



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2006/09/22

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2007/03/27

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2014/03/25

(30) Priorité/Priority: 2005/09/27 (FR05 09831)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F42B 15/01* (2006.01),
F41G 7/00 (2006.01)

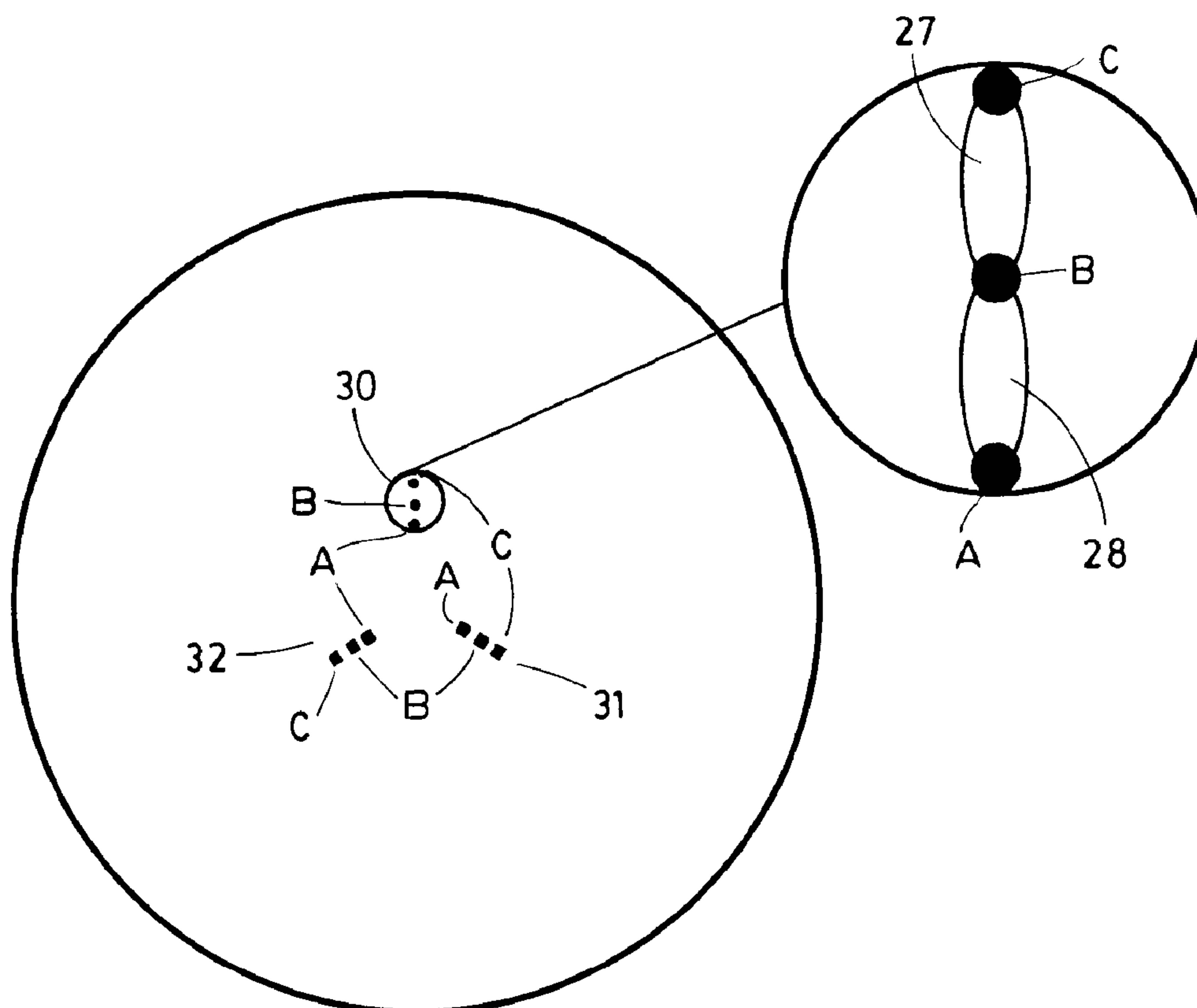
(72) Inventeurs/Inventors:
GNEMMI, PATRICK, FR;
REY, CHRISTIAN, FR

(73) Propriétaire/Owner:
INSTITUT FRANCO-ALLEMAND DE RECHERCHES DE
SAINT-LOUIS, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : DISPOSITIF EMBARQUE A COURANT BASSE TENSION POUR LA GENERATION DE DECHARGE(S)
PLASMA POUR LE PILOTAGE D'UN ENGIN SUPERSONIQUE OU HYPERSONIQUE

(54) Title: ON-BOARD LOW VOLTAGE DEVICE FOR GENERATING PLASMA DISCHARGES FOR CONTROLLING A
SUPERSONIC OR HYPERSONIC ENGINE



(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention concerne notamment le domaine des dispositions pour le guidage ou le pilotage des projectiles autopropulsés ou non ou des missiles et concerne un procédé, ainsi qu'un dispositif associé, pour dévier selon une direction Y un



(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):

projectile (1) hypervélocé évoluant dans un gaz, tel, par exemple, qu'un obus, une balle ou un missile, comportant un nez (4), généralement en forme de cône présentant une extrémité (29) plus ou moins pointue, caractérisé en ce qu'il consiste à générer une première décharge de haute tension apte à produire un plasma sur un premier secteur (28) limité de la surface du projectile et du côté de la direction Y puis à entretenir ce plasma et à générer une autre décharge de basse tension apte à alimenter ledit plasma en énergie sur un second secteur (27) limité de la surface du projectile (1) et du côté de la direction Y, ces secteurs étant différents et pouvant ou non avoir une partie commune.

ABREGE

La présente invention concerne notamment le domaine des dispositions pour le guidage ou le pilotage des projectiles autopropulsés ou non ou des missiles et concerne un procédé, ainsi qu'un dispositif associé, pour dévier selon une direction Y un projectile (1) hypervélocé évoluant dans un gaz, tel, par exemple, qu'un obus, une balle ou un missile, comportant un nez (4), généralement en forme de cône présentant une extrémité (29) plus ou moins pointue, caractérisé en ce qu'il consiste à générer une première décharge de haute tension apte à produire un plasma sur un premier secteur (28) limité de la surface du projectile et du côté de la direction Y puis à entretenir ce plasma et à générer une autre décharge de basse tension apte à alimenter ledit plasma en énergie sur un second secteur (27) limité de la surface du projectile (1) et du côté de la direction Y, ces secteurs étant différents et pouvant ou non avoir une partie commune.

DISPOSITIF EMBARQUE A COURANT BASSE TENSION POUR LA GENERATION DE DECHARGE(S) PLASMA POUR LE PILOTAGE D'UN ENGIN SUPERSONIQUE OU HYPERSONIQUE

La présente invention concerne notamment le domaine des dispositions pour le guidage ou le pilotage des projectiles autopropulsés ou non ou des missiles et a pour objet un procédé, ainsi qu'un dispositif associé, de pilotage d'un projectile tel, par exemple, qu'un obus, une balle ou un missile, communément appelé engin.

10 Le pilotage d'un engin volant dans la thermosphère, c'est-à-dire pratiquement dans le vide, peut se faire avec un accélérateur à plasma (plasma thruster) comme décrit dans le brevet US3151259.

Le pilotage d'un engin volant dans l'atmosphère, c'est-à-dire dans la troposphère peut notamment être effectué, par exemple, par le déploiement de surfaces portantes ou par le fonctionnement d'un dispositif pyrotechnique.

L'inconvénient principal des surfaces portantes se situe au niveau de leur déploiement qui nécessite des efforts importants, d'autant plus important que la vitesse de l'engin l'est aussi, et une résistance du dispositif à de très fortes pressions rencontrées à vitesses supersoniques. En outre, ce type de pilotage nécessite un temps long de réaction qui peut être un inconvénient majeur si
20 l'engin est stabilisé par rotation et qui est pénalisant pour sa manoeuvrabilité.

Pour un engin volant, le principal inconvénient du pilotage par le fonctionnement d'un dispositif pyrotechnique est qu'il ne peut fonctionner qu'une seule fois.

Pour résoudre ces inconvénients, on connaît la demande de brevet FR0212906 qui décrit un procédé pour dévier selon une direction Y un projectile hypervélocé, tel, par exemple, qu'un obus, une balle ou un missile, comportant un nez, généralement en forme de cône présentant une extrémité plus ou moins pointue, caractérisé en ce qu'il consiste à procéder à une décharge plasma sur un secteur limité de la surface externe du nez et du côté de la direction Y.

Cette demande de brevet décrit aussi un dispositif de mise en oeuvre de ce procédé comportant un éclateur déclenché, deux électrodes et un générateur de haute tension.

La figure 1 présente la tension disruptive V_d entre deux électrodes planes distantes de 1 cm (d) placées dans une enceinte contenant de l'azote, en fonction de la pression p . La tension disruptive est la tension minimale dont l'application provoque une disruption entre les électrodes ; à l'issue de la disruption se forme un arc qui devient un milieu conducteur réunissant les électrodes. Dans la partie II de la courbe, V_d obéit à la loi de Paschen, elle n'est
10 fonction que du produit de la pression p du milieu par la distance inter-électrodes d . Aux deux extrémités I et III, la courbe s'écarte de cette loi. En effet, les tensions y sont suffisamment élevées pour que le champ électrique à la surface des électrodes y arrache des électrons. La partie I correspond au vide dans lequel fonctionnent les accélérateurs à plasma (plasma thruster) ; dans cette partie, V_d est pratiquement indépendant du produit $p.d$.

L'analyse de cette figure montre que dans la troposphère, donc entre le sol et 16-17 km d'altitude, où la pression statique environnante P_0 est supérieure à 10^4 Pa et où, compte-tenu de la vitesse V de l'engin, la pression P à la surface de sa pointe est supérieure à P_0 , une haute-tension est nécessaire à la rupture
20 de la barrière diélectrique présente entre deux électrodes alimentées en courant. Aussi, la partie III correspond aux pressions élevées, supérieures à la pression atmosphérique au niveau du sol et notamment à la pression P régnant au niveau de la pointe de l'engin en vol supersonique.

