SAINT-AGNE (FR). **BOTARGUES, Paule** [FR/FR]; 25 rue des Filatiers, F-31000 TOULOUSE (FR). **AVERSENG, Didier** [FR/FR]; 2 rue des Myosotis, F-31700 BLAGNAC (FR).(74) Mandataire : **CABINET BONNETAT**; 29 rue de St. Pétersbourg, F-75008 PARIS (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: AVOIDANCE METHOD AND SYSTEM FOR AN AIRCRAFT

(54) Titre : PROCÉDE ET SYSTÈME D'ÉVITEMENT POUR UN AÉRONEF



(57) Abstract: The invention relates to an avoidance method and system for an aircraft, said avoidance system (1) comprising an anti-collision system (3), calculation means (4) for automatic determination of avoidance instructions, on an alarm, from avoidance information received from the anti-collision system (3) and an avoidance aid system (6, 21), connected to the calculation means (4) which aid the piloting of the aircraft (A), by means of the instructions received from said calculation means (4).

[Suite sur la page suivante]

WO 2006/040441 A1

WO 2006/040441 A1

OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT,

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) **Abrégé :** Procédé et système d'évitement pour un aéronef, ledit système d'évitement (1) comporte un système d'anticollision (3), des moyens de calcul (4) pour déterminer automatiquement lors d'une alarme, à partir d'informations d'évitement reçues du système d'anti-collision (3), des consignes d'évitement, et un dispositif d'aide à l'évitement (6, 21) qui est relié aux moyens de calcul (4) et qui aide au guidage de l'aéronef (A) à l'aide de consignes d'évitement reçues de ces moyens de calcul (4).

Procédé et système d'évitement pour un aéronef.

La présente invention concerne un procédé et un système d'évitement pour un aéronef, en particulier un avion de transport.

Plus précisément, l'invention s'applique à un système d'évitement comportant un système d'anticollision qui est susceptible :

- 5 – de détecter un risque de collision avec un autre aéronef appelé aéronef intrus ci-après (c'est-à-dire qui réalise une intrusion dans l'espace proche de la position actuelle de l'aéronef considéré) ; et
- lors d'une telle détection, d'émettre une alarme et de déterminer des informations d'évitement précisées ci-dessous.

10 Une manœuvre d'évitement d'un aéronef intrus est une manœuvre délicate, puisque l'on demande à l'équipage d'éviter la trajectoire de l'aéronef intrus tout en gardant la maîtrise de son propre aéronef et de la trajectoire de ce dernier. Deux problèmes peuvent notamment surgir pendant une telle manœuvre :

- 15 – le pilote pousse l'aéronef à la limite ou en dehors de son enveloppe de vol. Ceci déclenche d'autres alarmes qui viennent s'ajouter à l'alarme initiale ;
- le pilote quitte son plan de vol pour réaliser l'évitement. Il risque dans ce cas de croiser la trajectoire d'un troisième aéronef. Il en résulte souvent une perturbation du trafic aérien, en particulier dans les zones
- 20 d'approche de grands aéroports.

On sait qu'un système d'anticollision, en particulier de type TCAS ("Traffic alert and Collision Avoidance System" en anglais, c'est-à-dire système d'alerte de trafic et d'évitement de collision), permet de surveiller

25 les trajectoires des aéronefs à proximité de l'aéronef considéré et de représenter leurs positions respectives sur un écran de visualisation, par

exemple de type ND ("Navigation Display" en anglais, à savoir écran de navigation).

Ce système d'anticollision repose sur un échange d'informations par l'intermédiaire de transpondeurs. A l'aide de l'altitude et de la distance, échangées par exemple toutes les secondes, ledit système d'anti-
collision calcule la trajectoire de tout aéronef intrus. Il estime alors le danger potentiel et calcule une manœuvre appropriée pour l'éviter. Cette manœuvre s'exécute uniquement dans le plan vertical.

Les aéronefs intrus sont généralement classés en plusieurs catégories suivant leur proximité. On distingue ainsi les alertes ou alarmes suivantes :

- une alerte de trafic ("Traffic Advisory" en anglais) qui permet de signaler les appareils qui sont entre 25 et 40 secondes de l'aéronef. Le pilote doit surveiller l'évolution des trajectoires de ces appareils, mais aucune manœuvre ou limitation ne lui est imposée ; et
- une alarme ou alerte ferme (appelée alarme ci-après) ["Resolution Advisory" en anglais] qui prévient d'un danger proche (moins de 25 secondes). A partir des données relatives aux deux aéronefs (altitude, distance et vitesse), le système d'anticollision élabore deux manœuvres possibles :
 - une première manœuvre associée à une alerte préventive, qui consiste à maintenir la trajectoire courante ;
 - une seconde manœuvre associée à une alarme corrective, qui consiste à exécuter une montée ou une descente à un taux défini par le système d'anticollision jusqu'à ce que le danger soit écarté. Cette manœuvre s'effectue uniquement dans le plan vertical.

Lors d'une alarme ou alerte ferme de type "Resolution Advisory", une signalétique particulière est généralement présentée sur une échelle de

vitesse verticale de l'écran primaire de pilotage de l'aéronef. Deux zones sont affichées sur cette échelle :

- une zone rouge qui représente une zone de vitesse verticale interdite ;
et
- 5 – une zone verte dans laquelle le pilote doit placer la vitesse verticale de l'aéronef afin d'éviter l'aéronef intrus.

En cas d'alarme corrective, on demande au pilote de désengager le cas échéant le pilote automatique et d'effectuer la manœuvre d'évitement manuellement. Il doit pour cela actionner le manche de commande pour
10 placer la vitesse verticale dans la zone de sécurité verte précitée. Dans la pratique, on demande aux pilotes de suivre la vitesse verticale limite entre la zone rouge et la zone verte.

Cependant, l'expérience montre que le suivi d'une consigne de vitesse verticale n'est pas intuitif pour un pilote. En effet, la vitesse verticale n'est pas un paramètre primaire de pilotage, comme l'assiette ou la
15 vitesse air par exemple. Les pilotes ont ainsi tendance à dépasser la consigne, ce qui peut entraîner :

- une forte variation du facteur de charge, qui nuit au confort et à la sécurité des passagers ;
- 20 – une variation brusque de la vitesse et de l'incidence, qui implique un risque de sortie de l'enveloppe de vol ; et
- un écart important de la trajectoire par rapport à la trajectoire initiale, qui perturbe le trafic aérien sur des zones de trafic dense.

Pour essayer de remédier à ces inconvénients, une solution connue préconise d'afficher sur l'écran primaire de pilotage une consigne d'évitement exprimée en assiette. Pour cela, la consigne de vitesse verticale est convertie en une valeur d'assiette, plus facile à asservir par le pilote. Cette représentation est connue sous le nom de "Pitch Cues" (indications d'as-
25 siette).

Toutefois, l'évitement manuel mis en œuvre dans ce cas reste très dynamique et ne comble pas tous les problèmes précédemment évoqués (en particulier parce que les indications de tangage ou d'assiette sont calculées avec un gain relativement élevé pour inciter le pilote à réaliser une manœuvre d'évitement rapide).

La présente invention a pour objet de remédier à ces inconvénients. Elle concerne un procédé d'évitement permettant d'empêcher lors de l'évitement en vol d'un aéronef intrus des variations brusques de facteur de charge, en réalisant une manœuvre optimale et un asservissement précis sur la valeur de consigne appropriée.

A cet effet, selon l'invention, ledit procédé d'évitement pour un aéronef comportant un système d'anticollision qui est susceptible :

- de détecter un risque de collision avec au moins un aéronef intrus ; et
- lors d'une telle détection, d'émettre une alarme (à savoir une alarme corrective ou une alerte préventive telles que précitées) et de déterminer des informations d'évitement,

est remarquable en ce que, lors de l'émission d'une alarme :

- a) on détermine automatiquement, à partir d'informations d'évitement correspondantes, au moins des consignes d'évitement qui permettent d'éviter toute collision si elles sont appliquées à l'aéronef, pour ce faire, on détermine, à partir desdites informations d'évitement, des premières consignes qui sont exprimées en terme de vitesse verticale et qui permettent d'éviter une collision ; et

- b) on transmet automatiquement ces consignes d'évitement à au moins un moyen d'aide à l'évitement.

Avantageusement, à l'étape a), on transforme ces premières consignes en consignes correspondantes exprimées en terme de facteur de charge de manière à former lesdites consignes d'évitement. De préférence, pour transformer lesdites premières consignes (qui sont exprimées

en terme de vitesse verticale) en consignes d'évitement (qui sont exprimées en terme de facteur de charge), on utilise l'expression suivante :

$$NZ_{com} = K.(VZ_{courante} - VZ_{cible})$$

dans laquelle :

- 5 – NZ_{com} représente la valeur du facteur de charge commandé, qui est utilisée pour guider l'aéronef ;
- $VZ_{courante}$ est la valeur de la vitesse verticale courante de l'aéronef ;
- VZ_{cible} est la valeur d'une vitesse verticale cible ; et
- K est une variable dépendant de la vitesse courante de l'aéronef.

10 En outre :

- dans une première variante, on détermine lesdites premières consignes de manière à se rapprocher au maximum d'une vitesse verticale nulle, tout en respectant lesdites informations d'évitement, comme précisé ci-dessous ; et
- 15 – dans une seconde variante, on détermine lesdites premières consignes de manière à minimiser l'écart entre la trajectoire d'évitement de l'aéronef et la trajectoire initiale (avant l'alarme).

Dans un premier mode de réalisation, à l'étape b), on transmet automatiquement les consignes d'évitement à un dispositif de guidage automatique de l'aéronef, qui est susceptible de mettre en œuvre un mode
20 de guidage permettant de guider automatiquement l'aéronef conformément à des consignes d'évitement reçues, lorsqu'un pilote automatique est engagé et que ledit mode de guidage est déclenché.

Ainsi, grâce à l'utilisation d'un dispositif de guidage automatique,
25 on est en mesure de remédier aux inconvénients précités dus à un évitement manuel mis en œuvre directement par le pilote. En effet, la présente invention permet ainsi d'éviter les variations brusques de facteur de charge, en réalisant une manœuvre optimale et un asservissement précis sur la consigne. Ceci se traduit par un meilleur confort pour les passagers,

une plus grande marge de sécurité vis-à-vis de l'enveloppe de vol, un éloignement minimal par rapport à l'altitude de consigne et donc une perturbation réduite du trafic aérien.

On sait qu'un dispositif de guidage automatique assure d'excellentes performances pour toutes captures et tous maintiens de consignes et une meilleure reproductibilité que les pilotes. Aussi, la manœuvre réalisée par un dispositif de guidage automatique est plus confortable et plus proche de la consigne que celle réalisée manuellement par un pilote.

De plus, une manœuvre automatique permet de délester le pilote d'une tâche de pilotage (manœuvre d'évitement) qui a été faite manuellement jusqu'ici, ce qui lui laisse notamment plus de temps pour identifier le ou les aéronefs intrus lors de cette situation à fort stress.

On notera que dans le cadre de la présente invention :

- on appelle "alarme" une alarme ou alerte ferme de type "Resolution Advisory" précité. Une telle alarme peut être une alerte préventive ou une alarme corrective ; et
- lorsqu'il y a lieu de distinguer entre les deux types d'alarme, on le précise spécifiquement.

Dans une première variante de réalisation, lors de l'émission d'une alarme, si le pilote automatique est préalablement engagé :

- on affiche un message pour avertir un pilote de l'alarme ; et
- ledit mode de guidage (mis en œuvre par ledit dispositif de guidage automatique) est déclenché lorsque le pilote actionne un moyen d'actionnement prévu à cet effet.

En outre, dans une seconde variante de réalisation préférée, lors de l'émission d'une alarme, si le pilote automatique est préalablement engagé, ledit mode de guidage est déclenché automatiquement par l'émission de cette alarme. Ceci permet de délester le pilote de ce déclenchement et ainsi de toute la procédure d'évitement. Dans ce cas, avantageu-

sement, ledit mode de guidage est susceptible d'être arrêté par le pilote, par l'actionnement d'un moyen d'actionnement approprié prévu à cet effet.

En outre, avantageusement :

- 5 – dans une première variante, lors de l'émission d'une alarme, si le pilote automatique n'est pas engagé, ledit mode de guidage est déclenché automatiquement lorsqu'un pilote engage ledit pilote automatique ; et
- dans une seconde variante, si le pilote automatique n'est pas engagé, il s'engage automatiquement et ledit mode de guidage est déclenché au-
10 tomatiquement lors de l'émission d'une alarme.

De plus, de façon avantageuse, si une alarme corrective est remplacée par une alerte préventive, un mode de guidage préalablement déclenché reste en fonctionnement.

Par ailleurs, dans un mode de réalisation particulier, un mode de
15 guidage préalablement déclenché est arrêté automatiquement, lorsque l'une des situations suivantes se présente :

- le pilote dégage ledit pilote automatique ;
- le pilote déclenche un autre mode de guidage ;
- le système d'anticollision émet un signal de fin d'alarme.

20 En variante ou en complément du premier mode de réalisation précité (selon lequel le moyen d'aide à l'évitement comporte un dispositif de guidage automatique), dans un second mode de réalisation, à l'étape b), on transmet automatiquement les consignes d'évitement à un directeur de vol qui met en œuvre un mode d'affichage permettant d'afficher des in-
25 formations représentatives desdites consignes d'évitement, lorsqu'il est engagé et que ledit mode d'affichage est déclenché. De préférence, lesdites informations représentent des consignes de facteur de charge.

Lorsque ce second mode de réalisation est utilisé en variante audit premier mode de réalisation, on fournit au pilote les informations lui per-

mettant de réaliser un évitement manuel, en suivant les consignes de pilotage affichées.

Bien entendu, ce second mode de réalisation peut également être utilisé en complément dudit premier mode de réalisation. Dans ce cas, la manœuvre d'évitement est réalisée automatiquement au moyen dudit dispositif de guidage automatique, mais le pilote peut la surveiller et décider à tout moment de reprendre cette manœuvre manuellement, en bénéficiant alors d'une continuité d'affichage sur le directeur de vol lors du changement de mode de pilotage.

Les différents modes de déclenchement du mode d'affichage mis en œuvre par le directeur de vol peuvent être déduits de façon analogue à ceux précités du mode de guidage mis en œuvre par le dispositif de guidage automatique.

