

SOURCE HYPERFREQUENCE MULTIMODE DIRECTIVE ET SON
APPLICATION A UNE ANTENNE RADAR MONOPULSE

La présente invention a pour objet une source hyperfréquence multimode, directive dans le plan H. Elle a également pour objet l'application d'une telle source aux antennes radar de poursuite ou d'écartométrie du type monopulse.

5

Dans certaines applications, notamment les radars de poursuite ou d'écartométrie du type monopulse, il est nécessaire de disposer de sources hyperfréquences multimodes. Par ailleurs, quand on veut utiliser une antenne ou une lentille à grande distance focale, il est nécessaire, ainsi qu'il est connu, de disposer d'une source qui soit très directive, c'est-à-dire qui émette un faisceau dont l'ouverture est très petite, à la fois dans le plan E et dans le plan H. Or il est très difficile de réaliser une source multimode qui soit très directive en plan H, pour des raisons qui seront exposées plus loin en détail en liaison avec les figures 1 à 4 ; ces raisons tiennent principalement au fait que, pour obtenir une source qui soit directive dans le plan H, il est nécessaire de disposer d'une grande ouverture dans ce plan, ce qui conduit à rendre possible la propagation de modes de propagation parasites perturbant le diagramme de rayonnement de la source.

10
15
20

La présente invention a pour objet une source hyperfréquence multimode qui soit directive dans le plan H. A cet effet, on utilise un cornet dont le profil n'est, dans le plan H, pas à pente constante mais variable, de façon discrète ou continue ; ces variations de pente sont choisies et disposées à des endroits choisis de sorte que les modes d'ordres supérieurs parasites qui sont créés dans l'ensemble de la source le soient avec des phases telles qu'ils s'annulent sensiblement dans le plan de sortie du cornet.

25
30

D'autres objets, particularités et résultats de l'invention ressortiront de la description suivante, donnée à titre d'exemple non

limitatif et illustrée par les dessins annexés, qui représentent :

- la figure 1, une source hyperfréquence multimode selon l'art antérieur ;

5 - la figure 2, a à j, des diagrammes de modes de propagation se rapportant à la figure précédente ;

- la figure 3, un autre type de source multimode selon l'art antérieur ;

- la figure 4, a à f, des diagrammes de modes de propagation se rapportant à la figure précédente ;

10 - la figure 5, un mode de réalisation de la source hyperfréquence selon l'invention.

Sur ces différentes figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.

15 La figure 1 représente donc une source hyperfréquence multimode selon l'art antérieur, vue en coupe dans le plan H.

Cette source comporte quatre parties distinctes, repérées A, B, C et D. La partie A est constituée par deux guides d'onde rectangulaires 10 et 11, ayant une largeur a_A dans le plan H et possédant une paroi commune 14. La deuxième partie, D, est
20 constituée par un seul guide d'onde 16, réunissant les guides 10 et 11 précédents par suppression de la paroi commune 14 ; la largeur a_D du guide 16 dans le plan H est donc égale à deux fois la largeur a_A ; le plan de sortie des guides 10 et 11 constitue le plan d'entrée du
25 guide 16 et il est noté P_4 . La troisième partie, B, est constituée par un guide d'onde rectangulaire 12 dont la largeur a_B est supérieure à a_D ; le plan de sortie du guide 16 constitue le plan d'entrée du guide 12 et il est noté P_3 . La quatrième partie, C, de la source de la figure 1 est constituée par un cornet 13, de pente donnée et constante, dont le plan d'entrée P_2 est le plan de sortie de la partie
30 B et dont le plan d'ouverture, plan de sortie de la source, est noté P_0 ; sa largeur à l'ouverture, toujours dans le plan H, est notée a_0 . On a également figuré le champ électrique E, qui est donc perpendiculaire au plan de la figure (flèche 15).

Une telle source peut être utilisée notamment dans un radar de type monopulse dans lequel, ainsi qu'il est connu, il est nécessaire de former une voie somme et une voie différence dont les diagrammes de rayonnement sont bien définis.

5 Sur la figure 2, a à j, on a représenté les configurations de différents modes existants dans la structure de la figure 1.