Aussi, pour assurer une déviation importante du projectile avec un dispositif selon le brevet FR0212906, il est nécessaire de générer un plasma pendant une durée suffisante, typiquement de l'ordre de quelques millisecondes. Or, avec la plupart des générateurs de haute tension disponibles actuellement sur le marché, une telle durée ne peut être atteinte en une seule décharge (car une décharge haute tension est un phénomène court, par définition) et il est
30 nécessaire de générer plusieurs impulsions successives et rapprochées dans le temps. Or, on constate aussi qu'avec ces générateurs, plus les impulsions de

tension générées sont proches et plus l'intensité de ces impulsions diminue, d'où la nécessité de surdimensionner les moyens de générations et donc d'accroître leur masse ce qui est néfaste à la vitesse et donc à l'efficacité du projectile.

Le but de l'invention est de résoudre ces inconvénients en proposant un procédé de pilotage d'un projectile hypervélocé, c'est-à-dire dont la vitesse est supérieure à la vitesse du son, ne présentant aucune pièce en mouvement, pouvant être mis en oeuvre autant de fois que nécessaire et permettant de générer un plasma pendant une durée suffisante sans nécessiter un surdimensionnement du générateur de tension.

10 La solution apportée est un procédé pour dévier selon une direction Y un projectile hypervélocé évoluant dans un gaz, tel, par exemple, qu'un obus, une balle ou un missile, comportant un nez, généralement en forme de cône présentant une extrémité plus ou moins pointue, caractérisé en ce qu'il consiste à générer une première décharge de haute tension apte à produire un plasma sur un premier secteur limité de la surface du projectile et du côté de la direction Y puis à entretenir ce plasma et à générer une autre décharge de basse tension apte à alimenter ledit plasma en énergie sur un second secteur limité de la surface du projectile et du côté de la direction Y, ces secteurs étant différents et pouvant ou non avoir une partie commune.

20 L'entretien ou l'augmentation de l'ionisation du plasma sur le second secteur sera appelé alimentation du plasma en énergie dans la suite.

De préférence, selon une caractéristique additionnelle, l'alimentation du plasma en énergie sur le second secteur est réalisée pendant au moins une milliseconde.

Selon une caractéristique particulière, la première étape consiste à procéder à au moins une première décharge de tension T1 entre au moins une première et une seconde électrodes (A ; B) délimitant le premier secteur limité de la surface du projectile et du côté de la direction Y, cette décharge étant apte à rompre la barrière diélectrique entre les deux électrodes (A ; B), puis à appliquer une tension T3 entre les deux mêmes électrodes (A ; B) apte à générer un plasma, et à
30 appliquer une tension T2 entre au moins deux

électrodes (B ; C) délimitant le second secteur limité de la surface externe du projectile et du côté de la direction Y, cette tension étant apte à alimenter ledit plasma en énergie.

Selon une caractéristique particulière, ladite au moins une décharge de tension T2, appliquée entre lesdites au moins deux électrodes (B ; C) délimitant le second secteur et apte à alimenter le plasma en énergie, est générée sur un secteur, au moins en partie, plus éloigné de l'extrémité du nez que le premier secteur.

10 Selon une caractéristique particulière, ladite première décharge de tension T1 est constituée d'une décharge d'un niveau haute tension et de faible énergie, à savoir inférieure au déciJoule.

Le plasma faiblement énergétique généré sur le premier secteur sert de contacteur sur le second secteur où un plasma fortement énergétique est obtenu.

Selon une caractéristique particulière, un procédé selon l'invention comporte une étape supplémentaire consistant, après avoir généré ledit plasma sur le premier secteur, à entretenir ce plasma sur ce premier secteur, préférentiellement avec au moins une décharge de tension T3 basse tension.

20 Selon une caractéristique particulière, ladite au moins une seconde décharge de tension T2 est constituée d'une décharge d'un niveau basse tension et de moyenne énergie, à savoir supérieure au Joule.

Par haute et basse tension, il faut comprendre respectivement une tension supérieure à 1000V et une tension inférieure à 1000V.

Selon une caractéristique particulière, la première étape consiste à générer au moins une première décharge de haute tension d'au moins 5kV apte à rompre la barrière diélectrique présente entre lesdites au moins une première et une seconde électrodes (loi de Paschen) pour générer un plasma et la deuxième étape en au moins une seconde décharge de basse tension de moins de 1000V apte à alimenter ledit plasma en énergie.

Selon une caractéristique préférentielle, un procédé selon l'invention consiste en une seule première décharge haute tension et en plusieurs décharges successives de basse tension.

De préférence, selon une autre caractéristique, un procédé selon l'invention consiste à générer un plasma sur un premier secteur limité du nez du projectile et à alimenter ce plasma en énergie sur un second secteur limité du nez du projectile.

La présente invention vise un procédé pour dévier selon une direction Y un projectile (1) hypervélocé évoluant dans un gaz, comportant un nez (4), généralement en forme de cône présentant une extrémité (29) plus ou moins pointue, caractérisé en ce qu'il consiste à générer une première décharge de haute tension apte à produire un plasma sur un premier secteur (28) limité de la surface du projectile et du côté de la direction Y puis à entretenir ce plasma et à générer une autre décharge de basse tension apte à alimenter ledit plasma en énergie sur un second secteur (27) limité de la surface du projectile (1) et du côté de la direction Y, ces secteurs étant différents et pouvant ou non avoir une partie commune.

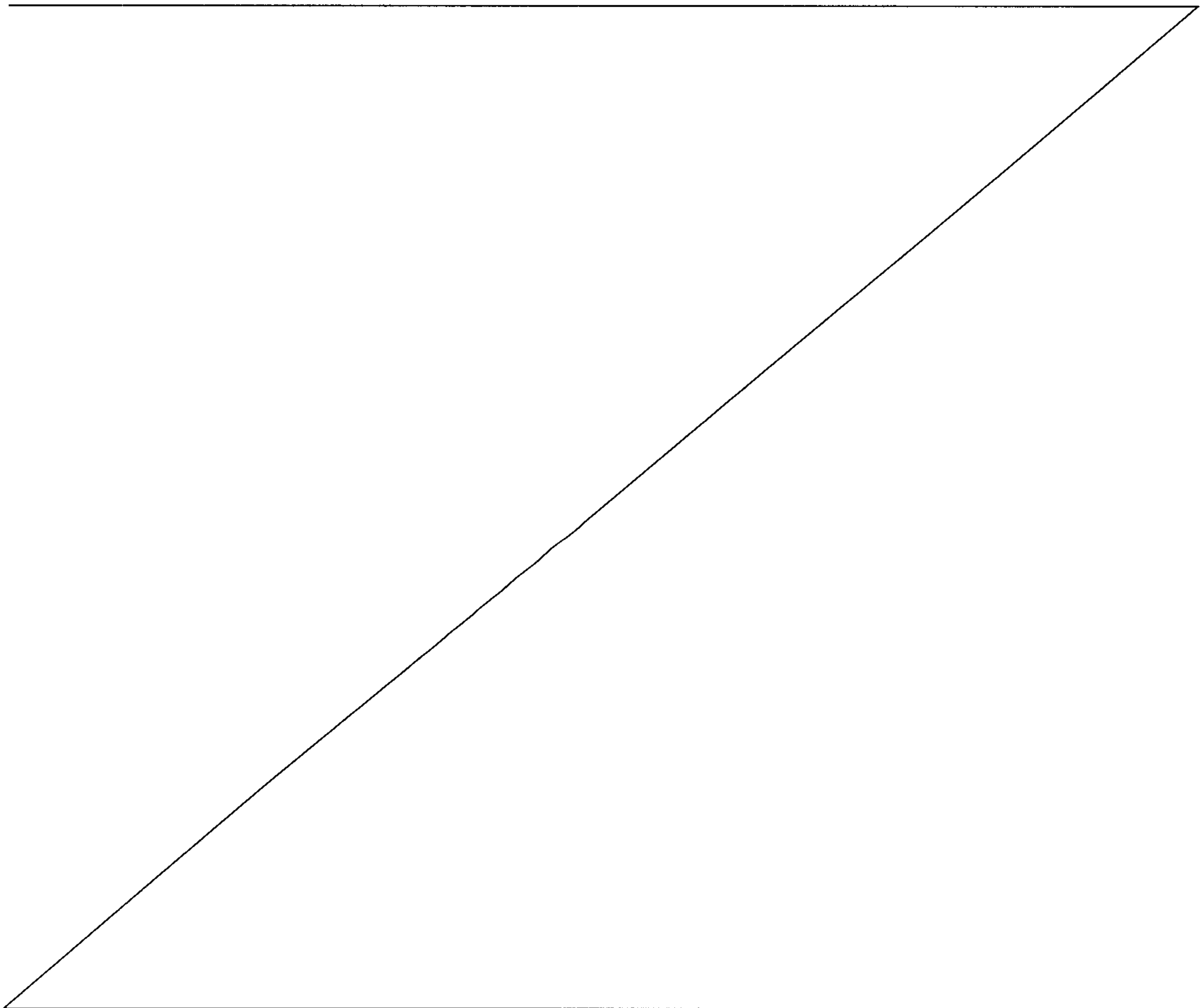
De préférence, l'invention concerne aussi un dispositif de pilotage d'un projectile hypervélocé, tel, par exemple, qu'un obus, une balle ou un missile, comportant un nez, généralement en forme de cône, présentant une extrémité plus ou moins pointue et caractérisé en ce qu'il comporte au moins un groupe d'au moins trois électrodes disposées au niveau de la surface externe du projectile et, préférentiellement, dont au moins une première et une seconde électrodes délimitent entre-elles un premier secteur et sont connectées à des premiers moyens aptes à générer un plasma entre-elles et au moins une troisième électrode étant, avec une quatrième ou avec l'une des première et secondes électrodes, connectées à des seconds moyens aptes à alimenter ledit plasma en énergie, et délimitant entre-elles un second secteur qui comporte, par rapport au premier secteur, au moins une partie située à une distance plus importante de ladite extrémité.

5a

Selon une caractéristique particulière, ces au moins trois électrodes sont alignées longitudinalement, préférablement selon la direction M parallèle au déplacement rectiligne du projectile.

Selon une caractéristique particulière, les premier et second moyens comportent chacun un générateur basse tension et au moins un condensateur basse tension.