On notera que, lorsque le pilote dégage le pilote automatique, on sort du mode de guidage préalablement déclenché et on déclenche un mode d'affichage sur un directeur de vol ou on le maintient engagé s'il l'était déjà.

Avantageusement, lors de l'émission d'une alerte préventive :

- si on est initialement dans un mode de guidage susceptible de faire varier la vitesse verticale de l'aéronef, on engage un mode de maintien de vitesse verticale guidant vers la vitesse verticale courante de l'aéronef ; et
- si on est initialement dans un mode de guidage garantissant une vitesse verticale constante, on maintient ce mode de guidage.

De plus, de façon avantageuse, lors de l'émission d'une alarme corrective, on engage un mode spécifique guidant vers une valeur cible de vitesse verticale.

En outre, avantageusement, lors de l'émission d'une alarme :

- si on est initialement dans un mode de guidage latéral, on maintient ce mode de guidage latéral ; et
- si initialement aucun mode de guidage latéral n'est engagé, on engage un mode de maintien du cap courant.

5 Par ailleurs, de façon avantageuse, lors de l'émission d'une alarme, on engage un système de contrôle automatique de la poussée des moteurs de l'aéronef dans un mode de maintien de vitesse, et ceci quel que soit l'état initial dudit système de contrôle automatique de la poussée.

10 Par ailleurs, avantageusement, lors de l'émission d'une alerte préventive, pour la sortie d'une manœuvre d'évitement lorsque le système d'anticollision émet un signal de fin d'alarme, on maintient les modes de guidage utilisés lors de cette manœuvre d'évitement.

15 De plus, de façon avantageuse, lors de l'émission d'une alarme corrective, pour la sortie d'une manœuvre d'évitement lorsque le système d'anticollision émet un signal de fin d'alarme, on engage un mode permettant de rejoindre la trajectoire initiale. Pour cela, de façon préférée :

- longitudinalement, on engage un mode de maintien de vitesse verticale et on arme un mode de capture d'altitude de manière à capturer une altitude cible lorsque cette dernière sera atteinte par l'aéronef de façon
20 à rejoindre la trajectoire initiale ; et
- latéralement, on maintient le mode de guidage courant.

 En outre, avantageusement, lors d'un changement d'alarme au cours d'une manœuvre d'évitement, on réinitialise la manœuvre.

25 Par ailleurs, avantageusement, lors de l'émission d'une alerte préventive, si un mode de capture d'altitude est armé, il est maintenu armé.

 De plus, de façon avantageuse, lors de l'émission d'une alarme corrective, si un mode de capture d'altitude est armé :

- si une valeur prédéterminée "0 pieds/minute" ("0ft/min" en anglais) n'est pas dans un domaine de vitesse verticale interdit, ledit mode de capture d'altitude est maintenu armé ;
- sinon, il est désarmé.

5 Par ailleurs, avantageusement, lors de l'émission d'une alerte préventive, un mode d'évitement est présenté au pilote comme armé, et ceci selon une première présentation particulière.

 De plus, de façon avantageuse, lors de l'émission d'une alarme corrective, un mode d'évitement est présenté au pilote comme engagé, et
10 ceci selon une seconde présentation particulière.

 La présente invention concerne également un système d'évitement pour un aéronef, en particulier un avion de transport civil.

 Selon l'invention, ledit système d'évitement du type comportant un système d'anticollision qui est susceptible :

- 15 – de détecter un risque de collision avec au moins un aéronef intrus ; et
 - lors d'une telle détection, d'émettre une alarme et de déterminer des informations d'évitement,
- est remarquable en ce qu'il comporte de plus :
- des moyens de calcul (faisant de préférence partie d'un pilote automati-
20 que) pour déterminer automatiquement lors de l'émission d'une alarme, à partir d'informations d'évitement reçues dudit système d'anticollision, au moins des consignes d'évitement qui permettent d'éviter toute collision si elles sont appliquées à l'aéronef, lesdits moyens de calcul comportant des moyens pour déterminer, à partir desdites informations
25 d'évitement, des premières consignes qui sont exprimées en terme de vitesse verticale et qui permettent d'éviter une collision ; et
 - au moins un moyen d'aide à l'évitement qui est relié auxdits moyens de calcul.

Avantageusement, lesdits moyens de calcul comportent, de plus, des moyens pour transformer ces premières consignes en consignes correspondantes exprimées en terme de facteur de charge de manière à former lesdites consignes d'évitement.

5 Dans un mode de réalisation particulier, le système d'évitement comporte de plus un moyen d'affichage pour afficher, lors de l'émission d'une alarme, un message avertissant un pilote de l'alarme.

Dans un premier mode de réalisation, ledit moyen d'aide à l'évitement comporte un dispositif de guidage automatique qui est susceptible
10 de mettre en œuvre un mode de guidage permettant de guider automatiquement l'aéronef conformément à des consignes d'évitement reçues desdits moyens de calcul.

Dans ce cas, avantageusement, le système d'évitement peut comporter de plus un moyen d'actionnement susceptible d'être actionné
15 par le pilote et permettant, lorsqu'il est actionné, de déclencher le mode de guidage mis en œuvre par le dispositif de guidage automatique.

Dans un second mode de réalisation, ledit moyen d'aide à l'évitement comporte un directeur de vol qui met en œuvre un mode d'affichage permettant d'afficher des informations représentatives de consignes d'évi-
20 tement reçues desdits moyens de calcul.

Dans ce cas, avantageusement, le système d'évitement peut comporter de plus un moyen d'actionnement susceptible d'être actionné par le pilote et permettant, lorsqu'il est actionné, de déclencher le mode d'affichage mis en œuvre par le directeur de vol.

25 Les figures du dessin annexé feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée. Sur ces figures, des références identiques désignent des éléments semblables.

La figure 1 est le schéma synoptique d'un système d'évitement conforme à l'invention.

La figure 2 illustre schématiquement une manœuvre d'évitement.

Les figures 3 et 4 sont deux graphiques permettant d'illustrer une manœuvre d'évitement conforme à l'invention, dans deux situations différentes.

5 La figure 5A est un graphique et la figure 5B montre un affichage de contrôle correspondant, qui illustrent des caractéristiques d'évitement particulières.

10 Les figures 6A et 6B, 7A et 7B, 8A et 8B, 9A et 9B (ou 9C) sont des figures similaires aux figures 5A et 5B, mais relatives à d'autres exemples de manœuvre d'évitement.

Le système 1 conforme à l'invention et représenté schématiquement sur la figure 1 est embarqué sur un aéronef A, en particulier un avion de transport, et est destiné à mettre en œuvre un évitement en vol d'un aéronef intrus 2, comme représenté sur la figure 2.

15 Pour réaliser un tel évitement en vol, ledit système d'évitement 1 comporte un système d'anticollision 3 usuel, en particulier de type TCAS ("Traffic alert and Collision Avoidance System" en anglais, c'est-à-dire système d'alerte de trafic et d'évitement de collision), qui surveille les trajectoires des différents aéronefs 2 à proximité de l'aéronef A (sur lequel
20 il est embarqué) et qui est susceptible :

- de détecter un risque de collision avec au moins un aéronef intrus 2 ; et
- lors d'une telle détection, d'émettre une alarme (alarme corrective ou alerte préventive) et de déterminer des informations d'évitement précises ci-dessous.

25 Une telle alarme est émise lorsqu'un aéronef intrus 2 se trouve à une distance prédéterminée D (exprimée généralement en durée de vol) de l'aéronef A. La manœuvre d'évitement consiste :

- en cas d'alerte préventive, à maintenir la vitesse verticale courante ; et

- en cas d'alarme corrective, à faire exécuter à l'aéronef A une montée (ou une descente) à un taux défini, jusqu'à ce que le danger soit écarté.

Cette manœuvre s'effectue notamment dans le plan vertical de la manière précisée ci-dessous, entre une position P1 de début de manœuvre d'évitement et une position P2 de fin de manœuvre d'évitement, suivant une trajectoire d'évitement T.

Selon l'invention, le système d'évitement 1 est donc formé de manière à réaliser un évitement suivant ladite trajectoire T. Dans une variante particulière précisée ci-dessous, ledit système d'évitement 1 permet également de réaliser un évitement latéral.

Selon l'invention, ledit système d'évitement 1 comporte, en plus dudit système d'anticollision 3 :

- des moyens de calcul 4 (correspondant de préférence à un pilote automatique) qui sont reliés par une liaison 5 audit système d'anticollision 3, pour déterminer automatiquement lors de l'émission d'une alarme par ce dernier, à partir d'informations d'évitement reçues dudit système d'anticollision 3, au moins des consignes d'évitement qui permettent d'éviter à l'aéronef A tout risque de collision si elles sont appliquées audit aéronef A ; et
- au moins un dispositif d'aide à l'évitement 6, 21 qui est relié auxdits moyens de calcul 4 par l'intermédiaire d'une liaison 7, 22.

Dans un premier mode de réalisation, ledit dispositif d'aide à l'évitement comporte un dispositif de guidage automatique 6 qui est susceptible de mettre en œuvre un mode de guidage (automatique) permettant de guider automatiquement l'aéronef A conformément à des consignes d'évitement reçues desdits moyens de calcul 4, lorsque d'une part lesdits moyens de calcul 4 (pilote automatique) sont engagés et d'autre part ledit mode de guidage est déclenché. Pour ce faire, de façon usuelle, ledit dispositif de guidage automatique 6 détermine des ordres de braquage

conformes auxdites consignes d'évitement (exprimées en terme de facteur de charge) et les transmet à des actionneurs usuels de gouvernes usuelles, notamment des gouvernes de profondeur, de l'aéronef A. Dans une variante particulière, ces ordres de braquage peuvent également être déterminés directement par lesdits moyens de calcul 4.

On sait qu'un dispositif de guidage automatique 6 assure d'excellentes performances pour toutes captures et tous maintiens de consignes et une meilleure reproductibilité qu'un pilote. Aussi, la manœuvre réalisée par ledit dispositif de guidage automatique 6 est plus confortable et plus proche de la consigne que celle réalisée manuellement par un pilote.

De plus, une manœuvre automatique permet de délester le pilote d'une tâche de pilotage (qui a été faite manuellement jusqu'ici), ce qui lui laisse plus de temps notamment pour identifier le ou les aéronefs intrus 2 lors de cette situation (d'intrusion et d'évitement) à fort stress.

Le système d'évitement 1 conforme à l'invention permet ainsi d'empêcher des variations brusques de facteur de charge, en réalisant une manœuvre optimale et un asservissement précis sur la consigne. Ceci se traduit notamment au niveau de l'aéronef A par un meilleur confort pour les passagers, une plus grande marge de sécurité vis-à-vis de l'enveloppe de vol, un éloignement minimal par rapport à l'altitude de consigne et donc une perturbation réduite du trafic aérien.

On notera en outre que ledit système d'évitement 1 permet de faire suivre à l'aéronef A les informations délivrées par le système d'anti-collision 3, tout en restant au plus près de l'altitude prescrite et en conservant généralement le suivi du plan de vol latéral.

Dans un mode de réalisation particulier, lesdits moyens de calcul 4 comportent, comme représenté sur la figure 1 :

- des moyens 8 pour déterminer de la manière indiquée ci-après, à partir d'informations d'évitement également précisées ci-dessous et reçues

dudit système d'anticollision 3 par la liaison 5, des premières consignes qui sont exprimées en terme de vitesse verticale et qui permettent d'éviter une collision ; et

- des moyens 9 qui sont reliés par une liaison 10 auxdits moyens 8 pour transformer de manière usuelle ces premières consignes (de vitesse verticale) en consignes correspondantes exprimées en terme de facteur de charge de manière à former lesdites consignes d'évitement (qui sont transmises au dispositif de guidage automatique 6 par la liaison 7).

Dans un mode de réalisation particulier, lesdits moyens de calcul 4 déterminent également (à partir d'informations d'évitement reçues dudit système d'anticollision 3) des consignes d'évitement auxiliaires permettant de réaliser un évitement dans un plan latéral, et ils transmettent également ces consignes d'évitement auxiliaires audit dispositif d'aide à l'évitement 6, 21.

Par ailleurs, dans un mode de réalisation particulier, les moyens 9 mettent en œuvre les étapes suivantes pour calculer une consigne de facteur de charge N_z :

- ils calculent la différence entre une première consigne de vitesse verticale reçue desdits moyens 8 et une vitesse verticale mesurée (de façon usuelle) de l'aéronef A ;
- ils appliquent un filtre à cette différence (filtrage dans le temps, afin de filtrer des variations brèves au cours du temps) ; et
- ils multiplient cette différence filtrée par un gain dépendant de la vitesse de l'aéronef A (de préférence de la vitesse air, par exemple VCAS : "Calibrated Air Speed" en anglais ou vitesse conventionnelle en français).

Dans le cadre de la présente invention, le mode de guidage mis en œuvre par le dispositif de guidage automatique 6 peut être déclenché de différentes manières.

A cet effet, dans un premier mode de réalisation particulier, ledit système d'évitement 1 comporte de plus :

- un moyen d'affichage 11 qui est par exemple relié par une liaison 12 auxdits moyens de calcul 4 pour afficher, notamment sur un écran de visualisation 13 (par exemple un écran primaire de pilotage), lors de l'émission d'une alarme, un message d'avertissement avertissant un pilote de cette alarme et lui demandant d'actionner un moyen d'actionnement 14A prévu à cet effet (et faisant partie d'un ensemble 14 de moyens d'actionnement, représenté de façons générale et schématique sur la figure 1) ; et
- ledit moyen d'actionnement 14A qui est donc susceptible d'être actionné par le pilote et qui permet, lorsqu'il est actionné, de déclencher le mode de guidage mis en œuvre par le dispositif de guidage automatique 6 (auquel il est par exemple relié par l'intermédiaire d'une liaison 15).

La figure 3 illustre la variation de la vitesse verticale V en fonction du temps t dans un exemple relatif audit premier mode de réalisation particulier précité. La vitesse verticale de l'aéronef A est illustrée par une courbe VS. Sur cette figure 3, on a de plus représenté une zone interdite Z1 correspondant à l'émission d'une alarme corrective et définie par des vitesses verticales $V1$, $V2$ et $V3$.

Le pilote automatique 4 est supposé préalablement engagé et il guide l'aéronef A à une vitesse initiale V_i . A un temps t_1 , une alarme corrective est émise par le système d'anticollision 3 et le moyen d'affichage 11 émet un message d'avertissement. A un temps t_2 suivant, le pilote actionne le moyen d'actionnement 14A et déclenche ainsi le mode de guidage mis en œuvre par le dispositif de guidage automatique 6, ce qui entraîne une modification automatique de la vitesse verticale qui est

amenée à la limite de la zone interdite Z1 (vitesse V3 atteinte à un temps t3).