Le diagramme 2a représente le mode TE_{10} qui existe dans chacun des guides 10 et 11 (partie A) de la figure 1. Le diagramme 2b représente le mode TE_{10} qui s'établit dans le guide 16 (partie D),
 10 dont la longueur d'onde est le double de celle des modes TE_{10} des guides 10 et 11. Au niveau de la discontinuité de section se produisant dans le plan P_3 , il se forme dans le guide 12 un premier mode TE_{10} , propagatif, qui est représenté sur le diagramme 2c et, ainsi qu'il est connu, un mode d'ordre supérieur, TE_{30} , représenté sur
 15 le diagramme 2d, que l'on désire également propagatif pour que, superposé au mode TE_{10} , il fournisse le diagramme de rayonnement recherché pour la voie somme d'une source monopulse, comme représenté sur la figure 2e. Sur cette figure 2e, on a reporté le mode TE_{10} repéré c, le mode TE_{30} repéré d et le diagramme somme, repéré e.
 20

On a représenté de même les modes existant dans la structure de la figure 1 pour la voie différence (diagrammes 2f à 2j). Dans les guides 10 et 11, comme précédemment, l'énergie est guidée selon le mode TE_{10} mais en opposition de phase dans les deux guides. Dans le
 25 guide 16 (partie D), les deux modes TE_{10} en opposition de phase se transforment en un seul mode TE_{20} . Dans le guide 12 (partie B), le mode de propagation TE_{20} est conservé, avec un accroissement de longueur d'onde (diagramme 2h). De plus, la discontinuité de section dans le plan P_3 entraîne la création de modes supérieurs, parmi
 30 lesquels le plus gênant parce que le plus important est le mode TE_{40} représenté diagramme 2i. Ce mode TE_{40} est évanescent dans le guide 12 du fait des dimensions de ce dernier. On a représenté enfin sur le diagramme 2j la forme du rayonnement qu'on souhaite obtenir dans le plan P_0 de l'ouverture du cornet 13, qui est conforme à celle

du diagramme TE_{20} . Toutefois, il apparaît que cette forme est perturbée si des modes d'ordre supérieur tels que TE_{40} deviennent propagatifs dans le cornet 13, ce qui est le cas lorsque la dimension a_0 de l'ouverture est suffisante, c'est-à-dire égale ou supérieure à deux fois la longueur d'onde (λ) de l'énergie qui s'y propage.

Une des fonctions de la partie B est d'atténuer les modes parasites d'ordre supérieur à TE_{20} (TE_{40} et les modes supérieurs) avant le cornet 13 : en effet, ceux-ci ne sont pas propagatifs dans le guide 12 du fait de ses dimensions. A cet effet, la partie B doit être suffisamment longue. Mais, par ailleurs, le changement de pente des parois de la source qui se produit au niveau du plan P_2 est susceptible d'entraîner à nouveau création de modes parasites d'ordre supérieur lorsque ce changement de pente est important ; ce phénomène est particulièrement gênant du fait que ces modes sont susceptibles de devenir propagatifs dans le cornet 13, à cause des dimensions de ce dernier.

Lorsqu'on souhaite qu'une telle source soit directive en plan H, l'ouverture a_0 doit, ainsi qu'il est connu, être grande (typiquement supérieure à environ deux fois la longueur d'onde) ; on se trouve alors dans le cas défavorable où :

- le changement de pente dans le plan P_2 est important, créant des modes supérieurs parasites ;

- ces modes parasites sont propagatifs, perturbant ainsi le diagramme de rayonnement de la source (2j).

Il apparaît donc que dans ce type de source connue, la directivité en plan H est limitée par l'existence de modes supérieurs parasites.

Une solution consisterait à réduire l'angle d'évasement dans le plan P_2 en réduisant la longueur de la partie B, sachant que la longueur totale B+C est fixée par la condition de phase des modes TE_{10} et TE_{30} dans le plan de sortie P_0 . Mais alors la partie B ne remplirait plus suffisamment sa fonction d'atténuation des modes parasites créés dans le plan P_3 .

La figure 3 représente une variante de source multimode selon l'art antérieur.

Sur cette figure, on retrouve les mêmes éléments que sur la figure 1, à ceci près que la partie D a été supprimée. Le plan d'interface entre les parties A et B est noté P_1 et le plan d'interface entre les parties B et C est noté P_2 .

La figure 4, a à f, représente les modes de propagation de l'énergie existant dans les différentes parties A, B et C de la figure 3.

En ce qui concerne la voie somme, le diagramme 4a représente les modes TE_{10} existant dans les guides 10 et 11 de la partie A, identiquement au diagramme 2a. Le diagramme 4b représente le mode fondamental TE_{10} existant dans la partie B, identiquement au diagramme 2c. Le diagramme 4c représente le mode d'ordre supérieur TE_{30} existant en même temps que le mode TE_{10} dans la partie B, créé par la discontinuité de section dans le plan P_1 ; à la différence du diagramme 2d, le mode TE_{30} est en opposition de phase avec le mode TE_{10} dans ce cas.

En ce qui concerne la voie différence, le diagramme 4d est relatif à la partie A et identique au diagramme 2f. Le diagramme 4e est relatif au mode TE_{20} existant dans la partie B et identique au diagramme 2h. Enfin, le diagramme 4f illustre le mode d'ordre supérieur parasite TE_{40} , qui est évanescent dans la partie B et qui est identique au diagramme 2i.