Selon une caractéristique particulière, lesdits premiers moyens sont aptes à générer, entre lesdites première et seconde électrodes, au moins une décharge T1 haute tension puis, préférentiellement T3 basse tension, ces premiers moyens
10 étant préférentiellement aptes à stocker une quantité faible



d'énergie, à savoir inférieure au déciJoule pour la haute tension et de l'ordre du Joule pour la basse tension.

Selon une autre caractéristique particulière, lesdits seconds moyens sont aptes à générer une décharge T2 basse tension, ces seconds moyens étant préférentiellement aptes à stocker une quantité élevée d'énergie, à savoir au moins égale à 5 Joule.

L'invention concerne aussi un projectile utilisant un dispositif selon l'invention.

10 D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront dans la description de modes particuliers de réalisation de l'invention au regard des figures annexées parmi lesquelles:

- La figure 2 montre un schéma de l'onde de choc au nez engendrée par un projectile supersonique et l'onde de détente due à la discontinuité de la surface du projectile.
- La figure 3 montre le résultat d'une simulation numérique du même engin évoluant dans les mêmes conditions de vol supersonique que précédemment auquel est appliquée une décharge plasma.
- La figure 4 montre la dissymétrie de la distribution de la masse volumique de l'air environnant sur la moitié de la surface du projectile et dans le plan
20 de symétrie de l'écoulement pour l'exemple choisi.
- La figure 5 présente un schéma d'un dispositif selon un mode de réalisation de l'invention.
- La figure 6 montre un exemple de réalisation d'un dispositif de génération d'un plasma selon l'invention.
- La figure 7 montre un exemple d'implantation de trois groupes d'électrodes disposées à $2\pi/3$ Radians les uns des autres.
- La figure 8 présente un schéma de commande des électrodes disposées selon l'implantation de la figure 6,
- La figure 9 montre un exemple d'un dispositif selon l'invention selon un mode
30 particulier de réalisation

- Les figures 10a à 10f précisent les différentes étapes et sous-étapes de fonctionnement d'un dispositif selon la figure 9.

Dans le cas d'un engin hypervélocé, une onde de choc se produit à l'amont de son nez. Lorsque l'engin vole sur une trajectoire rectiligne les pressions réparties sur sa surface sont équilibrées et l'onde de choc présente des symétries suivant la forme de l'engin. Dans le cas d'un projectile constitué d'un nez conique, l'onde est attachée à la pointe du cône et elle est de forme conique.

La figure 2 présente le résultat d'une simulation numérique d'un engin d'axe longitudinal X volant à une vitesse supersonique dans le sens Z de la
10 flèche. Elle montre intégralement un engin 1 et la moitié de deux autres surfaces 2 et 3. L'engin comporte une partie avant 4 conique et une partie arrière 5 cylindrique. Lesdites surfaces 2 et 3 caractérisent une pression constante dans l'écoulement. La surface 2 attachée à la pointe de l'engin représente la surface de l'onde de choc conique tandis que la surface 3 attachée à la discontinuité de la surface de l'engin (jonction cône-cylindre) caractérise une onde de détente.

L'invention appliquée à un tel projectile consiste à déséquilibrer l'écoulement autour du nez de l'engin en produisant une décharge plasma, par exemple vers l'extrémité 29 du nez au plus près de la pointe, afin de réaliser une
20 mise en incidence de l'engin. Cette décharge plasma réalisée sur un secteur angulaire limité modifie la couche limite qui entoure la surface de l'engin. L'objectif consiste donc à produire une décharge telle que le déséquilibre des grandeurs thermodynamiques soit assez important pour provoquer la déviation de l'engin par rapport à une trajectoire rectiligne.

L'absence de pièces en mouvement et la répétitivité des décharges constituent les principaux avantages de cette technique. En effet, le contrôle de l'engin sur sa trajectoire peut être réalisé par des décharges répétitives actionnées à la demande en fonction de la trajectoire désirée.

La figure 3 montre le résultat d'une simulation numérique du même engin
30 évoluant dans les mêmes conditions de vol supersonique que précédemment auquel est appliquée une décharge plasma près de la pointe. Chacune des

deux surfaces 7 et 3 qui y est représentée, caractérise une pression constante dans l'écoulement.

On constate qu'à la pointe de l'engin 1, l'onde de choc 7 est déviée sous l'action de la décharge plasma 6.

La figure 4 montre la dissymétrie de la distribution de la masse volumique de l'air environnant sur la moitié de la surface du projectile et dans le plan de symétrie de l'écoulement pour l'exemple choisi. Cette masse volumique est sensiblement constante et égale à 1kg/m^3 entre les points A et B situés à l'opposé de la décharge plasma 6 et en aval, par rapport à la direction Z du projectile, de la décharge plasma (zone C), tandis qu'elle est très faible (de l'ordre de $2,7 \cdot 10^{-2}\text{kg/m}^3$) au niveau de la peau E du projectile en amont de la décharge plasma 6. Par contre elle est maximale, de l'ordre de 3kg/m^3 , au point D au niveau de la décharge plasma 6.

La figure 5 présente un schéma d'une partie d'un dispositif selon un mode de réalisation de l'invention. Cette partie comporte un nez 4 en forme de cône d'un projectile hypervélocé. A proximité de l'extrémité 29 du nez, est représentée une décharge plasma 6.

Pour dévier le projectile selon une direction Y perpendiculaire à l'axe longitudinal du projectile, il est procédé, selon une première étape, à une décharge plasma 6 sur un secteur limité 8 de la surface externe du nez et du côté de la direction Y et il est procédé alors à une seconde étape consistant à alimenter ce plasma en énergie.

La figure 6 montre un exemple de réalisation d'un dispositif de génération d'un plasma selon l'invention comportant deux couples d'électrodes, à savoir A et B et B et C et des premiers moyens 10 de génération d'une haute tension T1 et d'une basse tension T3 entre les électrodes A et B, et des seconds moyens 20 de génération d'une basse tension T2 entre les électrodes B et C. La tension T1 générée par les premiers moyens 10 est apte à rompre la barrière du diélectrique se trouvant entre les électrodes A et B ou, en d'autres termes à ioniser le gaz présent entre ces électrodes, puis la tension T3 est apte à entretenir cette ionisation entre les dites mêmes deux électrodes, tandis que la

tension T2 est apte à augmenter l'ionisation dudit gaz entre les électrodes B et C.

Dans cet exemple de réalisation, les premiers moyens génèrent une tension T1 constituée d'un niveau de 10kV avec une énergie stockée faible de l'ordre de 3mJ suivi d'un niveau de tension T3 de 0,55kV avec une énergie stockée de 12J, tandis que les seconds moyens 20 génèrent une tension T2 de 0,55 kV avec une énergie stockée élevée de l'ordre de 50J par l'utilisation d'une capacité de 330µF. Le plasma est généré par décharge(s) à haute tension. Cette (ces) décharge(s) est (sont) déclenchée(s) à partir d'un signal électrique
10 ou optique de faible niveau externe au présent dispositif cette (ces) décharge(s) délivre(nt) une énergie suffisante à l'amorçage du plasma. La conception permet d'optimiser l'énergie électrique stockée avant le déclenchement et l'impulsion de tension appropriée aux conditions de la décharge plasma.

Cette figure 6 montre l'application du dispositif de génération d'un plasma à un projectile hypervélocé dont seule la partie avant, en l'occurrence le nez est représenté.

Ce projectile est supposé se déplacer selon la direction M avec une vitesse V. Le dispositif comporte trois électrodes dont l'une est commune aux premiers et seconds moyens de génération d'une tension. Ces trois électrodes C, B et A
20 sont alignées selon ladite direction M.

Le fonctionnement de ce dispositif, pour faire dévier le projectile selon la direction Y, est le suivant :

Le projectile est supposé se déplacer dans l'air à une vitesse élevée selon la direction M perpendiculaire à la direction Y. Pour dévier le projectile selon la direction Y, une décharge plasma est générée, ce plasma étant ensuite alimenté en énergie. Elle consiste à procéder, du côté de la direction Y et à l'aide d'un dispositif selon l'invention, à une décharge plasma sur un premier secteur 28 limité de la surface externe du nez, ce secteur 28 étant délimité par les électrodes A et B puis à alimenter ce plasma en énergie sur un second secteur
30 27 limité de la surface externe du nez, ce secteur 27 étant délimité par les électrodes B et C. Pour cela, une décharge haute tension est appliquée par les

premiers moyens 10 aux électrodes A et B, produisant entre-elles une différence de tension T1. Cette différence de tension est suffisante pour rompre la barrière diélectrique de l'air et générer un microplasma. Puis une alimentation basse tension est appliquée par les premiers moyens 10 aux électrodes A et B, produisant entre-elles une différence de tension T3 suffisante à ioniser l'air, générant ainsi un plasma sur le secteur 28. Compte tenu de sa vitesse, le projectile se déplace par rapport au plasma généré. Lorsque le plasma se retrouve sur le second secteur 27 délimité par les électrodes B et C, des décharges basse tension successives sont appliquées par les seconds moyens 10 20 aux électrodes B et C, produisant entre-elles une différence de tension T2. Ces décharges basse tension sont suffisantes pour entretenir le plasma, c'est-à-dire maintenir son existence pendant une durée de plusieurs millisecondes, suffisante pour permettre la déviation du projectile.

Comme montré sur la figure 7 au titre d'un exemple, trois groupes d'électrodes comportant chacun trois électrodes A, B et C, sont répartis sur la circonférence du nez du projectile. Les trois couples d'électrodes A et B sont reliés chacun à leurs propres premiers moyens 10 tandis que les trois couples d'électrodes B et C sont reliés chacun à leurs propres seconds moyens 20. Un tel agencement permet de dévier, éventuellement par combinaison des dits 20 groupes, le projectile dans toutes les directions.

La figure 8 présente un schéma d'un circuit de commande de la tension appliquée aux électrodes disposées selon l'implantation de la figure 7. Ce circuit comporte un dispositif de commande 40 commandant les déclencheurs répartiteurs de tension 41 et 42 qui commandent respectivement les premiers et seconds moyens 10 et 20 de génération d'une tension. Ces générateurs 10 et 20 sont chacun connectés respectivement à chacune des électrodes A et B et l'autre à chacune des électrodes B et C.