L'aéronef A est piloté automatiquement à cette vitesse V3 jusqu'à un temps t4 où le système d'anticollision 3 émet un signal de fin d'alarme.

5 Le mode de guidage automatique est alors arrêté, et l'aéronef A est amené à une vitesse verticale nulle (atteinte à un temps t5).

En outre, dans un second mode de réalisation préféré, ledit pilote automatique 4 et ledit dispositif de guidage automatique 6 sont formés de sorte que ledit mode de guidage est déclenché automatiquement lors de l'émission d'une alarme par ledit système d'anticollision 3, si ledit pilote automatique 4 est préalablement engagé. Ceci permet de délester le pilote de l'obligation de réaliser ce déclenchement et ainsi de toute la procédure d'évitement qui est faite automatiquement. Toutefois, ledit mode de guidage est susceptible dans ce cas d'être arrêté par le pilote, par l'actionnement d'un moyen d'actionnement approprié 14B prévu à cet effet (et faisant partie de l'ensemble 14), en particulier en cas de déclenchement intempestif.

De plus, selon l'invention, lors de l'émission d'une alarme, si le pilote automatique 4 n'est pas engagé à ce moment, selon une première variante, ledit mode de guidage mis en œuvre par le dispositif de guidage automatique 6 n'est pas déclenché. Toutefois, il est déclenché automatiquement dès qu'un pilote engage ultérieurement ledit pilote automatique 4, comme représenté sur la figure 4.

25 Sur cette figure 4, on a représenté une zone interdite Z2 définie par des vitesses verticales V4, V5 et V6, et l'aéronef A présente initialement une vitesse verticale Vi. Le pilote automatique 4 n'est pas engagé. A un temps t6, l'aéronef A pénètre dans la zone Z2, et une alarme corrective est émise. Le mode de guidage n'est pas déclenché tant que le pilote automatique 4 reste désengagé. A un temps t7, le pilote engage le pilote

automatique 4, ce qui déclenche automatiquement le mode de guidage mis en œuvre par le dispositif de guidage automatique 6. La vitesse verticale passe alors de V_i à V_6 entre t_7 et t_8 . A un temps t_9 ultérieur, un signal de fin d'alarme est émis et la vitesse verticale est amenée à une vitesse nulle (atteinte à un temps t_{10}).

Par ailleurs, selon une seconde variante, si le pilote automatique 4 n'est pas engagé, il s'engage automatiquement et ledit mode de guidage est déclenché automatiquement lors de l'émission d'une alarme.

En outre, selon l'invention, si une alarme (corrective) émise par le système d'anticollision 3 est remplacée par une alerte préventive de type précité également émise par le système d'anticollision 3, un mode de guidage préalablement déclenché n'est pas arrêté et reste donc en fonctionnement.

Par ailleurs, dans un mode de réalisation particulier, un mode de guidage préalablement déclenché est arrêté automatiquement, lorsque l'une des situations suivantes se présente :

- le pilote dégage ledit pilote automatique 4 ;
- le pilote déclenche un autre mode de guidage ;
- le système d'anticollision 3 émet un signal de fin d'alarme. Dans ce cas :

- dans une première variante, comme indiqué précédemment (figures 3 et 4), la vitesse verticale de l'aéronef A est ramenée à une vitesse nulle ; et
- dans une seconde variante, la vitesse verticale de l'aéronef A est choisie pour se rapprocher le plus possible de la trajectoire initiale (avant l'alarme).

Dans le cadre de la présente invention, lesdits moyens 8 déterminent lesdites premières consignes de manière à :

- dans une première variante, se rapprocher au maximum d'une vitesse verticale nulle, tout en respectant les informations d'évitement reçues dudit système d'anticollision 3 ; et
- dans une seconde variante, minimiser l'écart entre la trajectoire d'évitement T de l'aéronef A et la trajectoire qu'il avait avant l'alarme.

De façon usuelle, ledit système d'anticollision 3 émet comme informations d'évitement le cas échéant :

- une indication B1 indiquant la présence d'une zone interdite supérieure (en vitesse verticale) ;
- une indication B2 indiquant la présence d'une zone interdite inférieure (en vitesse verticale) ;
- une valeur V_{inf} correspondant à la limite inférieure de la vitesse verticale V_S , dans le cas d'une indication B2 ; et
- une valeur V_{sup} correspondant à la limite supérieure de la vitesse verticale V_S dans le cas d'une indication B1.

Par conséquent, une alarme corrective est émise par le système d'anticollision 3, lorsque :

- une indication B1 ou B2 est présente ; et
- la vitesse verticale V_S de l'aéronef A est supérieure à V_{sup} ou inférieure à V_{inf} .

Les informations B1, B2, V_S , V_{inf} et V_{sup} peuvent être affichées sur une échelle 16 de vitesse verticale, disposée verticalement et associée à un affichage usuel 17 qui comporte notamment un symbole 18 de l'aéronef A et une ligne d'horizon 19, comme représenté sur les figures 5B, 6B, 7B et 8B. Cet affichage 17 et l'échelle de vitesse verticale associée 16 peuvent être présentés sur un écran de contrôle usuel 20, par exemple à l'aide du moyen d'affichage 11.

Dans le cas d'un seul aéronef intrus 2, les moyens 8 déterminent lesdites premières consignes (de vitesse verticale) de sorte que l'aéronef A doit prendre une vitesse verticale VS :

- qui est nulle, si cette valeur n'est pas interdite (figures 5A et 5B). On privilégie dans ce cas le maintien de palier ; ou
- qui correspond à la consigne donnée, à savoir V_{inf} sur les figures 6A et 6B (c'est-à-dire la limite de la zone interdite Z4).

L'indication B2 de la figure 5B est associée à une zone interdite Z3 de la figure 5A, et l'indication B2 de la figure 6B est associée à la zone interdite Z4 de la figure 6A.

Par ailleurs, dans le cas de deux aéronefs intrus 2 ou plus, les moyens 8 déterminent lesdites premières consignes (de vitesse verticale) de sorte que l'aéronef A doit prendre une vitesse verticale VS :

- qui est nulle, si cette valeur n'est pas interdite (figures 7A et 7B) ; et
- qui correspond à la plus petite des valeurs V_{inf} et V_{sup} en valeur absolue, sinon (figures 8A et 8B). On limite ainsi le taux de montée ou de descente à la plus petite valeur, afin de s'éloigner le moins possible de l'altitude courante (et donc se rapprocher le plus d'une vitesse verticale nulle).

Les indications B1 et B2 de la figure 7B sont associées respectivement à des zones interdites Z5A et Z5B de la figure 7A, et les indications B1 et B2 de la figure 8B sont associées respectivement à des zones interdites Z6A et Z6B de la figure 8A. Sur les figures 7A et 7B, on a représenté de plus un symbole 23 illustrant le directeur de vol, comprenant un trait horizontal et un trait vertical, et correspondant à la position vers laquelle il convient d'amener le symbole de l'aéronef pour suivre la consigne.

Les figures 9A, 9B et 9C illustrent un second exemple correspondant au cas dans lequel on détermine les premières consignes de ma-

nière à minimiser l'écart entre la trajectoire d'évitement T de l'aéronef A et la trajectoire initiale, dans le mode de réalisation préféré dans lequel le mode de guidage est déclenché automatiquement par l'émission d'une alarme si le pilote automatique 4 est préalablement engagé. La figure 9A est similaire aux figures 5A, 6A, 7A et 8A. Les figures 9B et 9C sont similaires aux figures 5B, 6B, 7B et 8B.

La figure 9A illustre la variation de la vitesse verticale V en fonction du temps t. La vitesse verticale de l'aéronef A est illustrée par une courbe VS. Sur cette figure 9A, on a représenté une zone interdite Z7A correspondant à l'émission dans un premier temps d'une alarme préventive, définie par une vitesse verticale V1, ainsi qu'une zone interdite Z7B correspondant à l'émission d'une alarme corrective, définie par une vitesse verticale V2, consécutive à ladite alarme préventive.

Le pilote automatique 4 est supposé préalablement engagé, et il guide l'aéronef A en palier à une vitesse verticale initiale $V_i = 0$. A un temps t1, une alarme préventive est émise par le système d'anticollision 3. La figure 9B illustre la figuration correspondante sur l'écran primaire de pilotage PFD ("Primary Flight Display" en anglais). Sur l'indicateur de vitesse verticale 16, la vitesse courante VS de l'aéronef A à cet instant est en dehors de la zone interdite B2. Pour cette raison, le pilote automatique 4 ne modifie pas la trajectoire de l'aéronef A et reste dans son mode de fonctionnement courant, et indique l'armement du mode d'évitement par une inscription « TCAS » en bleu en deuxième ligne d'un indicateur de mode usuel (non représenté).

Au temps t2, une alarme corrective est émise par le système d'anticollision 3. A cet instant le pilote automatique 4 s'engage dans le mode d'évitement, ce qui est signalé par une inscription "TCAS" de couleur verte en première ligne sur l'indicateur de mode précité. Le pilote automatique 4 calcule une vitesse de consigne VS supérieure à l'information

d'évitement donnée par le système d'anticollision 3, représentée par la zone interdite Z7B sur la figure 9A. Il va modifier la trajectoire de l'aéronef A pour l'amener à cette vitesse de consigne, ce qui est illustré sur la figure 9C sur l'indicateur de vitesse 16 où cette vitesse VS est positionnée au dessus de la zone interdite B2.

Au temps t3, le système d'anticollision 3 émet une information de fin d'alarme. Le pilote automatique 4 quitte le mode d'évitement pour s'engager automatiquement sur un mode qui lui permet de rejoindre la trajectoire initiale. La vitesse verticale VS décroît jusqu'à une valeur négative à laquelle elle est maintenue jusqu'au moment où l'aéronef A capture le niveau d'altitude initial au temps t4.

Sur les figures 9B et 9C, on a représenté de plus le symbole 23 illustrant le directeur de vol, comprenant un trait horizontal et un trait vertical, et correspondant à la position vers laquelle il convient d'amener le symbole de l'aéronef A pour suivre la consigne.

En variante ou en complément du premier mode de réalisation précité (selon lequel le moyen d'aide à l'évitement comporte un dispositif de guidage automatique 6), dans un second mode de réalisation, ledit moyen d'aide à l'évitement comporte un directeur de vol 21 qui est relié par une liaison 22 aux moyens de calcul 4 (pilote automatique) et qui met en œuvre un mode d'affichage permettant d'afficher des informations représentatives des consignes d'évitement reçues desdits moyens de calcul 4, lorsqu'il est engagé et que ledit mode d'affichage est déclenché. De préférence, lesdites informations représentent des consignes de facteur de charge.

Lorsque ce second mode de réalisation est utilisé en variante audit premier mode de réalisation, le directeur de vol 21 fournit au pilote les informations lui permettant de réaliser un évitement manuel, en suivant les consignes affichées.

Bien entendu, ce second mode de réalisation peut également être utilisé en complément dudit premier mode de réalisation. Dans ce cas, la manœuvre d'évitement est réalisée automatiquement à l'aide du dispositif de guidage automatique 6 (comme précité), mais le pilote peut la surveiller et décider à tout moment de reprendre cette manœuvre d'évitement manuellement, en bénéficiant alors d'une continuité d'affichage sur le directeur de vol 21 lors du changement de mode de pilotage (automatique à manuel).

Les différents modes de déclenchement du mode d'affichage mis en œuvre par le directeur de vol 21 correspondent, par analogie, à ceux précités du mode de guidage mis en œuvre par le dispositif de guidage automatique 6. A cet effet, le système d'évitement 1 peut notamment comporter des moyens d'actionnement 14C et 14D qui sont similaires aux moyens d'actionnement 14A et 14B précités et qui font également partie de l'ensemble 14.

La présente invention présente également les caractéristiques suivantes (spécifiées ci-après aux points A à H) et comprend des moyens permettant de mettre en œuvre ces caractéristiques.

A/ Comportement longitudinal de l'aéronef A pendant une manœuvre en fonction du type d'alarme

En cas d'alerte préventive, deux cas possibles existent :

- si on est initialement dans un mode de guidage susceptible de faire varier la vitesse verticale de l'aéronef A (par exemple un mode de capture d'un faisceau "ILS Glideslope" en phase d'approche), on prévoit un engagement d'un mode de maintien de vitesse verticale guidant l'aéronef A vers la vitesse verticale courante ; et
- si on est initialement dans un mode de guidage garantissant une vitesse verticale constante (par exemple un mode de maintien d'altitude), le

mode de guidage courant est maintenu (pas d'engagement d'un mode spécifique d'évitement "TCAS").

En cas d'alarme corrective, on prévoit un engagement d'un mode spécifique d'évitement "TCAS" guidant vers une valeur cible de vitesse verticale. Cette valeur cible est choisie à 100 ft/min de la valeur limite transmise par le système d'anticollision 3.

On prévoit toutefois également les cas particuliers suivants :

- si la valeur limite (frontière) est de 0 ft/min, on utilise 0 ft/min ; et
- si la valeur limite est la vitesse verticale courante de l'aéronef A (alarmes de type "Maintain Vertical Speed"), on utilise la vitesse verticale courante.

B/ Comportement latéral de l'aéronef A pendant une manœuvre

Le mode de guidage latéral courant est maintenu. Ainsi, si l'aéronef A est en virage au moment de l'alarme, ce virage est maintenu.

S'il n'y a initialement pas de mode de guidage (pilote automatique et directeur de vol non engagés), alors un mode de maintien du cap courant est engagé.

C/ Logiques d'un système de contrôle automatique de la poussée

Quel que soit l'état initial d'un système usuel de contrôle automatique de la poussée des moteurs de l'aéronef A lors d'une alarme, on engage ledit système de contrôle automatique de la poussée (au moment de l'alarme) dans un mode de maintien de vitesse. La vitesse cible utilisée par ce mode de maintien de vitesse est la vitesse courante au moment de l'alarme.

D/ Logiques de sortie de manœuvre d'évitement

Suite à une alerte préventive, on ne prévoit aucun changement. Les modes de guidage (longitudinal et latéral) utilisés pour la manœuvre d'évitement sont maintenus.