Comme précédemment (figure 2), les diagrammes de rayonnement de la source (plan P_0) en voies somme et différence sont les superpositions des modes présents dans le guide 12 et des modes parasites d'ordre supérieur.

Les mêmes considérations que précédemment s'appliquent à la difficulté de réaliser une source multimode directive en plan H avec une structure de ce type.

La figure 5 représente un mode de réalisation de la source multimode selon l'invention. A titre d'exemple, le mode de réali-

sation représenté a un diagramme de rayonnement du type de celui de la figure 1.

5 Cette source se compose de trois parties : une partie A et une partie D identiques à celles de la figure 1, et une partie E remplaçant les parties B et C de la figure 1.

10 La partie E s'étend donc du plan P_3 , où se produit une discontinuité dans la section de la structure, jusqu'au plan P_0 d'ouverture de la source. Elle est constituée par un cornet 17 dont la pente est variable, de façon discrète, dans cet exemple, formant ainsi quatre sections à pentes constantes, repérées C_1 à C_4 , et caractérisés par une longueur notée L_1 à L_4 respectivement, prise dans la direction de propagation de l'onde, et une largeur dans le plan H prise dans le plan d'entrée du tronçon, notée a_1 à a_4 . Les plans de séparation des tronçons de cornet sont notés respec-

15 tivement P_{12} pour la séparation entre les tronçons C_1 et C_2 , P_{23} entre C_2 et C_3 et P_{34} entre C_3 et C_4 .

20 Comme précédemment, l'énergie se propage dans la partie A selon le mode TE_{10} dans chacun des guides 10 et 11, en phase pour la voie somme (diagramme 2a) ou en opposition de phase pour la voie différence (diagramme 2f). Dans le guide 16 (partie D), l'énergie se propage selon les deux modes TE_{10} ou TE_{20} , selon qu'il s'agit de la voie somme ou de la voie différence. La discontinuité de section dans le plan P_3 provoque donc la création du mode supérieur TE_{30} ; celui-ci est propagatif si la largeur a_1 du premier tronçon C_1 est choisie suffisante (égale ou supérieure à $1,5 \lambda$).

25

30 Ainsi qu'il a été mentionné plus haut, des modes parasites d'ordre supérieur sont également créés à ce niveau, tel que le mode TE_{40} qui est évanescent si la largeur a_1 est suffisamment petite (inférieure à 2λ). A chaque variation de pente du cornet 17, à savoir au niveau des plans P_{12} , P_{23} et P_{34} , des modes supérieurs parasites sont également créés ; la position des plans P_{12} , P_{23} , P_{34} et les variations de pente qui s'y produisent sont choisies de telle sorte que les modes parasites créés le soient avec des phases telles que l'ensemble des modes parasites, et principalement le mode TE_{40} qui

est le plus gênant, s'annulent sensiblement au niveau de l'ouverture P_0 du cornet 17.

Les dimensions géométriques $L_1 - L_4$ et $a_1 - a_4$ sont déterminées par minimisation de l'expression suivante :

5

$$E(P) = \sum_F \left| S(F,P) - S_0 \right|^2 + \left| D(F,P) - D_0 \right|^2$$

10

15

où : P représente l'ensemble des paramètres $a_0 - a_4$ et $L_1 - L_4$, a_0 étant donné ; F la fréquence ; S et D les niveaux de recouplement des voies somme et différence (on rappelle que le niveau de recouplement de la voie somme est le niveau de la voie somme au bord de l'objet illuminé, réflecteur secondaire par exemple, rapporté au niveau de la voie somme dans l'axe de la source, pris comme référence ; de même pour le niveau de recouplement de la voie différence, avec la même référence) ; S_0 et D_0 sont les valeurs désirées de ces niveaux de recouplement, et \sum_F symbolise la sommation sur plusieurs fréquences dans la bande de fonctionnement de la source.

20

A titre d'exemple, un tel dispositif a été réalisé avec les valeurs suivantes :

25

30

- S_0 et D_0 de l'ordre de -10 dB ;
- bande de fréquence de l'ordre de 10% en bande X ;
- longueur maximale de la partie E de l'ordre de 140 mm ;
- erreur de phase dans le plan de l'ouverture P_0 inférieure à 30° ;
- largeurs (en mm) : $60 < a_1 < 65$; $70 < a_2 < 80$; $80 < a_3 < 90$; $80 < a_4 < 90$; $90 < a_0 < 100$;
- longueurs (en mm) : $65 < L_1 < 75$; $15 < L_2 < 25$; $25 < L_3 < 35$; $10 < L_4 < 20$.