Ainsi, le dispositif de commande 40 commande via les déclencheurs répartiteurs 41 et 42 et les premiers et seconds moyens 10 et 20 de génération 30 d'une tension, d'une part la génération de la différence de tension adéquate, à savoir haute tension puis basse tension pour les premiers moyens de

génération d'une tension et basse tension pour les seconds moyens, et d'autre part la délivrance de ces tensions au groupe (30, 31, 32) d'électrodes correspondant à la direction de déviation voulue.

La traînée de l'engin, la force et le moment de pilotage peuvent être déterminés par le calcul. Même dans le cas où les efforts seraient faibles, ce dispositif est intéressant car en agissant près de la pointe de l'engin, une petite dissymétrie de l'écoulement déstabilise le projectile et permet son pilotage. L'utilisation du même dispositif, ou d'un autre dispositif selon l'invention placé à un autre endroit sur le projectile, peut servir à stabiliser à nouveau le projectile sur sa trajectoire.

Par ailleurs ce dispositif peut être associé à des moyens permettant son contrôle, tel, par exemple, un système GPS, un système du type autodirecteur, un système de commande à distance, ou tout autre système permettant de connaître la position en roulis de l'engin.

A titre d'exemple, pour un projectile de calibre 20 mm volant au ras du sol dans des conditions normales à une vitesse correspondant à un nombre de Mach de 3,2 et dont l'avant est constitué d'un cône de 20° d'angle au sommet et d'une partie cylindrique ne comportant pas de surface portante, une décharge de plasma, dont la température est d'environ 15000K, est réalisée sur une surface de 9 mm² à proximité de la pointe du projectile ce qui nécessite une quantité de mouvement correspondant à un débit massique d'une substance explosible d'environ 15•10⁻⁴kg/s correspondant à une puissance d'environ 3 kVA. La durée de la décharge étant comprise entre 2 et 4 ms, l'énergie électrique est de l'ordre d'une dizaine de Joules.

L'intensité de la décharge peut être modulée en agissant sur les paramètres thermodynamiques tels que la température dans la décharge et la quantité de mouvement associée.

L'incidence sur les effets aérodynamiques est intéressante. Les effets aérodynamiques sont d'abord évalués par la simulation numérique dans le cas du projectile non piloté évoluant sur une trajectoire rectiligne à incidence nulle.

Les coefficients aérodynamiques sont calculés uniquement pour l'avant corps du projectile, le sillage n'étant donc pas pris en compte :

Le coefficient de traînée vaut $C_x = 0,1157$. Le coefficient de portance C_z et le coefficient de moment C_m calculé à la pointe du projectile sont bien évidemment nuls.

Les coefficients aérodynamiques sont maintenant déterminés pour le projectile évoluant sur la trajectoire rectiligne à incidence nulle et piloté par une décharge plasma modélisée dans les conditions énoncées auparavant :

Le coefficient de traînée vaut $C_x = 0,0949$. Le coefficient de portance vaut $C_z = 0,0268$ ce qui correspond à une force de 6 N orientée dans la direction d'action de la décharge. Le coefficient de moment calculé à la pointe du projectile vaut $C_m = -0,0356$ ce qui correspond à un moment de -0,1609 mN orienté de manière à accompagner les effets de la force de portance.

L'analyse des résultats de cette simulation montre :

- une réduction de la traînée du projectile lors de la décharge plasma d'environ 18 % ce qui est très important ;
- que la force de pilotage agit dans la direction de la décharge ;
- que le moment de tangage contribue d'une façon bénéfique à la force de pilotage

pour rendre le projectile manœuvrant.

La figure 9 montre un exemple d'un dispositif selon l'invention selon un mode particulier de réalisation. Seuls les moyens de génération de tensions reliés à trois électrodes A, B et C, disposées dans un même plan passant par l'axe longitudinal de l'engin et au niveau de la peau et à proximité de la pointe du nez d'un projectile, sont montrés.

Ces moyens de génération de tension sont constitués par un générateur basse tension 52 connectés à deux ensembles 53, 54 l'un apte à produire une haute tension suffisante pour générer un plasma entre les électrodes A et B et l'autre apte à produire une basse tension entre les électrodes B et C, et apte à alimenter en énergie le plasma généré par la haute tension lorsque celui-ci, du fait du déplacement du projectile, se retrouve entre les électrodes B et C.

Dans le cadre du premier ensemble 53, le générateur basse tension 52 est connecté, d'une part, à un premier condensateur 55 dont la sortie 56 est connectée au circuit primaire 57 et au circuit secondaire 58 d'un transformateur BT/HT 59 et, d'autre part, à une résistance 60 elle-même connectée à l'entrée 61 d'un second condensateur 62 dont la sortie 63 est connectée au circuit primaire 57 dudit transformateur 59. Par ailleurs la sortie 64 du transformateur 59 est connectée à l'électrode A tandis que ladite entrée 61 du condensateur 62 est aussi reliée à la sortie 56 du condensateur 55 via un interrupteur 65.

Le second ensemble 54 est constitué par un troisième condensateur 66 dont la
10 sortie 67 est connectée à l'électrode C. Par ailleurs, l'électrode B est connectée à la masse.

La figure 9 représente le générateur plasma basse tension embarqué dans un projectile évoluant dans la basse atmosphère et avant le déclenchement d'une décharge plasma, l'interrupteur 65 étant ouvert, les condensateurs 55 et 66 étant chargés sous une basse tension, la basse tension du condensateur 55 se retrouvant aux bornes du condensateur 62 et sur l'électrode A. L'électrode B est connectée à la masse. L'électrode C est soumise à la basse tension du condensateur 66.

Le déclenchement d'une décharge plasma se fait par la fermeture de
20 l'interrupteur 65. A cet instant, le circuit primaire 57 du transformateur élévateur 59 est soumis à la basse tension du condensateur 62. Il apparaît instantanément une haute tension aux bornes du circuit secondaire 58 du transformateur 59 et donc sur l'électrode A. Ce transformateur 59 est dimensionné de façon à ce que la haute tension aux bornes de son secondaire soit suffisante pour rompre la barrière diélectrique entre les électrodes A et B.

Lorsque la barrière diélectrique est rompue entre les électrodes A et B, le condensateur 55 se décharge à travers le circuit secondaire 58 du transformateur 59 et alimente sous une basse tension le plasma entre les électrodes A et B.

30 Etant donné que le projectile se déplace, le volume de gaz ionisé entre les électrodes A et B va atteindre l'électrode C tel un contact glissant. Lorsque

l'électrode C est atteinte, il y a conduction entre C et B et génération d'un plasma puissant alimenté sous une basse tension par le condensateur 66.

Les figures 10a à 10f précisent les différentes étapes et sous-étapes de fonctionnement d'un dispositif selon la figure 9.

La figure 10a représente l'état d'un projectile évoluant dans la basse atmosphère avant qu'une décharge plasma ne soit appliquée. Avant l'application de la décharge haute-tension T1, une basse-tension T3 est appliquée aux bornes des électrodes A et B et une basse-tension T2 haute énergie est appliquée aux bornes des électrodes B et C; ces basse-tensions sont
10 insuffisantes pour rompre la barrière diélectrique présente entre ces électrodes A et B et B et C, il est donc impossible que la décharge plasma se produise sans provoquer son déclenchement.

Les figures 10b et 10c correspondent à la première étape de l'invention. Pour satisfaire aux contraintes de la durée de la décharge, de miniaturisation et d'autonomie du système, le nouveau dispositif embarqué est basé sur l'utilisation de courants basse-tension mais nécessite un minimum de courant haute-tension pour provoquer la décharge entre les électrodes A et B et B et C (courbe de Paschen).

Le gaz entourant l'engin est ionisé entre les électrodes A et B sur le
20 secteur 28 pendant une très courte durée à l'aide d'un transformateur basse-tension/haute-tension comme montré sur la figure 10b ; la barrière diélectrique présente entre les deux électrodes A et B est alors rompue. Une décharge plasma, montrée sur la figure 10c est générée en libérant une faible quantité d'énergie stockée dans le condensateur basse-tension 55.

Etant donné que l'engin se déplace dans le gaz, le volume, préalablement ionisé sur le secteur 28, se déplace vers l'électrode C ; ceci n'est possible que parce que l'engin est en mouvement par rapport au gaz environnant. Cet état est schématisé par l'instant t1 de la figure 10d.

Les figures 10e et 10f correspondent à la seconde étape de l'invention.
30 Lorsque le gaz ionisé recouvre les électrodes B et C (figure 10e), la tension disruptive devient nécessairement moins élevée qu'antérieurement. Cet état

correspond à l'instant t_2 . La deuxième étape mentionnée dans la revendication 1 du présent brevet consiste en ce que la basse-tension appliquée aux bornes des électrodes B et C soit suffisante à déclencher une autre décharge plasma entre ces deux dernières électrodes. L'ionisation du premier plasma sur ce second secteur 27 est amplifiée en libérant une quantité d'énergie élevée (figure 10f) stockée dans le condensateur basse-tension 66. Cet état correspond à l'instant t_{2bis} . La première décharge plasma décrite à la première étape sert donc d'interrupteur glissant à la seconde décharge plasma de puissance.

10 Bien évidemment de nombreuses modifications peuvent être réalisées sans sortir du cadre de l'invention. Ainsi, la forme du nez peut être quelconque et pas forcément de révolution. L'invention peut aussi être appliquée à des secteurs non situés sur le nez de l'engin, et peuvent être sur la surface cylindrique, sur des empennages ou des surfaces portantes de l'engin. Par ailleurs, plusieurs électrodes, préférentiellement disposées en parallèle, peuvent être utilisées pour générer un plasma et/ou plusieurs électrodes, préférentiellement disposées en parallèle peuvent être utilisées pour entretenir un ou plusieurs plasmas générés.

20 En outre, au sein d'un même groupe d'électrodes, de nombreuses dispositions des dites premières secondes, troisième et quatrième électrodes sont possibles. Ainsi, les premières et secondes électrodes peuvent être alignées longitudinalement ou être disposées perpendiculairement voire prendre une position intermédiaire entre ces deux positions.