En outre, en cas d'alarme corrective :

– pour le comportement longitudinal :

- on engage un mode de maintien de vitesse verticale. La valeur cible est choisie comme suit :

5 ✧ si l'aéronef A se trouve au-dessus de l'altitude cible courante (une altitude cible est en permanence sélectionnée et correspond en général à la dernière autorisation du contrôle aérien) :
-1000 ft/min ;

10 ✧ si l'aéronef A se trouve au-dessous de l'altitude cible courante :
valeur positive dépendant de l'altitude courante Alt (afin d'assurer que les performances de montée de l'aéronef A à l'altitude courante permettent d'atteindre cette valeur cible) :

* + 1000 ft/min si $Alt \leq 20000$ ft ;

* + 500 ft/min si $20000 < Alt \leq 30000$ ft ; et

* + 300 ft/min si $Alt > 30000$ ft ; et

- 15 ▪ on arme un mode de capture d'altitude de manière à capturer l'altitude cible une fois qu'elle sera atteinte par l'aéronef A ; et

– pour le comportement latéral, on maintient le mode de guidage courant.

Par ailleurs, l'équipage peut reprendre la main à tout moment à l'aide de moyens usuels, en particulier :

20 – des boutons usuels de type "instinctive disconnect" (situés sur le mini-manche latéral et sur les manettes de gaz) pour déconnecter le pilote automatique et/ou l'automanette ; et

– des boutons usuels d'engagement/dégagement du pilote automatique, du directeur de vol et de l'automanette ;

25 – des interfaces usuelles pour sélectionner un autre mode de guidage.

E/ Comportement en cas de changement d'alarme au cours d'une manœuvre

On notera que les alarmes changent souvent en cours de manœuvre, en particulier :

- lors d'un changement de valeur limite ; et
- lors du passage d'une alarme corrective à une alerte préventive, ou inversement.

En cas de changement d'alarme, la manœuvre est réinitialisée, c'est-à-dire :

- on prend en compte la nouvelle valeur limite ; et
- on réengage un mode de guidage adéquat (par exemple réengagement du mode spécifique "TCAS" si l'équipage avait repris la main lors de la première alarme).

10 F/ Logiques de capture d'altitude au cours d'une manœuvre

En cas d'alerte préventive, si un mode de capture d'altitude était armé au moment de l'émission de cette alerte préventive, il est maintenu armé. Cela autorise une capture de l'altitude cible, afin d'éviter de traverser cette valeur cible et ainsi de perturber le trafic aérien environnant (génération de nouvelles alarmes).

On notera qu'en cas d'alerte préventive, la valeur "0 ft/min" n'est jamais dans la zone rouge. Une capture d'altitude éloigne toujours la vitesse verticale courante de la zone rouge.

En cas d'alarme corrective, si le mode de capture d'altitude était armé au moment de l'émission de cette alarme corrective, alors :

- si la valeur "0 ft/min" n'est pas dans le domaine de vitesse verticale interdit (zone rouge), le mode de capture d'altitude est maintenu armé (pour les mêmes raisons que ci-dessus) ;
- sinon, il est désarmé.

25 G/ Loi mathématique utilisée pour élaborer le guidage

La loi de conversion de la vitesse verticale cible (VZcible) en facteur de charge (NZ), qui est utilisée dans la présente invention, est de préférence la suivante :

$$NZ_{com} = K.(VZ_{courante} - VZ_{cible})$$

dans laquelle :

- NZcom est la valeur du facteur de charge commandé, qui sera utilisée pour guider l'aéronef A ;
- VZcible est la valeur de la vitesse verticale cible, choisie en fonction des consignes reçues du système d'anticollision 3 ;
- VZcourante est la valeur de la vitesse verticale courante de l'aéronef A ; et
- K est une variable dépendant de la vitesse courante de l'aéronef A.

H/ Interfaces homme-machine

10 En cas d'alerte préventive, un mode spécifique "TCAS" est présenté au pilote comme armé (par exemple en étant affiché en bleu en deuxième ligne d'une zone "Flight Mode Annunciator" d'un écran de pilotage primaire).

15 En cas d'alarme corrective, un mode spécifique "TCAS" est présenté au pilote comme engagé (par exemple en étant affiché en vert en première ligne de la zone "Flight Mode Annunciator" de l'écran primaire de pilotage).

Dans tous les cas, les affichages "TCAS" existants sont maintenus.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'évitement pour un aéronef (A) comportant un système d'anticollision (3) qui est susceptible :

– de détecter un risque de collision avec au moins un aéronef intrus (2) ;

5 et

– lors d'une telle détection, d'émettre une alarme et de déterminer des informations d'évitement,

caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme :

a) on détermine automatiquement, à partir d'informations d'évitement
10 correspondantes, au moins des consignes d'évitement qui permettent d'éviter toute collision si elles sont appliquées à l'aéronef (A), pour ce faire, on détermine, à partir desdites informations d'évitement, des premières consignes qui sont exprimées en terme de vitesse verticale et qui permettent d'éviter une collision ; et

15 b) on transmet automatiquement ces consignes d'évitement à au moins un moyen d'aide à l'évitement (6, 21).

2. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé en ce qu'à l'étape a), on transforme ces premières consignes en consignes correspondantes exprimées en terme de facteur de charge
20 de manière à former lesdites consignes d'évitement.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2,

caractérisé en ce que l'on détermine lesdites premières consignes de manière à se rapprocher au maximum d'une vitesse verticale nulle, tout en respectant lesdites informations d'évitement.

25 4. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2,

caractérisé en ce que l'on détermine lesdites premières consignes de manière à minimiser l'écart entre la trajectoire d'évitement (T) de l'aéronef (A) et la trajectoire initiale.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on détermine et transmet également des consignes d'évitement auxiliaires permettant de réaliser un évitement dans un plan latéral.

5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'à l'étape b), on transmet automatiquement les consignes d'évitement à un dispositif de guidage automatique (6) de l'aéronef (A), qui est susceptible de mettre en œuvre un mode de guidage permettant de guider automatiquement l'aéronef (A) conformément à des consi-
10 gnes d'évitement reçues, lorsqu'un pilote automatique (4) est engagé et que ledit mode de guidage est déclenché.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme, si le pilote automatique (4) est préalablement engagé :

15 – on affiche un message pour avertir un pilote de l'alarme ; et
– ledit mode de guidage est déclenché lorsque le pilote actionne un moyen d'actionnement prévu à cet effet.

8. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme, si le pilote automatique (4) est préalablement engagé, ledit mode de guidage est déclenché
20 automatiquement par l'émission de cette alarme.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que ledit mode de guidage est susceptible d'être arrêté par l'actionnement d'un moyen d'actionnement par un pilote.

25 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme, si le pilote automatique (4) n'est pas engagé, ledit mode de guidage est déclenché automatiquement lorsqu'un pilote engage ledit pilote automatique (4).

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que, si le pilote automatique (4) n'est pas engagé, il s'engage automatiquement et ledit mode de guidage est déclenché automatiquement lors de l'émission d'une alarme.

5 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, caractérisé en ce que, si une alarme corrective est remplacée par une alerte préventive, un mode de guidage préalablement déclenché reste en fonctionnement.

10 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, caractérisé en ce qu'un mode de guidage préalablement déclenché est arrêté automatiquement, lorsque l'une des situations suivantes se présente :
– le pilote dégage ledit pilote automatique (4) ;
– le pilote déclenche un autre mode de guidage ;
– le système d'anticollision (3) émet un signal de fin d'alarme.

15 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'à l'étape b), on transmet automatiquement les consignes d'évitement à un directeur de vol (21) qui met en œuvre un mode d'affichage permettant d'afficher des informations représentatives desdites consignes d'évitement, lorsqu'il est engagé et que ledit mode d'affi-
20 chage est déclenché.

15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que lesdites informations représentent des consignes de facteur de charge.

25 16. Procédé selon l'une des revendications 14 et 15, caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme, si le directeur de vol (21) est préalablement engagé :
– on affiche un message pour avertir un pilote de l'alarme ; et

– ledit mode d'affichage est déclenché lorsque le pilote actionne un moyen d'actionnement prévu à cet effet.

17. Procédé selon l'une des revendications 14 et 15, caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme, si le directeur de vol (21) est préalablement engagé, ledit mode d'affichage est déclenché automatiquement par l'émission de cette alarme.

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que ledit mode d'affichage est susceptible d'être arrêté par l'actionnement d'un moyen d'actionnement par un pilote.

19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 18, caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme, si le directeur de vol (21) n'est pas engagé, ledit mode d'affichage est déclenché automatiquement lorsqu'un pilote engage ledit directeur de vol (21).

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 18, caractérisé en ce que, si le directeur de vol (21) n'est pas engagé, il s'engage automatiquement et ledit mode d'affichage est déclenché automatiquement lors de l'émission d'une alarme.

21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 20, caractérisé en ce que, si une alarme corrective est remplacée par une alerte préventive, un mode d'affichage préalablement déclenché reste en fonctionnement.

22. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que, lorsque le pilote dégage le pilote automatique (4), on sort du mode de guidage préalablement déclenché et on déclenche un mode d'affichage sur un directeur de vol (21) ou on le maintient engagé s'il l'était déjà.

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alerte préventive :

– si on est initialement dans un mode de guidage susceptible de faire varier la vitesse verticale de l'aéronef (A), on engage un mode de maintien de vitesse verticale guidant vers la vitesse verticale courante de l'aéronef (A) ; et

5 – si on est initialement dans un mode de guidage garantissant une vitesse verticale constante, on maintient ce mode de guidage.

24. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

10 caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme corrective, on engage un mode spécifique guidant vers une valeur cible de vitesse verticale.

25. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme :

15 – si on est initialement dans un mode de guidage latéral, on maintient ce mode de guidage latéral ; et

– si initialement aucun mode de guidage latéral n'est engagé, on engage un mode de maintien du cap courant.

26. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

20 caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme, on engage un système de contrôle automatique de la poussée des moteurs de l'aéronef (A) dans un mode de maintien de vitesse, et ceci quel que soit l'état initial dudit système de contrôle automatique de la poussée.

27. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

25 caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alerte préventive, pour la sortie d'une manœuvre d'évitement lorsque le système d'anticollision (3) émet un signal de fin d'alarme, on maintient les modes de guidage utilisés lors de cette manœuvre d'évitement.

28. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme corrective, pour la sortie d'une manœuvre d'évitement lorsque le système anticollision (3) émet un signal de fin d'alarme, on engage un mode permettant de rejoindre la trajectoire initiale.

29. Procédé selon la revendication 28, caractérisé en ce que :

- longitudinalement, on engage un mode de maintien de vitesse verticale et on arme un mode de capture d'altitude de manière à capturer une altitude cible lorsque cette dernière sera atteinte par l'aéronef (A) de façon à rejoindre la trajectoire initiale ; et
- latéralement, on maintient le mode de guidage courant.

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, lors d'un changement d'alarme au cours d'une manœuvre d'évitement, on réinitialise la manœuvre.

31. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alerte préventive, si un mode de capture d'altitude est armé, il est maintenu armé.

32. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme corrective, si un mode de capture d'altitude est armé ;

- si une valeur prédéterminée n'est pas dans un domaine de vitesse verticale interdit, ledit mode de capture d'altitude est maintenu armé ;
- sinon, il est désarmé.

33. Procédé selon la revendication 2,

caractérisé en ce que, pour transformer à l'étape a) lesdites premières consignes qui sont exprimées en terme de vitesse verticale en consignes qui sont exprimées en terme de facteur de charge, on utilise l'expression
5 suivante :

$$NZ_{com} = K.(VZ_{courante} - VZ_{cible})$$

dans laquelle :

- NZ_{com} représente la valeur du facteur de charge commandé, qui est utilisée pour guider l'aéronef (A) ;
- 10 – $VZ_{courante}$ est la valeur de la vitesse verticale courante de l'aéronef (A) ;
- VZ_{cible} est la valeur d'une vitesse verticale cible ; et
- K est une variable dépendant de la vitesse courante de l'aéronef (A).

34. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

15 caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alerte préventive, un mode d'évitement est présenté au pilote comme armé, et ceci selon une première présentation particulière.

35. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

20 caractérisé en ce que, lors de l'émission d'une alarme corrective, un mode d'évitement est présenté au pilote comme engagé, et ceci selon une seconde présentation particulière.

36. Système d'évitement pour un aéronef, ledit système d'évitement (1) comportant un système d'anticollision (3) qui est susceptible :

- de détecter un risque de collision avec au moins un aéronef intrus (2) ;
- 25 et
- lors d'une telle détection, d'émettre une alarme et de déterminer des informations d'évitement,

caractérisé en ce qu'il comporte de plus :

- des moyens de calcul (4) pour déterminer automatiquement lors de l'émission d'une alarme, à partir d'informations d'évitement reçues du dit système d'anticollision (3), au moins des consignes d'évitement qui permettent d'éviter toute collision si elles sont appliquées à l'aéronef (A), lesdits moyens de calcul (4) comportant des moyens (8) pour déterminer, à partir desdites informations d'évitement, des premières consignes qui sont exprimées en terme de vitesse verticale et qui permettent d'éviter une collision ; et
- au moins un moyen d'aide à l'évitement (6, 21) qui est relié auxdits moyens de calcul (4).

37. Système d'évitement selon la revendication 36, caractérisé en ce que lesdits moyens de calcul (4) comportent, de plus, des moyens (9) pour transformer ces premières consignes en consignes correspondantes exprimées en terme de facteur de charge de manière à former lesdites consignes d'évitement.

38. Système d'évitement selon l'une des revendications 36 et 37, caractérisé en ce que lesdits moyens de calcul (4) font partie d'un pilote automatique de l'aéronef (A).

39. Système d'évitement selon l'une des revendications 36 à 38, caractérisé en ce qu'il comporte de plus un moyen d'affichage (11) pour afficher, lors de l'émission d'une alarme, un message avertissant un pilote de l'alarme.

40. Système d'évitement selon l'une quelconque des revendications 36 à 39, caractérisé en ce que ledit moyen d'aide à l'évitement comporte un dispositif de guidage automatique (6) qui est susceptible de mettre en œuvre un mode de guidage permettant de guider automatiquement l'aéronef (A) conformément à des consignes d'évitement reçues desdits moyens de calcul (4).

41. Système d'évitement selon la revendication 40,
caractérisé en ce qu'il comporte de plus un moyen d'actionnement sus-
ceptible d'être actionné par le pilote et permettant, lorsqu'il est actionné,
de déclencher le mode de guidage mis en œuvre par le dispositif de gui-
5 dage automatique (6).