Il en est de même pour les troisième et quatrième électrodes. Cependant, dans tous les cas, au moins une partie du secteur délimité par les troisième et quatrième électrodes est plus éloignée de l'extrémité du nez du projectile que celui délimité par les première et seconde électrodes. Dans le cas où les première et seconde électrodes sont disposées perpendiculairement à l'axe longitudinal du projectile, l'angle formé par l'axe longitudinal et ces électrodes peut atteindre π Rd si ces électrodes sont positionnées au niveau du nez du
30 projectile. Cependant, chaque groupe d'électrodes peut être positionné en tout

autre lieu du projectile à déterminer pour chaque application particulière dépendant de la mission qui lui est dévolue.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour dévier selon une direction Y un projectile (1) hypervéloce évoluant dans un gaz, comportant un nez (4), généralement en forme de cône présentant une extrémité (29) plus ou moins pointue, caractérisé en ce qu'il consiste à générer une première décharge de haute tension apte à produire un plasma sur un premier secteur (28) limité de la surface du projectile et du côté de la direction Y puis à entretenir ce plasma et à générer une autre décharge de basse tension apte à alimenter ledit plasma en énergie sur un second secteur (27) limité de la surface du projectile (1) et du côté de la direction Y, ces secteurs étant
10 différents et pouvant ou non avoir une partie commune.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'entretien du plasma sur le second secteur (27) est réalisé pendant au moins une milliseconde.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il consiste à procéder à au moins une première décharge de tension T1 entre au moins une première et une seconde électrodes (A ; B) délimitant le premier secteur (28) limité de la surface du projectile et du côté de la direction Y, cette décharge étant apte à rompre la barrière diélectrique entre les deux électrodes (A ; B), puis à appliquer une tension T3 entre les deux mêmes électrodes (A ; B) apte à générer un plasma, et à appliquer une tension T2 entre au moins deux électrodes (B ; C)
20 délimitant le second secteur (27) limité de la surface externe du projectile et du côté de la direction Y, cette tension étant apte à alimenter ledit plasma en énergie.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la tension T2, appliquée entre lesdites au moins deux électrodes (B ; C) délimitant le second et apte à alimenter le plasma en énergie, est générée sur un secteur (27) plus éloigné de l'extrémité du nez (29) que le premier secteur (28).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 et 4, caractérisé en ce que ladite première décharge de tension T1 est une décharge haute tension.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que la tension T3, appliquée entre lesdites au moins deux électrodes (A ; B) et apte à générer le plasma, est une basse tension.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que la tension T2, appliquée entre lesdites au moins deux électrodes (B ; C) délimitant le second secteur (28) et apte à entretenir le plasma, est une basse tension.
- 10 8. Procédé selon la revendication l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il consiste à générer au moins une première décharge de haute tension d'au moins 5kV apte à rompre la barrière diélectrique entre les deux électrodes et au moins une seconde décharge de basse tension de moins de 1000V apte à alimenter ledit plasma en énergie.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 8, caractérisé en ce qu'il consiste en une seule première décharge haute tension et en plusieurs décharges successives de basse tension.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il consiste à générer un plasma sur un premier secteur (28) limité du nez (4) du projectile et à entretenir ce plasma sur un second secteur limité (27) du nez (4) du projectile.
- 20 11. Dispositif de pilotage d'un projectile hypervélocé, comportant un nez, généralement en forme de cône, présentant une extrémité plus ou moins pointue et des moyens aptes à émettre une décharge plasma sur un secteur limité de la

surface externe du projectile, caractérisé en ce que ces moyens peuvent comporter au moins un groupe (30 ; 31 ; 32) d'au moins trois électrodes (A ; B ; C).

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que ces moyens peuvent comporter au moins un groupe (30 ; 31 ; 32) d'au moins trois électrodes (A ; B ; C) alignées.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que ces moyens peuvent comporter au moins un groupe (30 ; 31 ; 32) d'au moins trois électrodes (A ; B ; C) alignées selon la direction M parallèle au déplacement rectiligne du projectile.

10 14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, caractérisé en ce qu'il comporte des premiers moyens (10) aptes à amorcer un plasma et des seconds moyens (20) aptes à alimenter ce plasma en énergie.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, caractérisé en ce qu'il comporte au moins une première et une seconde électrodes (A ; B) reliées à des premiers moyens (10, 52, 60, 55, 61, 65, 59) de génération d'une tension aptes à générer une haute tension.

16. Dispositif selon la revendication 15, caractérisé en ce que les premiers moyens (10) de génération d'une haute tension comportent un générateur basse tension (52) et au moins un condensateur basse tension (55, 62).

20 17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux électrodes reliées à des seconds moyens (20, 52, 66) de génération d'une tension aptes à générer une basse tension.

18. Dispositif selon la revendication 16 comportant au moins deux électrodes reliées à des seconds moyens (20, 52, 66) de génération d'une tension aptes à

générer une basse tension et caractérisé en ce que les seconds moyens (20) de génération d'une basse tension comportent ledit générateur basse tension (52) et au moins un condensateur basse tension (66).

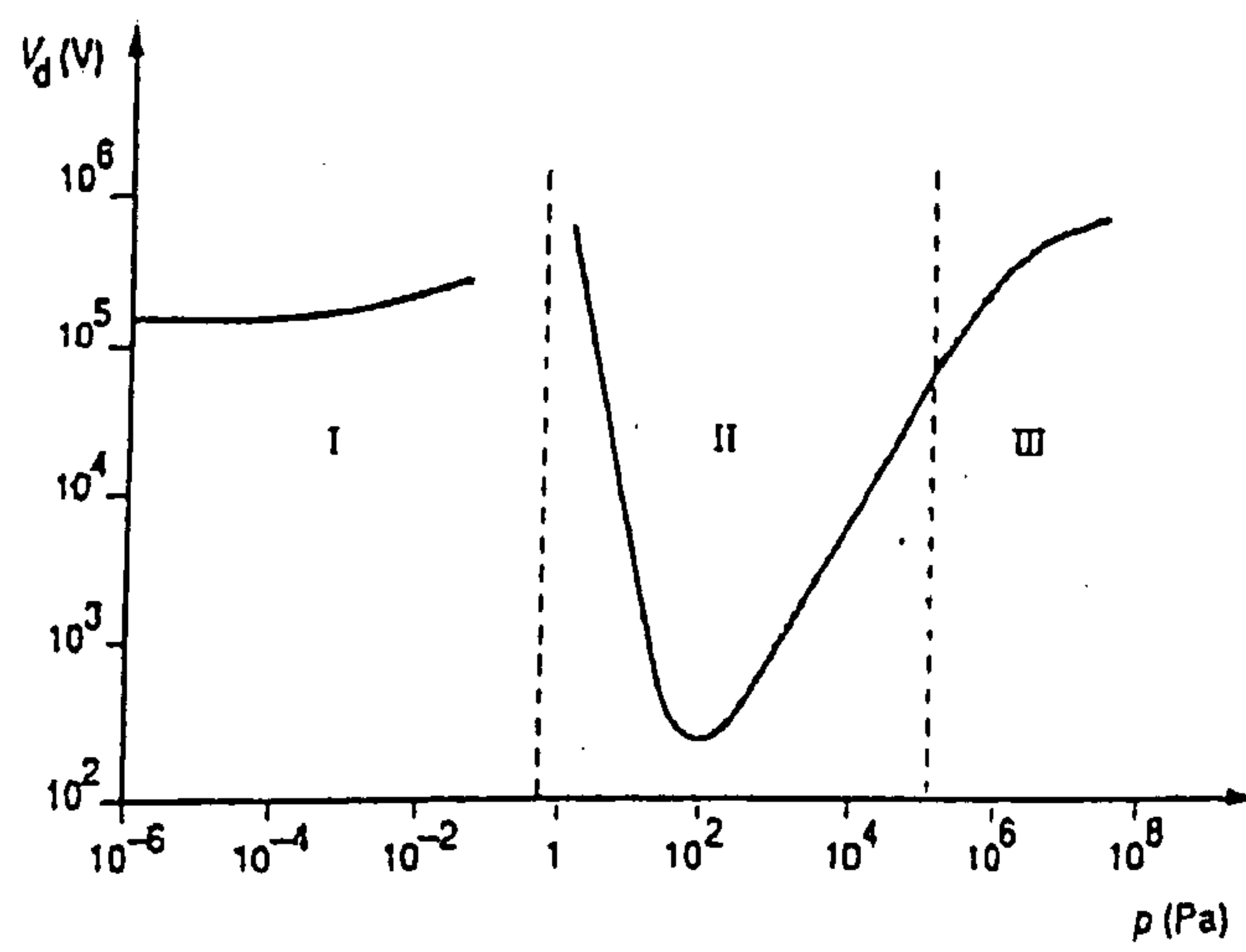
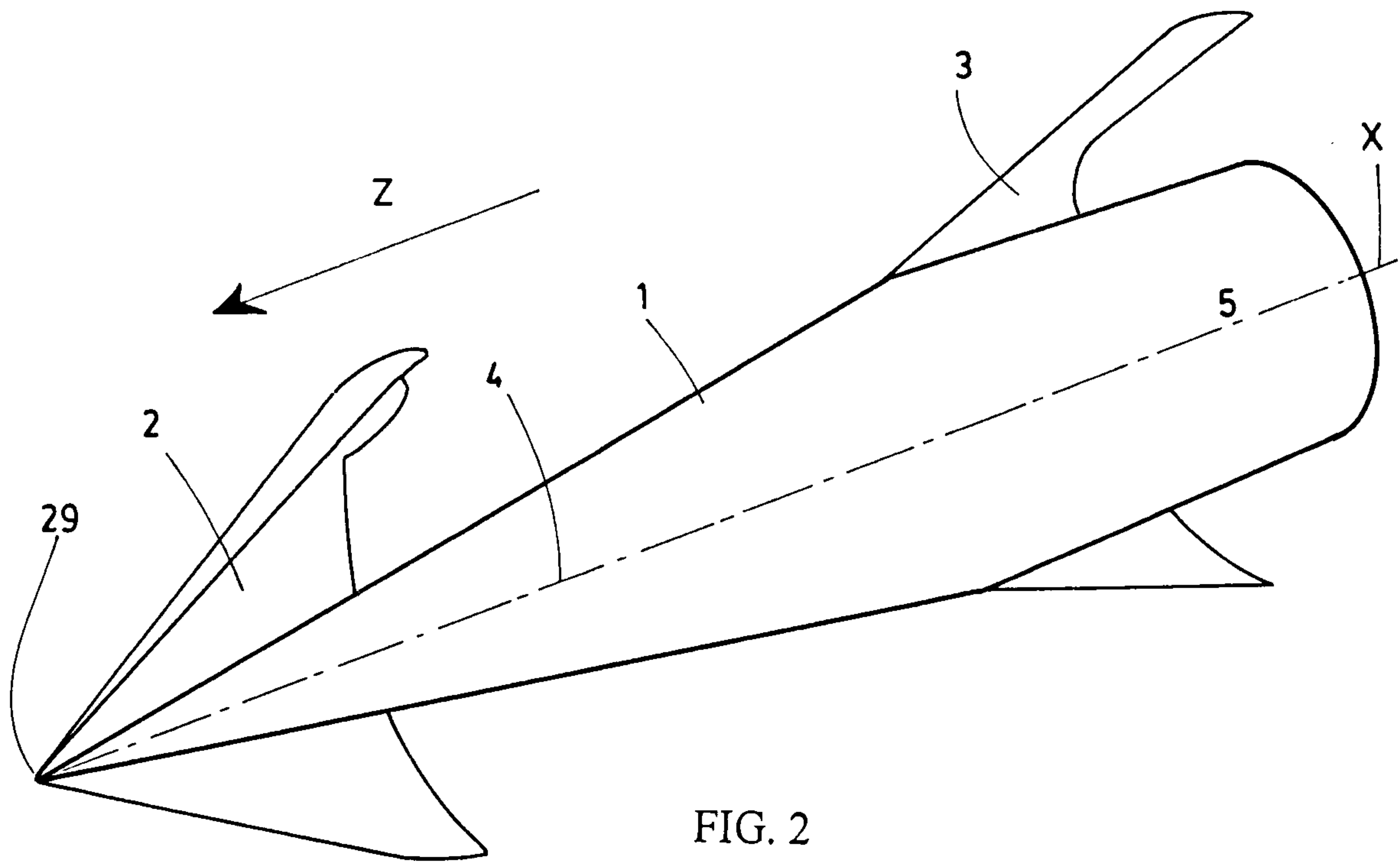
19. Dispositif selon la revendication 17, caractérisé en ce que l'une au moins des première et seconde électrodes (A ; B) reliées aux premiers moyens de génération (10) d'une tension est plus proche de l'extrémité (29) du nez (4) du projectile (1) que celles (B ; C) reliées aux seconds moyens (20) de génération d'une tension.

20. Dispositif selon la revendication 15 comportant au moins deux électrodes reliées à des seconds moyens (20, 52, 66) de génération d'une tension aptes à
10 générer une basse tension et caractérisé en ce que l'une des dites électrodes (A ; B ; C) est commune aux premiers et aux seconds moyens (10 ; 20) de génération d'une tension.

21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 19, caractérisé en ce que les dites électrodes (A ; B ; C) sont positionnées en tout autre lieu de l'engin à déterminer pour chaque application particulière dépendant de la mission qui est dévolue à l'engin.

22. Projectile comportant un dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 21.

PL. 1/7



PL. 2/7

FIG. 3

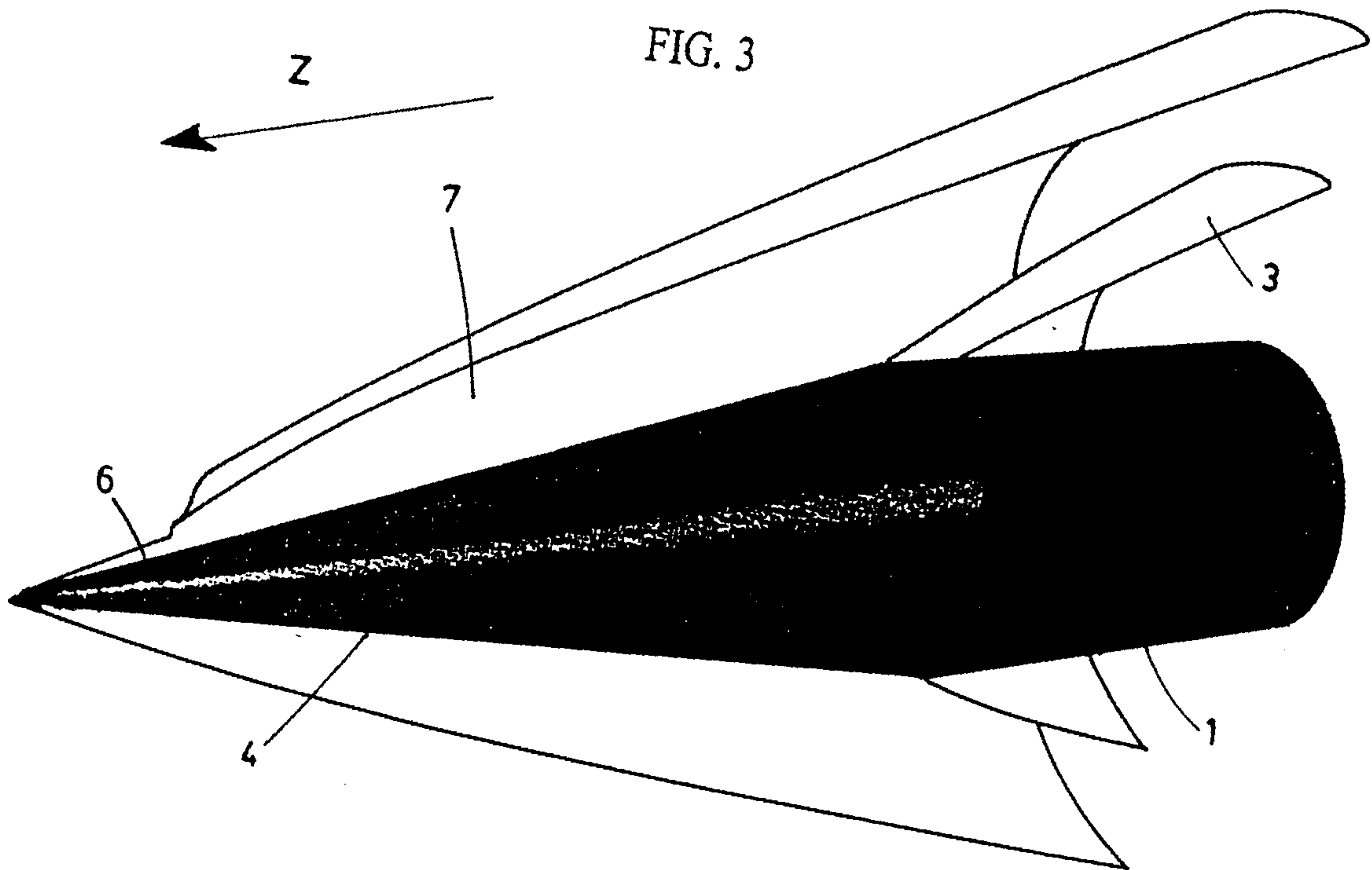
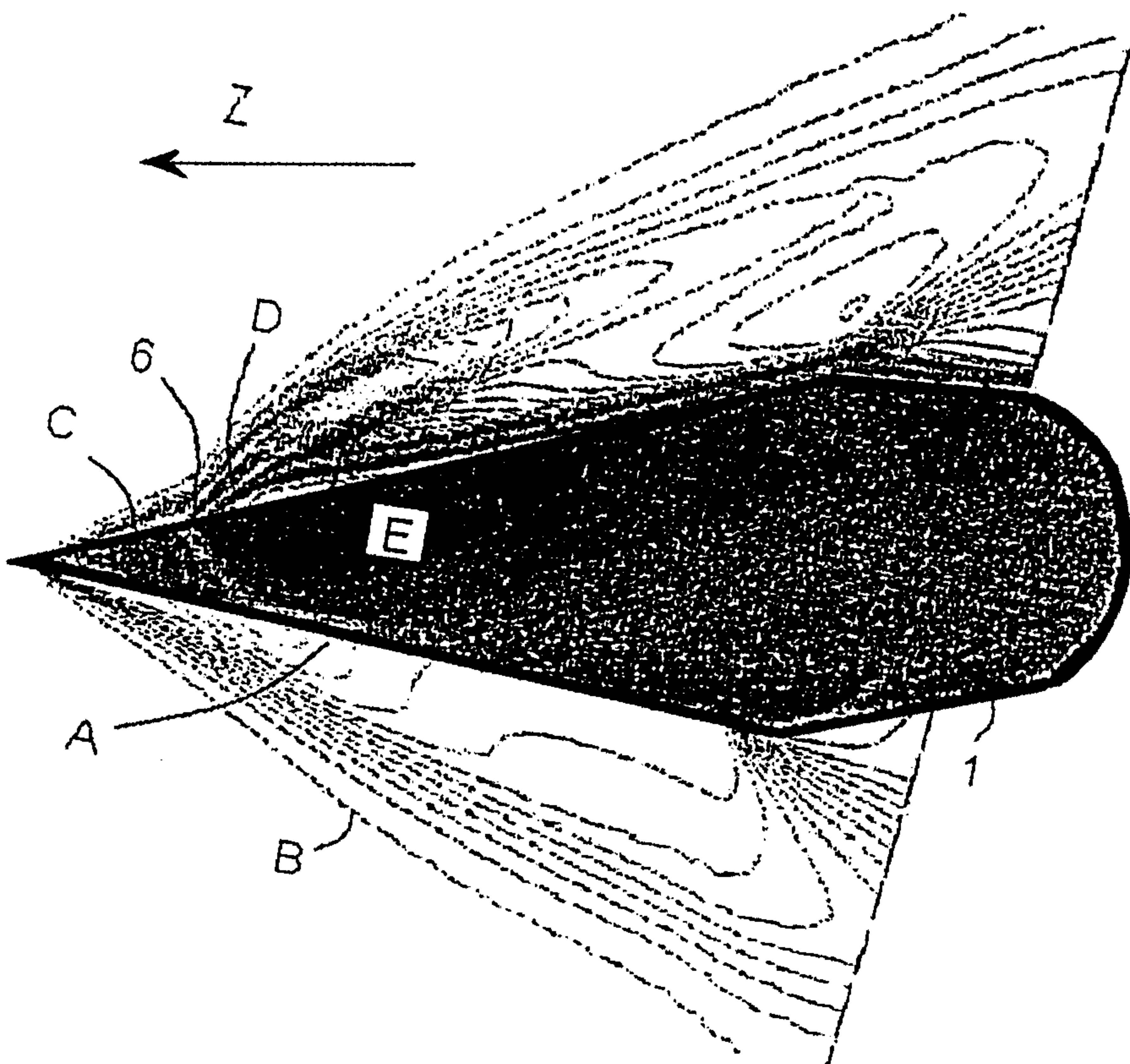
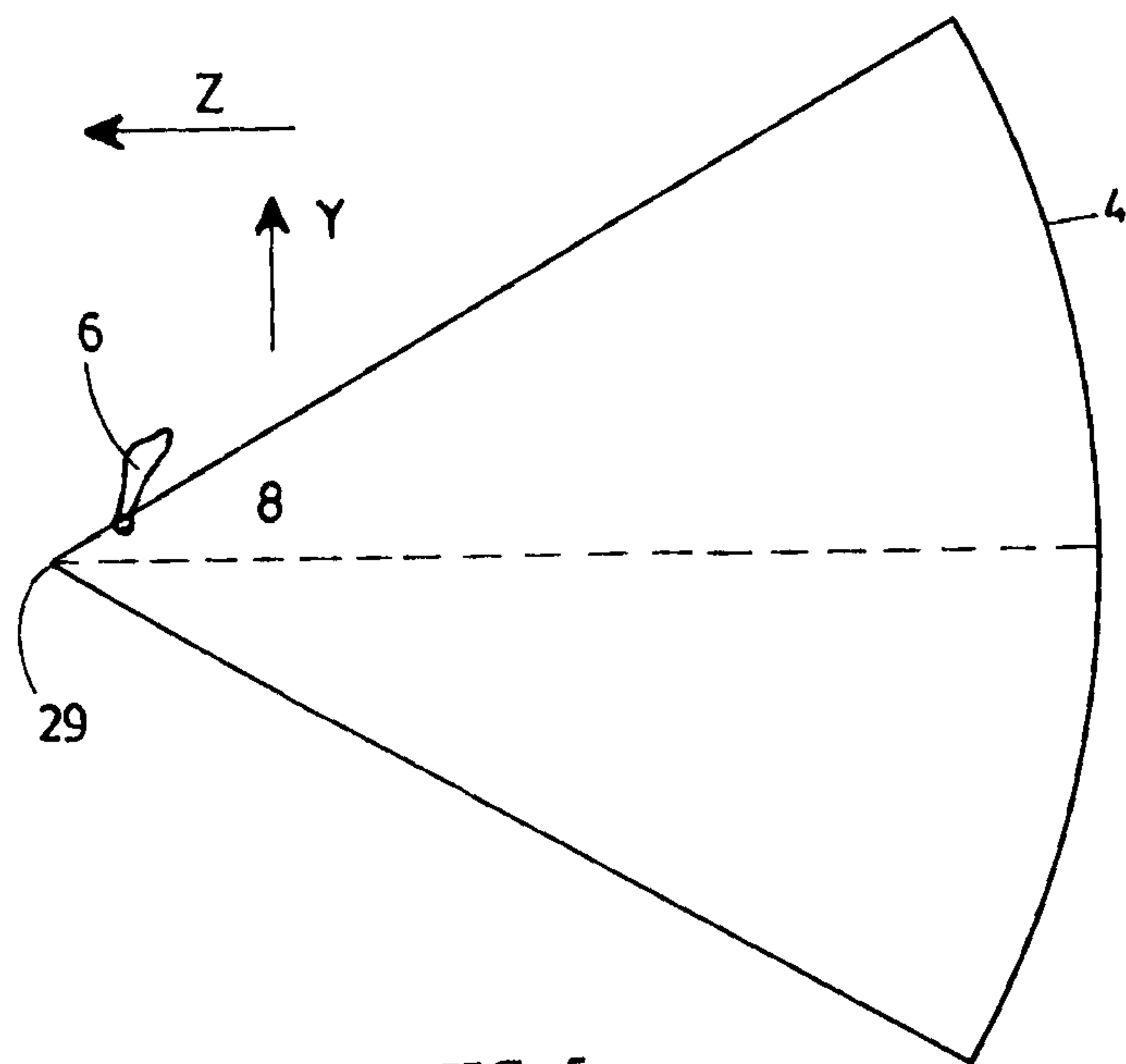
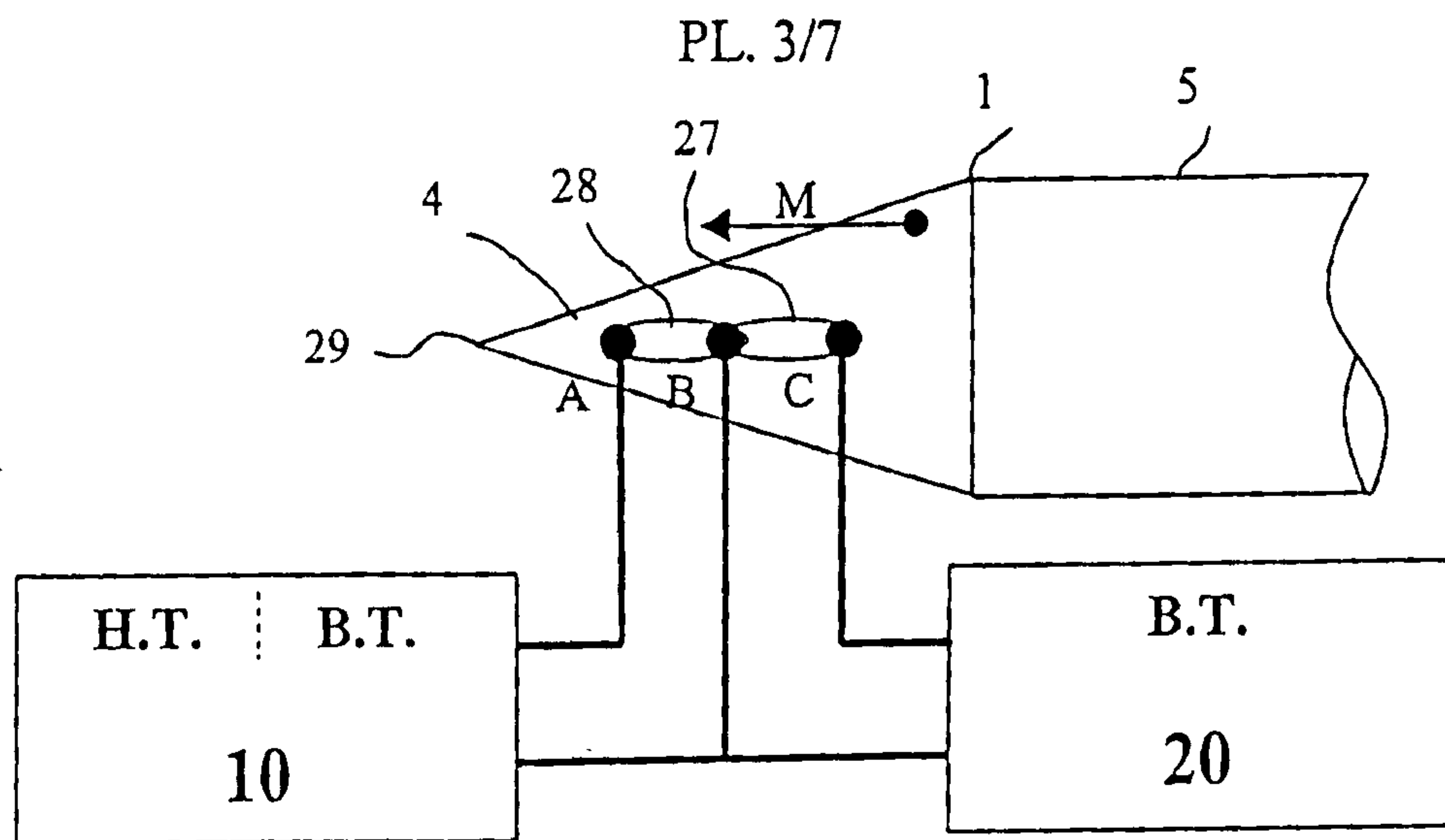