42. Système d'évitement selon l'une quelconque des revendica-
tions 36 à 41,
caractérisé en ce que ledit moyen d'aide à l'évitement comporte un direc-
teur de vol (21) qui met en œuvre un mode d'affichage permettant d'affi-
10 cher des informations représentatives de consignes d'évitement reçues
desdits moyens de calcul (4).

43. Système d'évitement selon la revendication 42,
caractérisé en ce qu'il comporte de plus un moyen d'actionnement sus-
ceptible d'être actionné par le pilote et permettant, lorsqu'il est actionné,
15 de déclencher le mode d'affichage mis en œuvre par le directeur de vol
(21).

44. Aéronef,
caractérisé en ce qu'il comporte un système d'évitement (1) tel que celui
spécifié sous l'une quelconque des revendications 36 à 43.

20 45. Aéronef,
caractérisé en ce qu'il comporte un système (1) susceptible de mettre en
œuvre le procédé spécifié sous l'une quelconque des revendications 1 à
35.

1/5

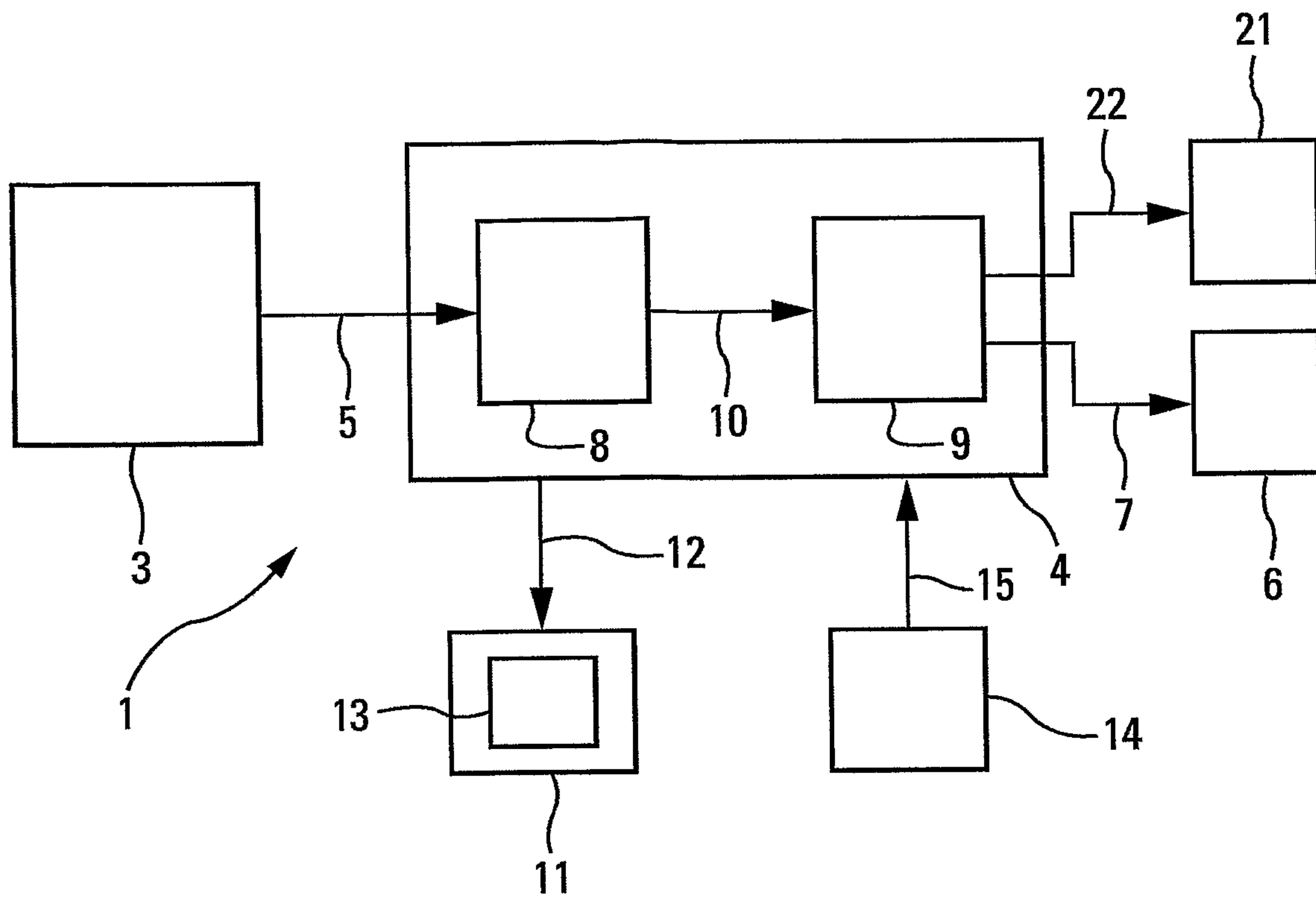


Fig. 1

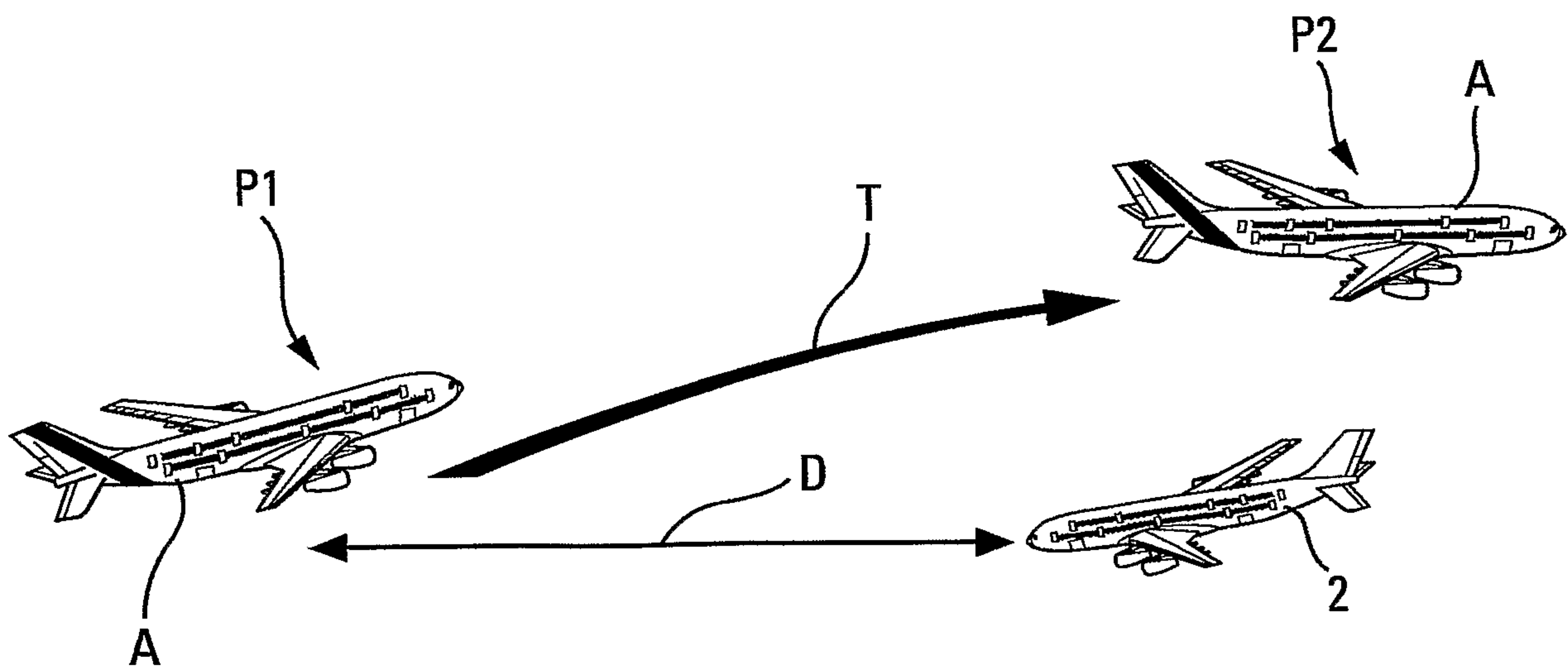


Fig. 2

2/5

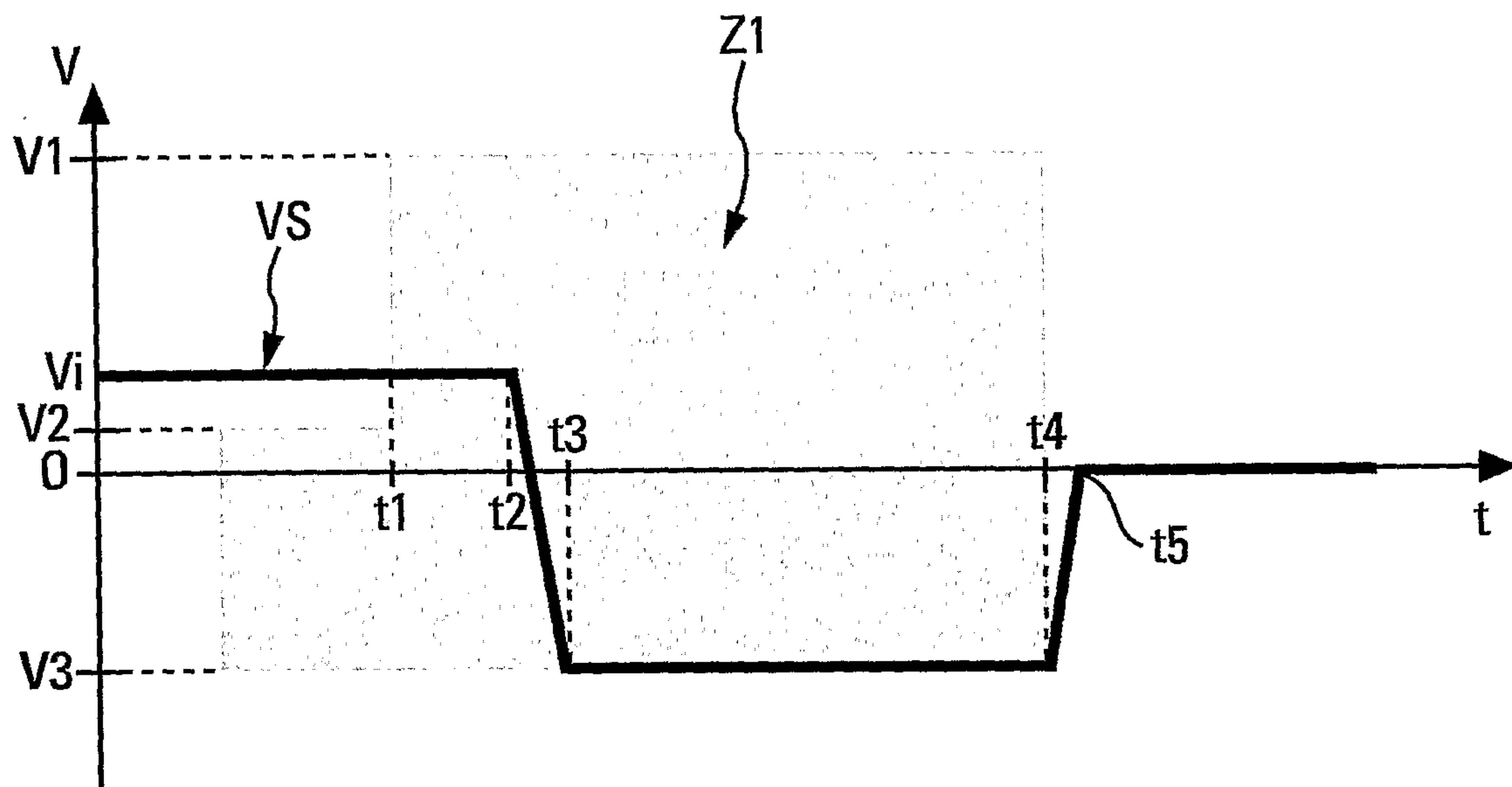


Fig. 3

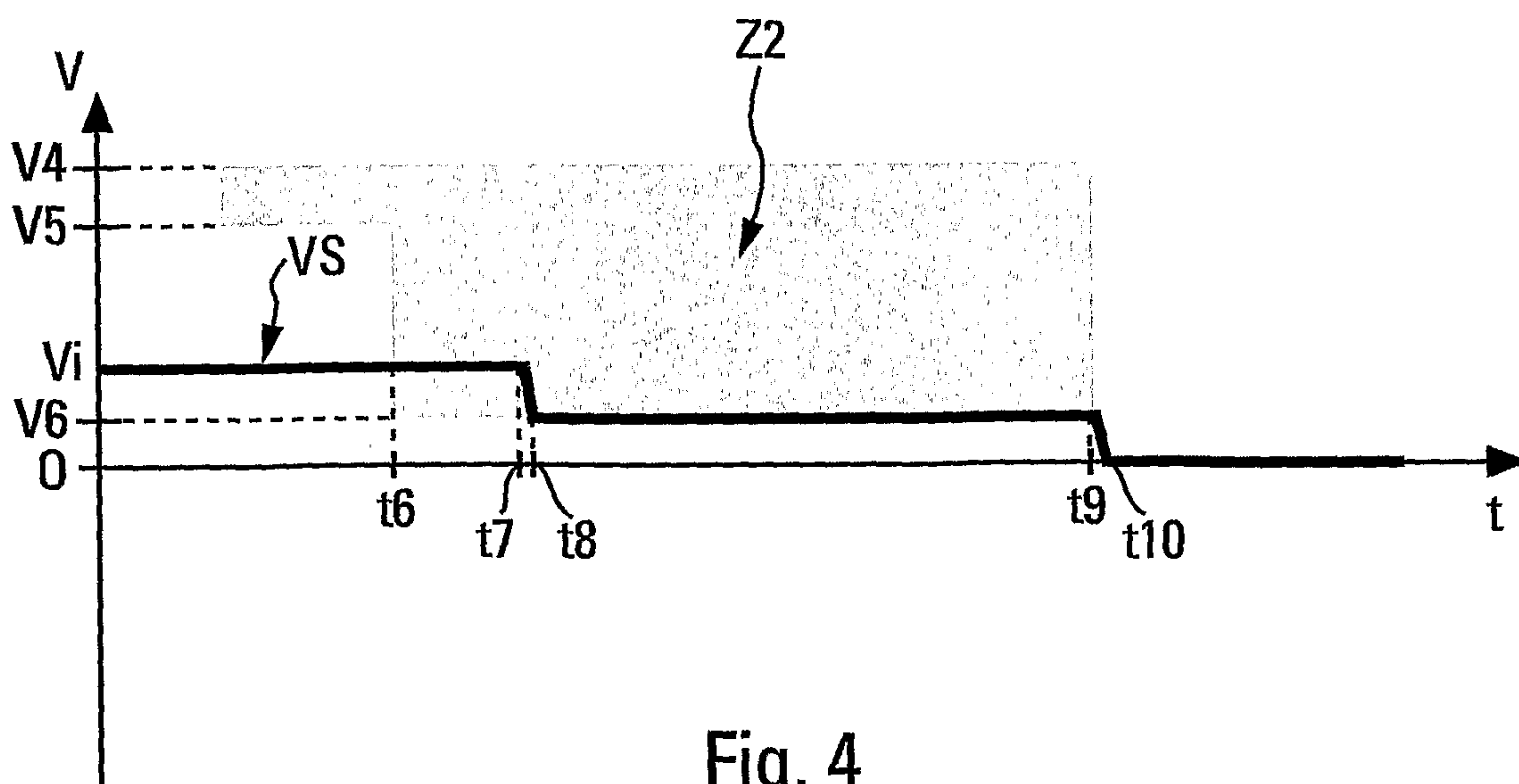


Fig. 4

3/5

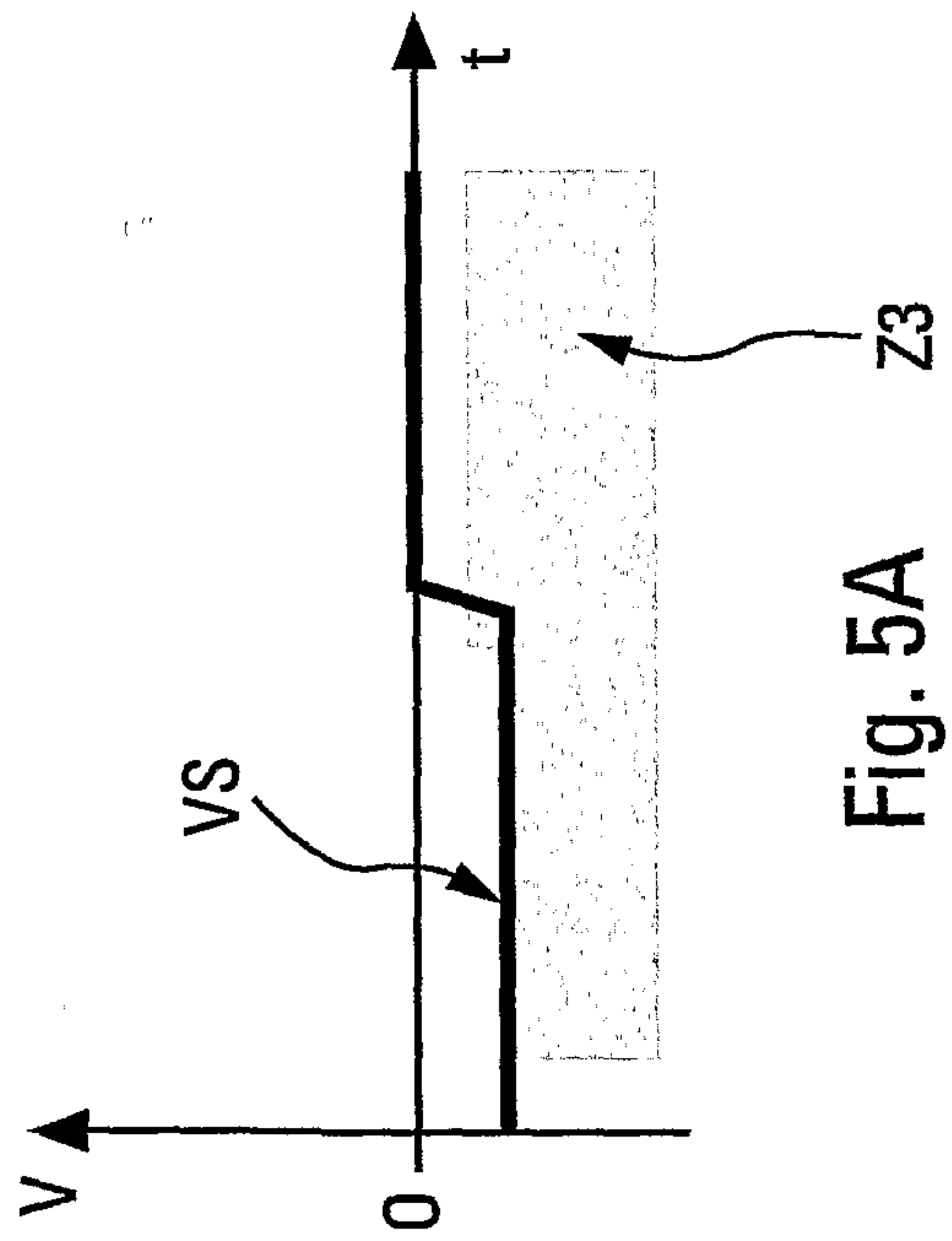


Fig. 5A

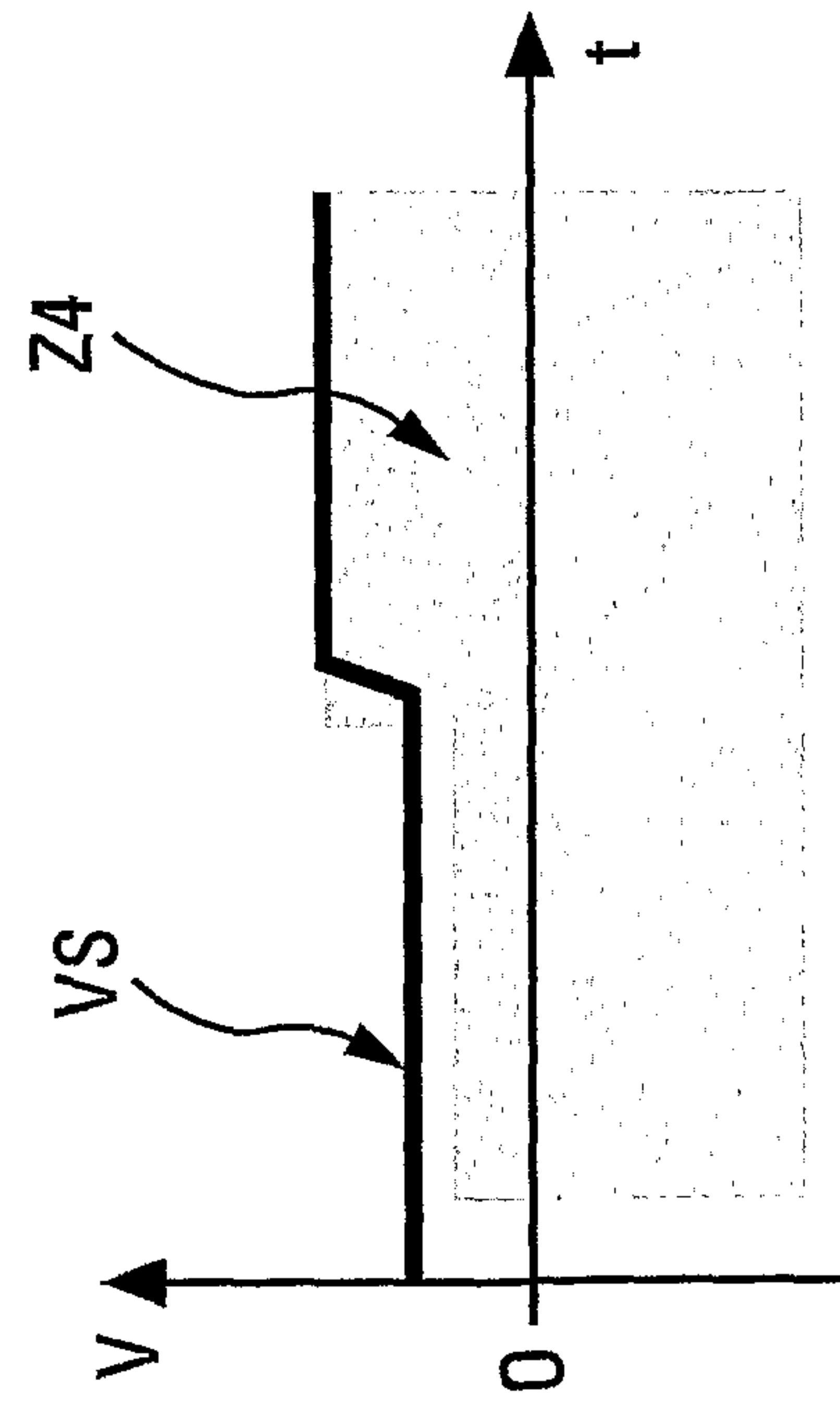


Fig. 6A

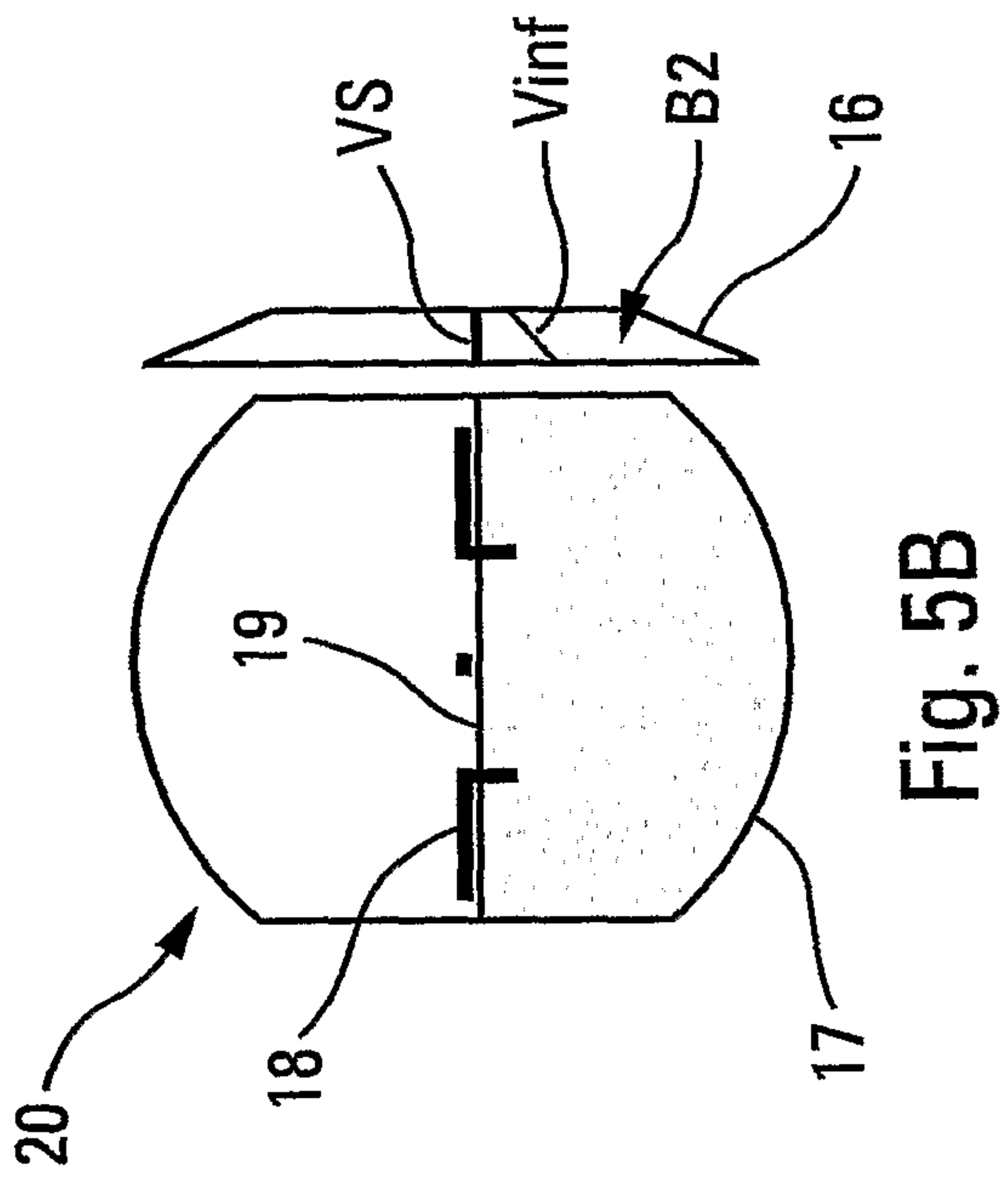