FIG. 4





PL. 4/7

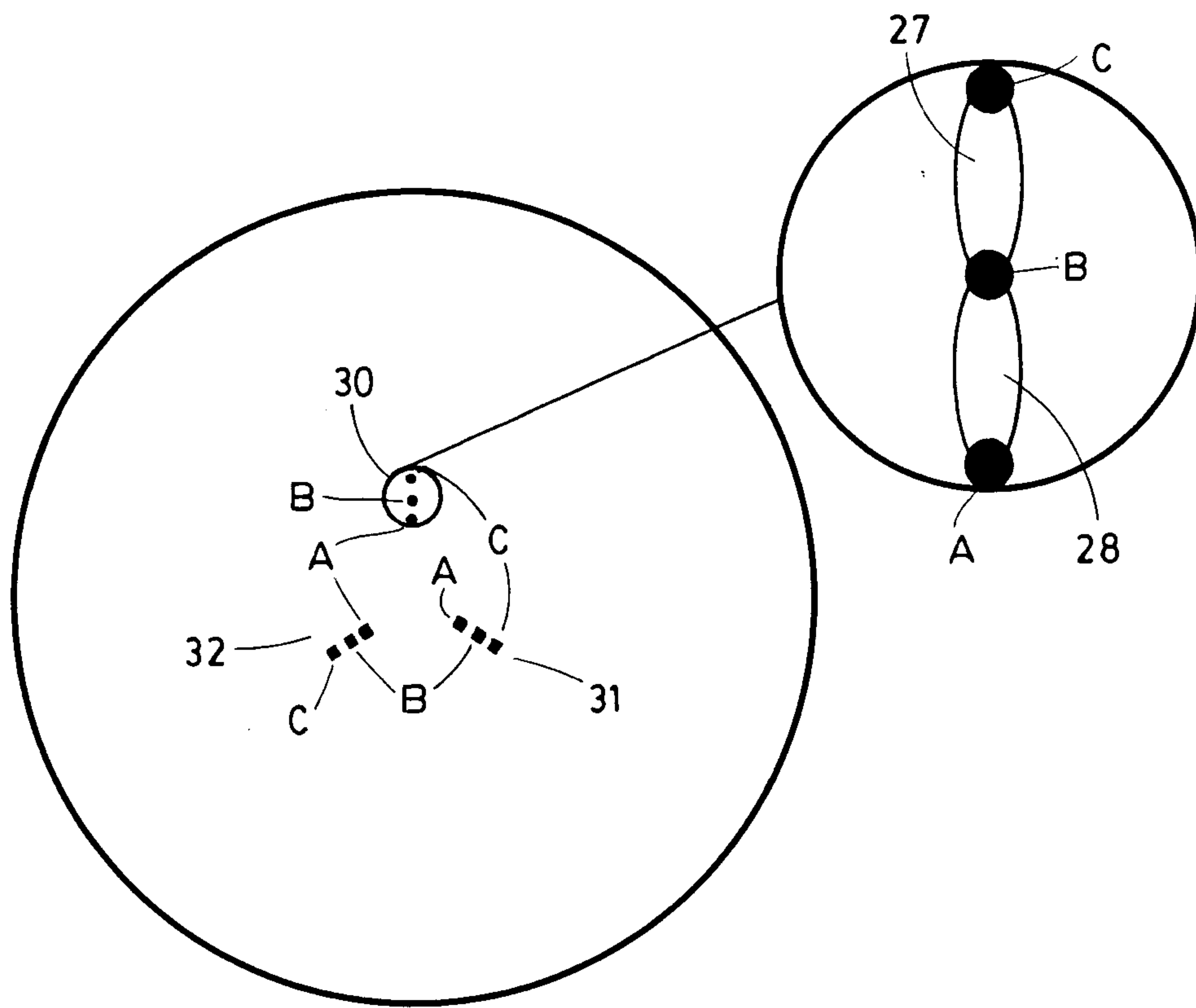


FIG. 7

PL.5/7

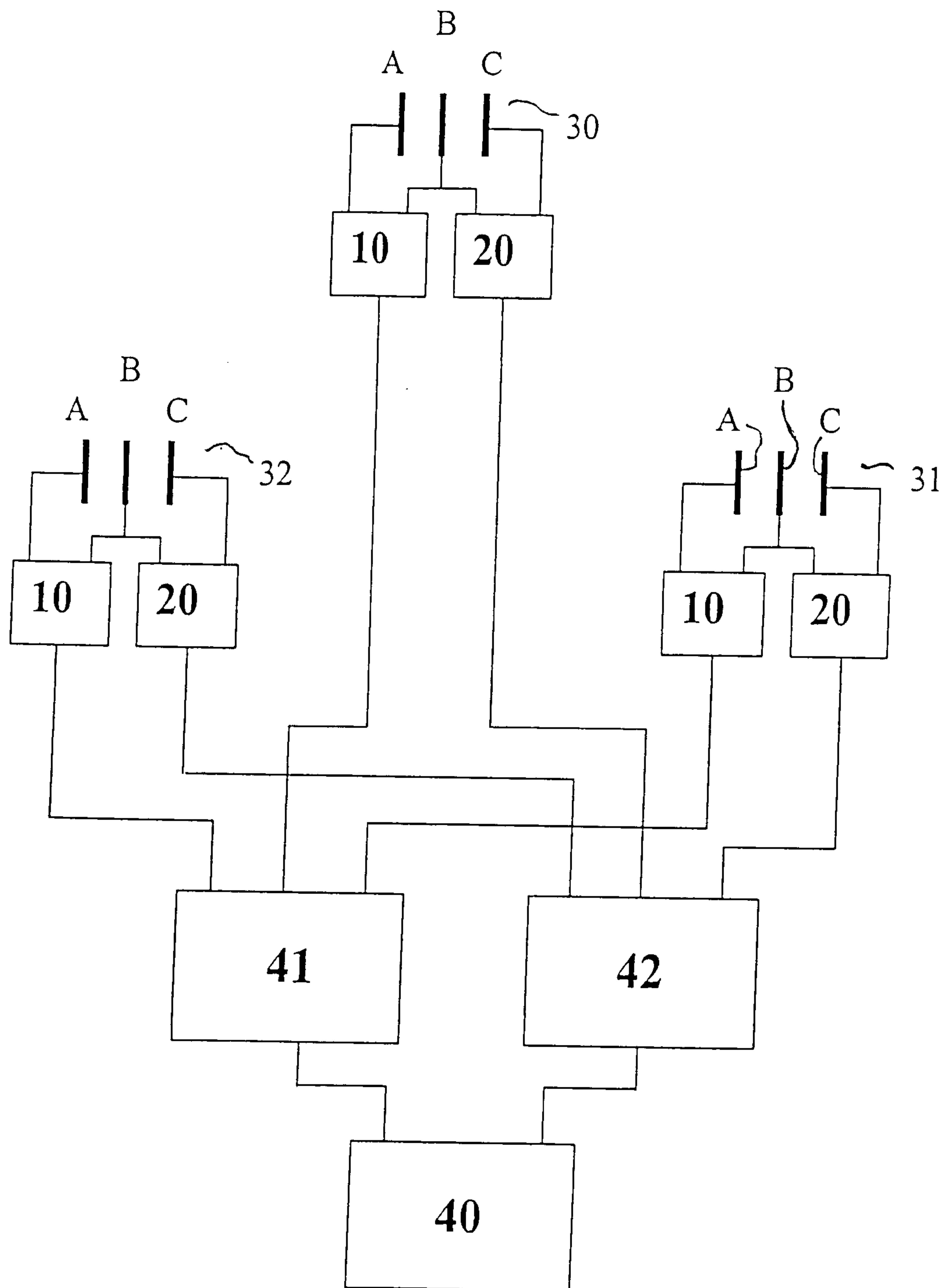


FIG. 8

PL.6/7

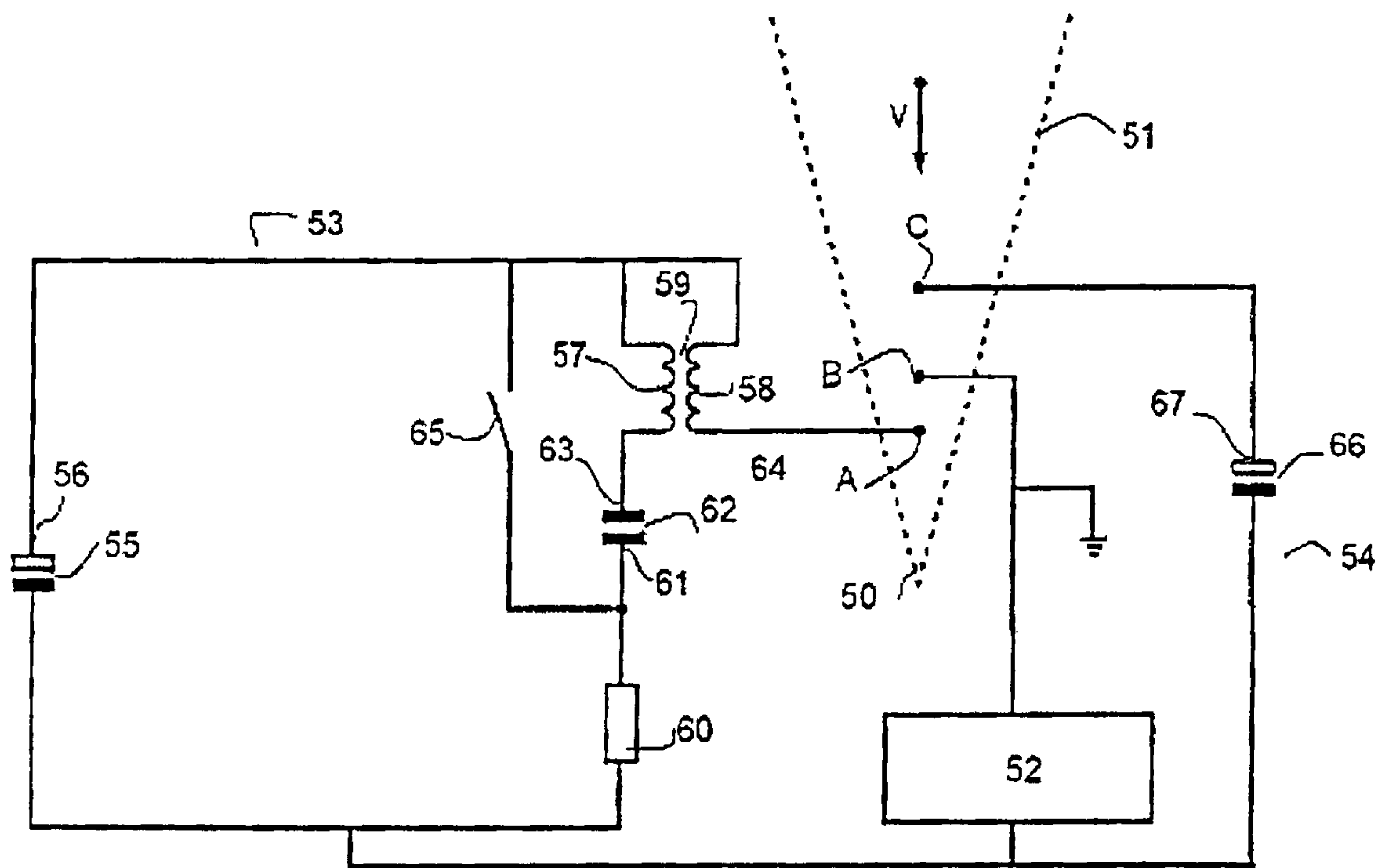


Fig. 9

PL.7/7

Fig. 10a

 $P_0 > 10^4 \text{ Pa}$ $T = 0$

Fig. 10b

 $T = 0 \text{ bls}$

Fig. 10c

 $T = 11$

Fig. 10d

 $T = 12$

Fig. 10e

 $T = 12 \text{ bls}$

Fig. 10f