Fig. 5B

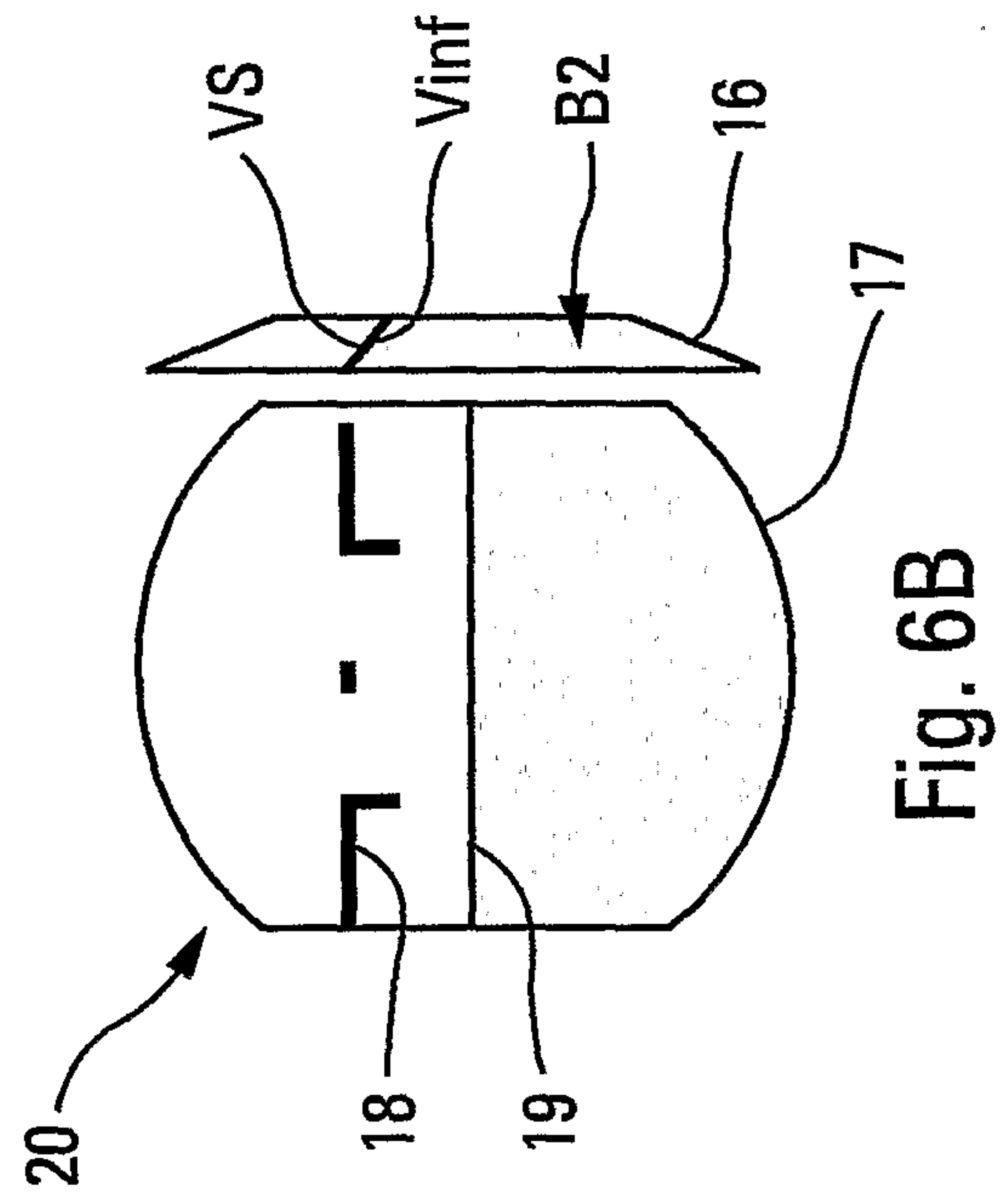


Fig. 6B

4/5

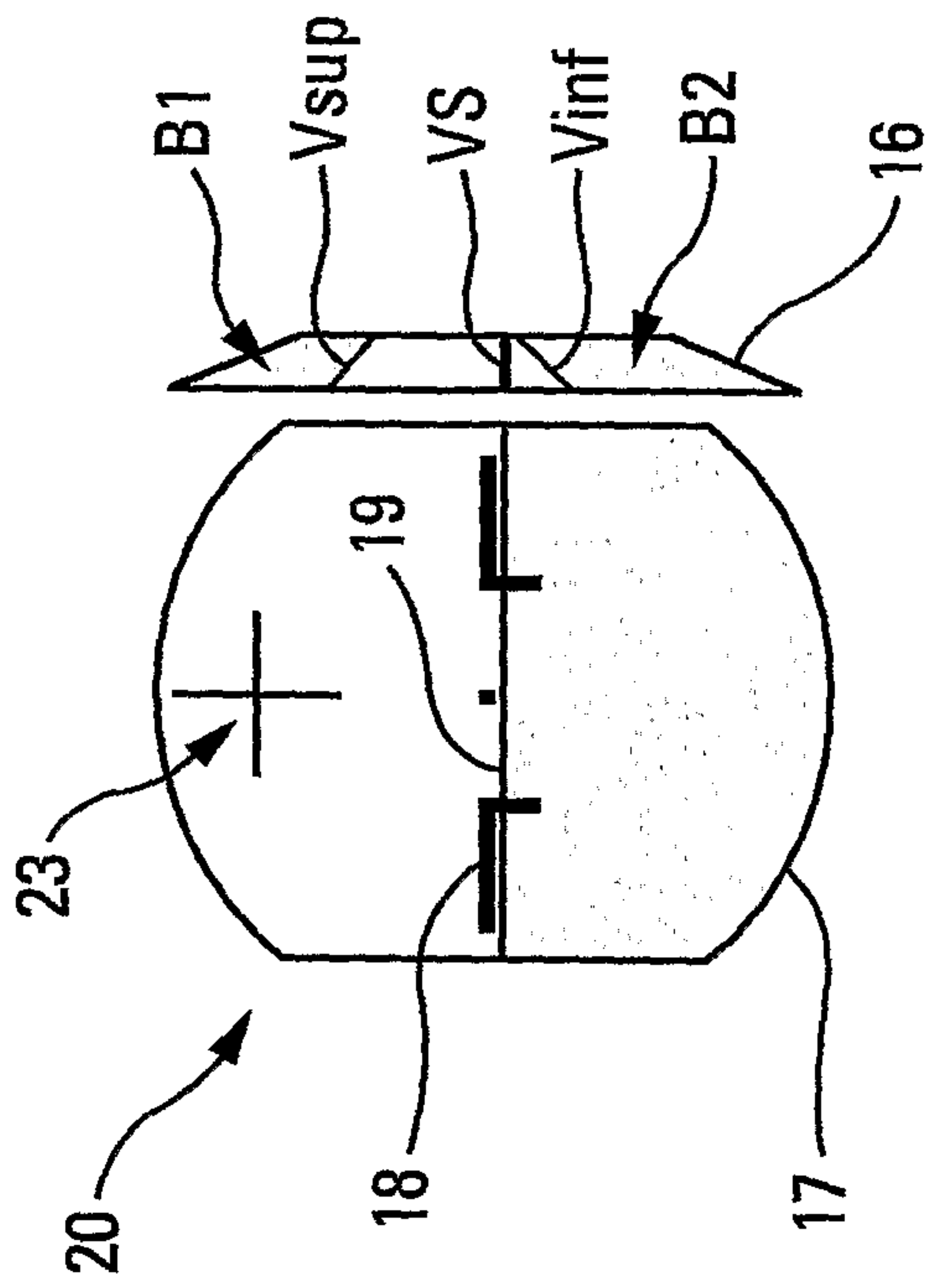


Fig. 7B

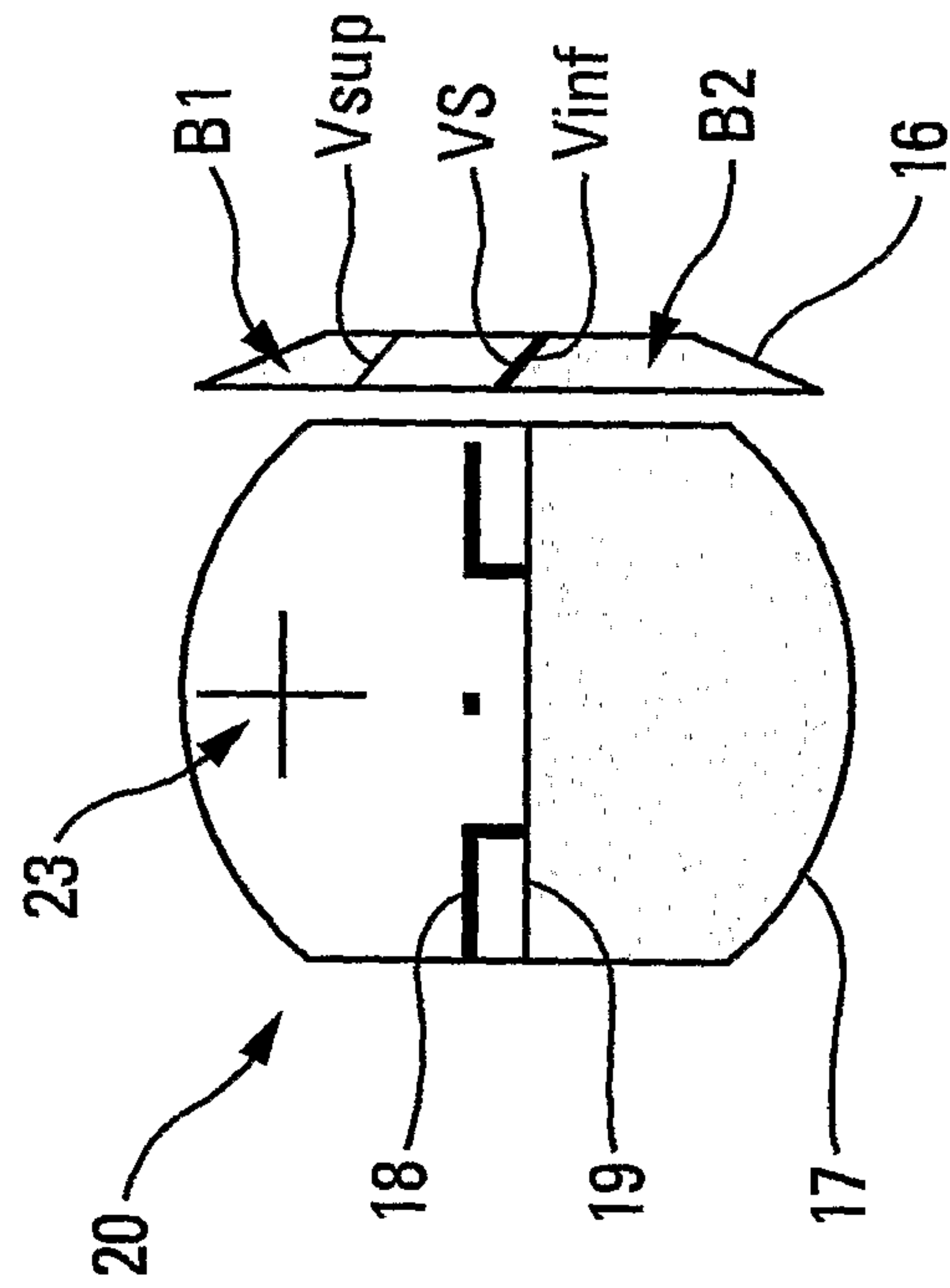


Fig. 8B

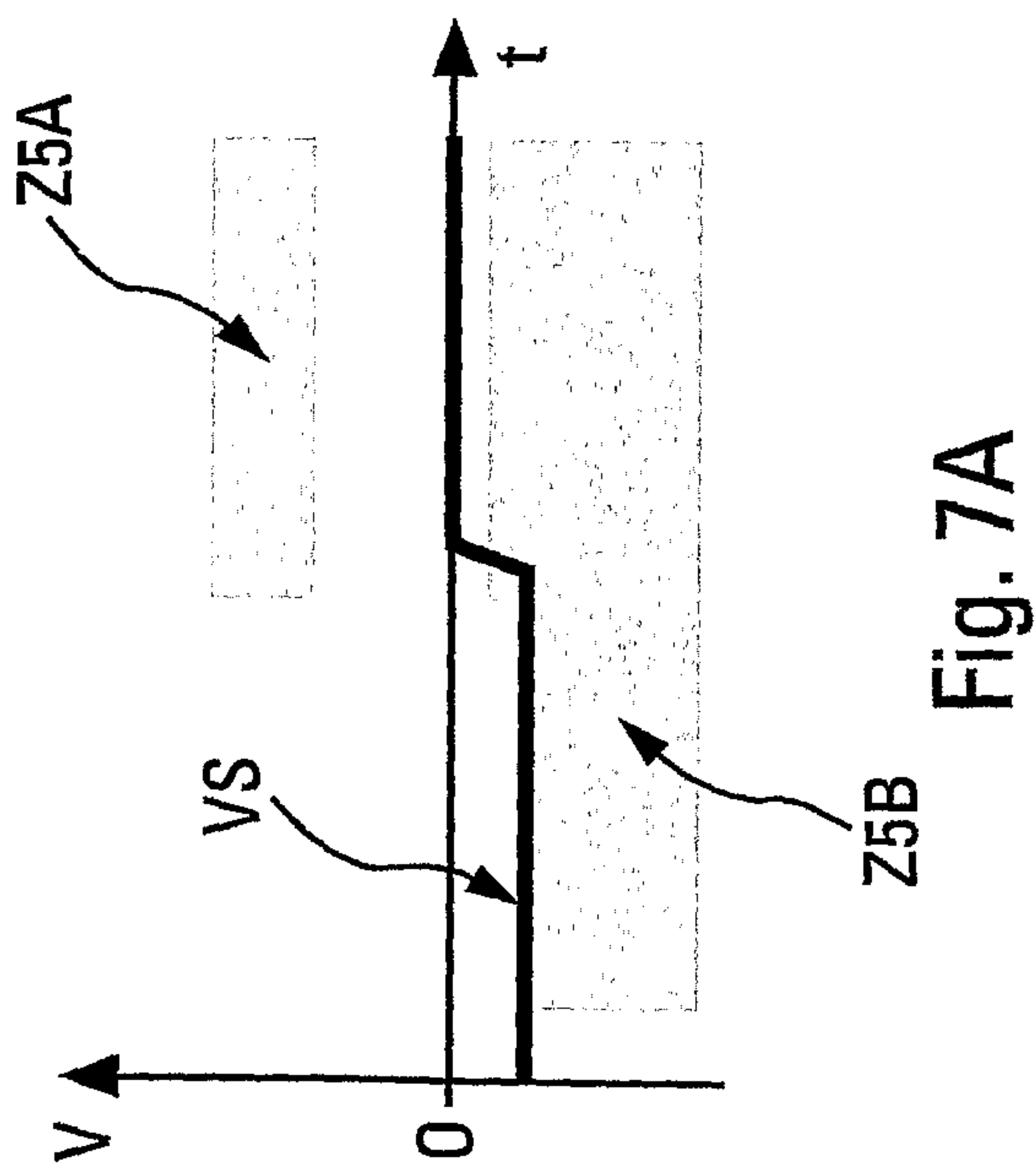


Fig. 7A

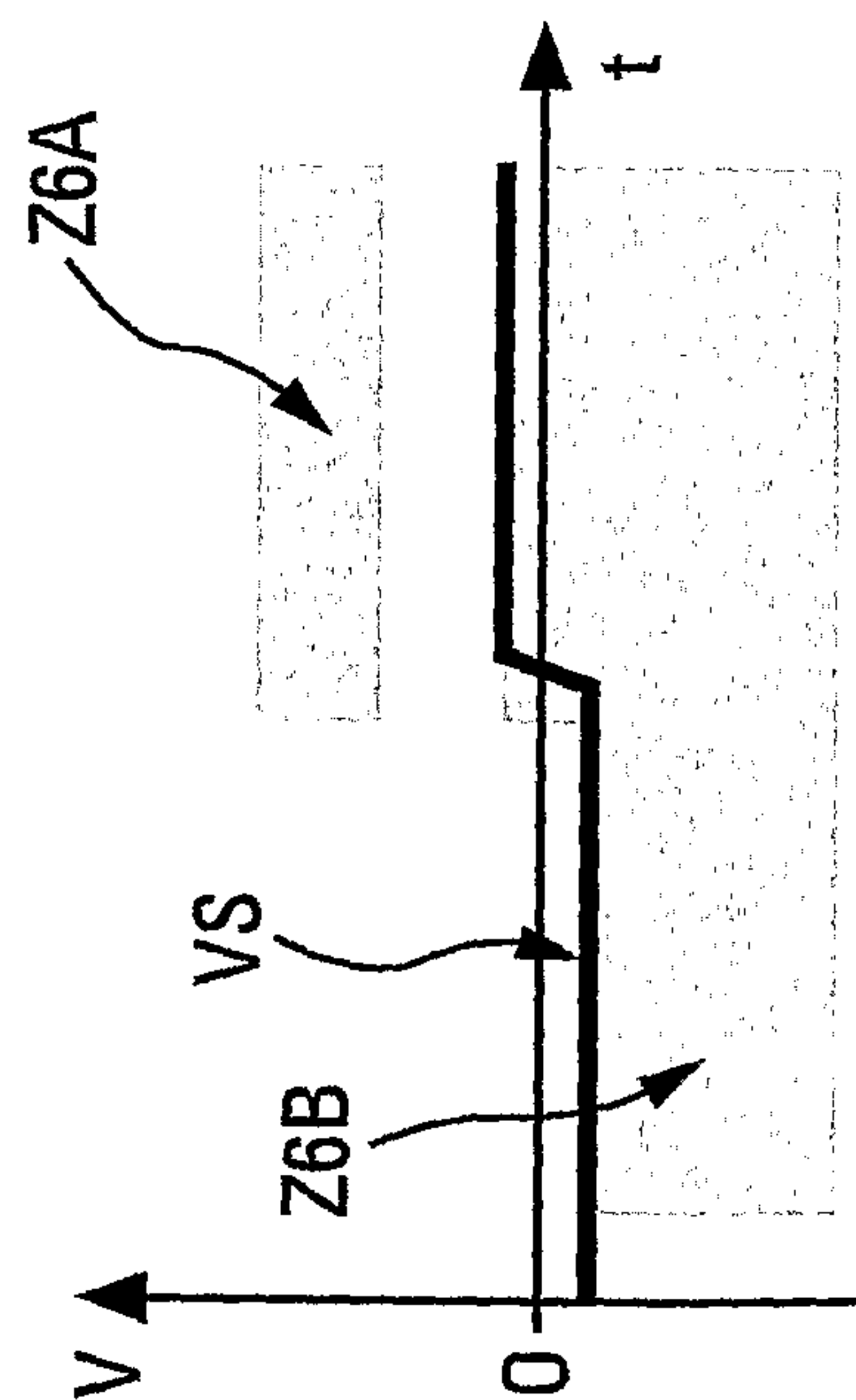


Fig. 8A

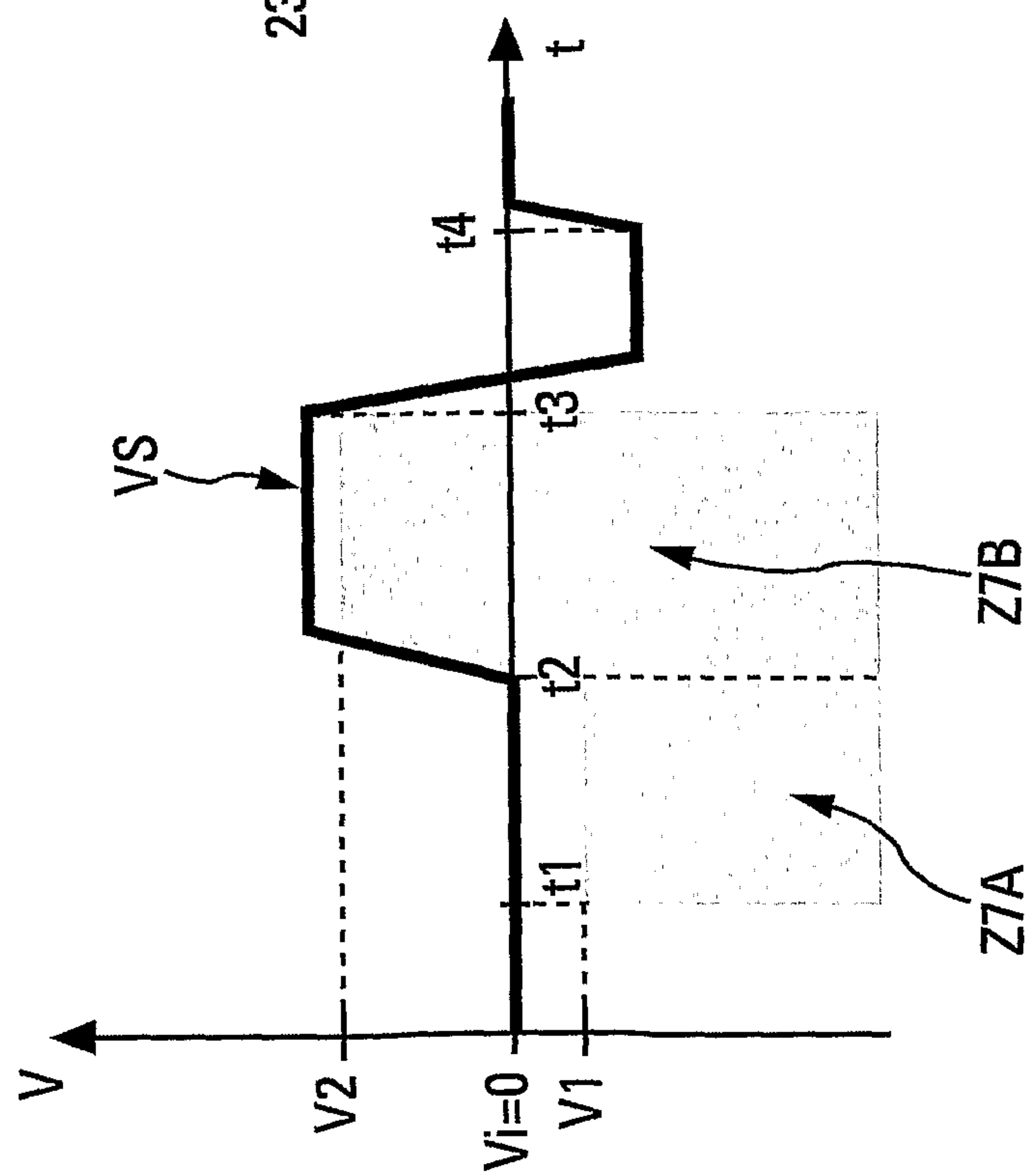


Fig. 9A

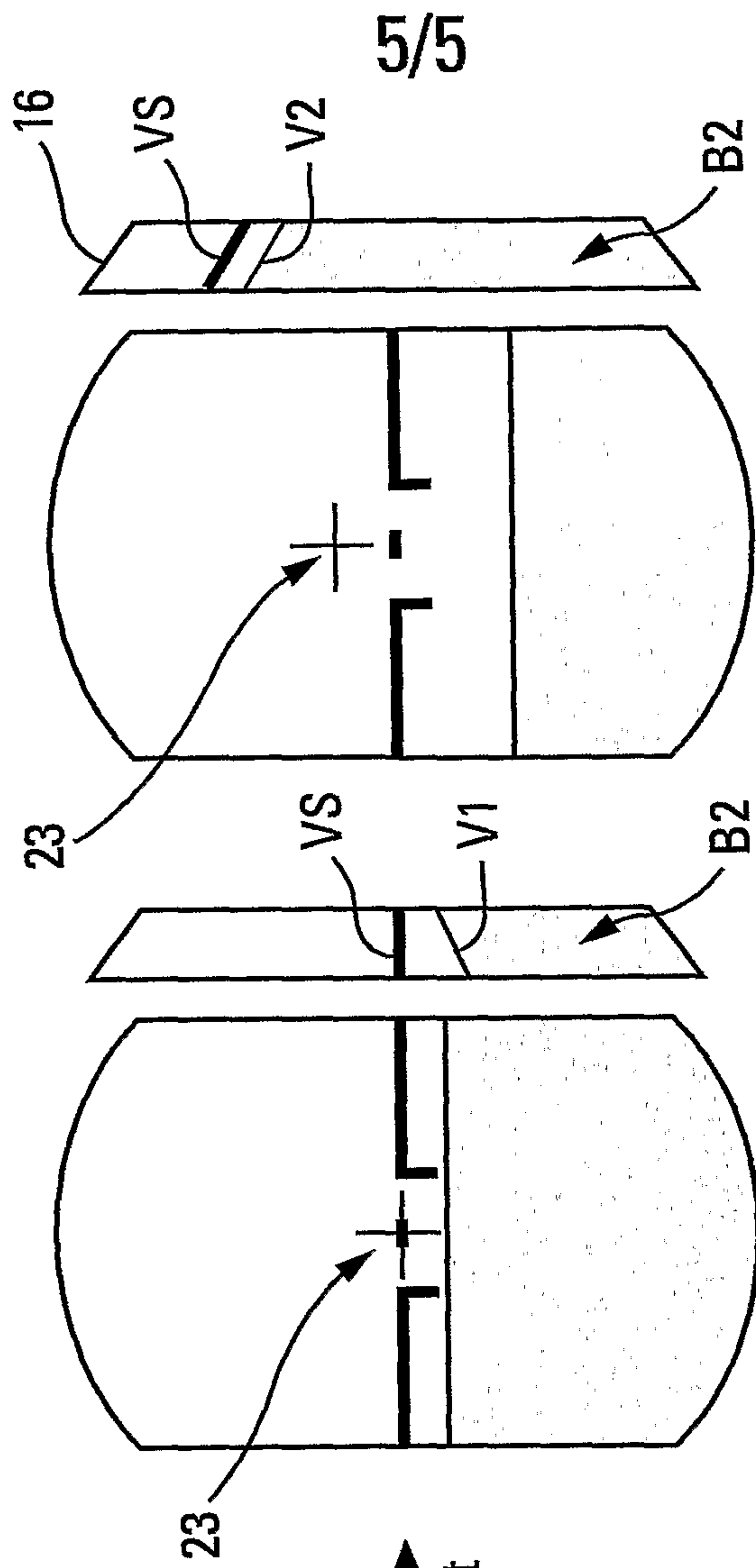


Fig. 9B

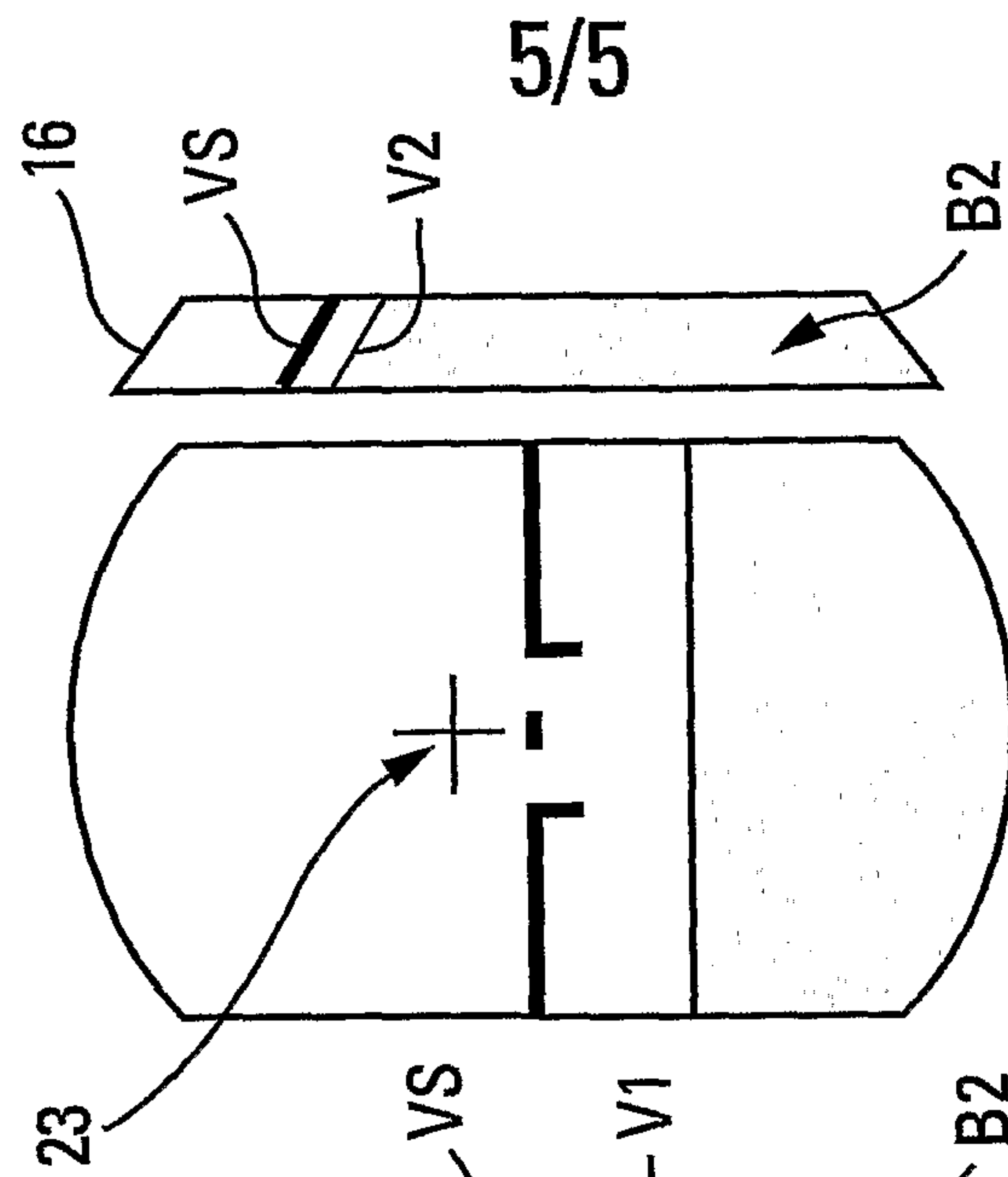


Fig. 9C