La comparaison de ces résultats à ceux qu'il est possible d'obtenir avec une source multimode du type de celle représentée figure 1 montre notamment que la longueur totale est inférieure de l'ordre de 25% à celle d'une source classique, que l'erreur de phase

est sensiblement divisée par deux et que la stabilité des niveaux de recouplement, dans la bande de fréquence de fonctionnement, se trouve améliorée de façon significative.

- 5 Les variations de pente du cornet 17 ne sont bien entendu pas limitées à trois comme dans le cas de la figure 5. Elles peuvent être plus ou moins nombreuse. La variation de pente peut également être continue. Plus généralement, l'expression (1) ci-dessus peut tenir
- 10 compte d'autres paramètres géométriques P que les dimensions a et L, et d'autres caractéristiques visées que S et D, telles que :
- rapport de modes, en amplitude et phase, sur l'ouverture P_0 du cornet ;
 - largeur à 3 dB des diagrammes de rayonnement à l'infini ;
 - diagrammes de rayonnement dans une plage angulaire donnée ;
- 15 - coïncidence des centres de phase des voies somme et différence ;
- etc.

REVENDEICATIONS

1. Source hyperfréquence multimode recevant une onde hyperfréquence se propageant selon un premier mode (TE_{10}) et comportant des premiers moyens pour engendrer un nombre prédéfini de modes supérieurs (TE_{20} , TE_{30}), la source étant caractérisée par le fait que, les premiers moyens engendrant des modes supérieurs supplémentaires parasites, elle comporte en outre, disposé en sortie des premiers moyens, un cornet dont le profil est à pente variable dans le plan H, les variations de pente ayant une valeur et étant disposées de sorte que les modes parasites qu'elles engendrent le soient avec des phases telles qu'ils s'annulent sensiblement dans le plan de sortie du cornet, avec les modes supérieurs engendrés par les premiers moyens.

2. Source selon la revendication 1, caractérisée par le fait que les variations de pente sont en nombre limité.

3. Source selon la revendication 1, caractérisée par le fait que la pente du profil du cornet est continuellement variable.

4. Source selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que les dimensions géométriques du cornet sont obtenues par minimisation de l'expression suivante :

$$E(P) = \sum_F \left| S(F,P) - S_0 \right|^2 + D(F,P) - D_0 \right|^2$$

où :

- P représente l'ensemble des paramètres géométriques des différents tronçons formant le cornet, à savoir longueur des tronçons prise dans la direction de propagation de l'onde hyperfréquence et largeur de ces tronçons dans le plan H, prise dans le plan d'entrée de chaque tronçons ;

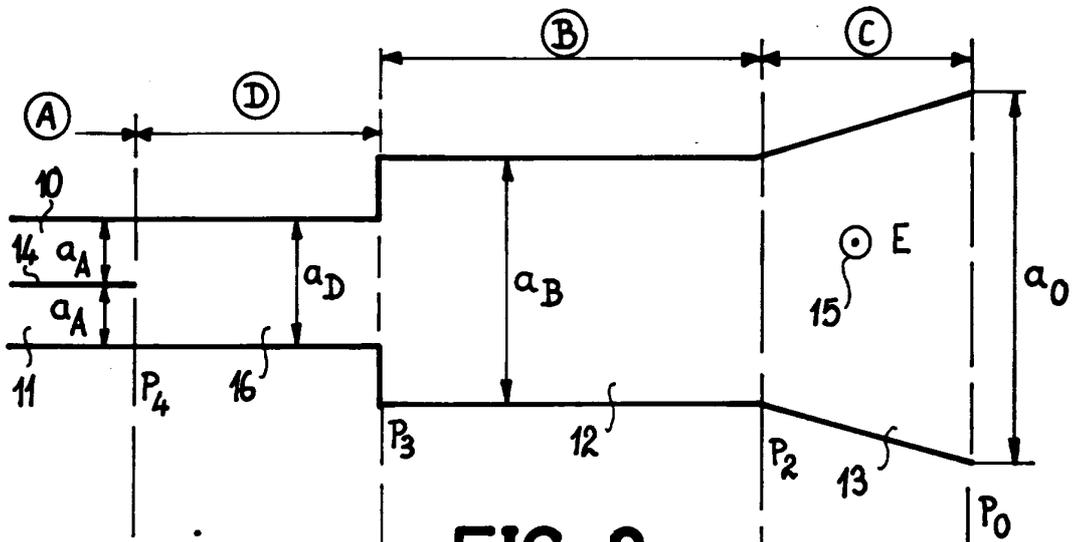
- S et D sont les niveaux de recouplement des voies somme et différence, S_0 et D_0 étant les valeurs désirées de ces niveaux.

5. Source selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que les premiers moyens sont constitués par une discontinuité de la section de la source.

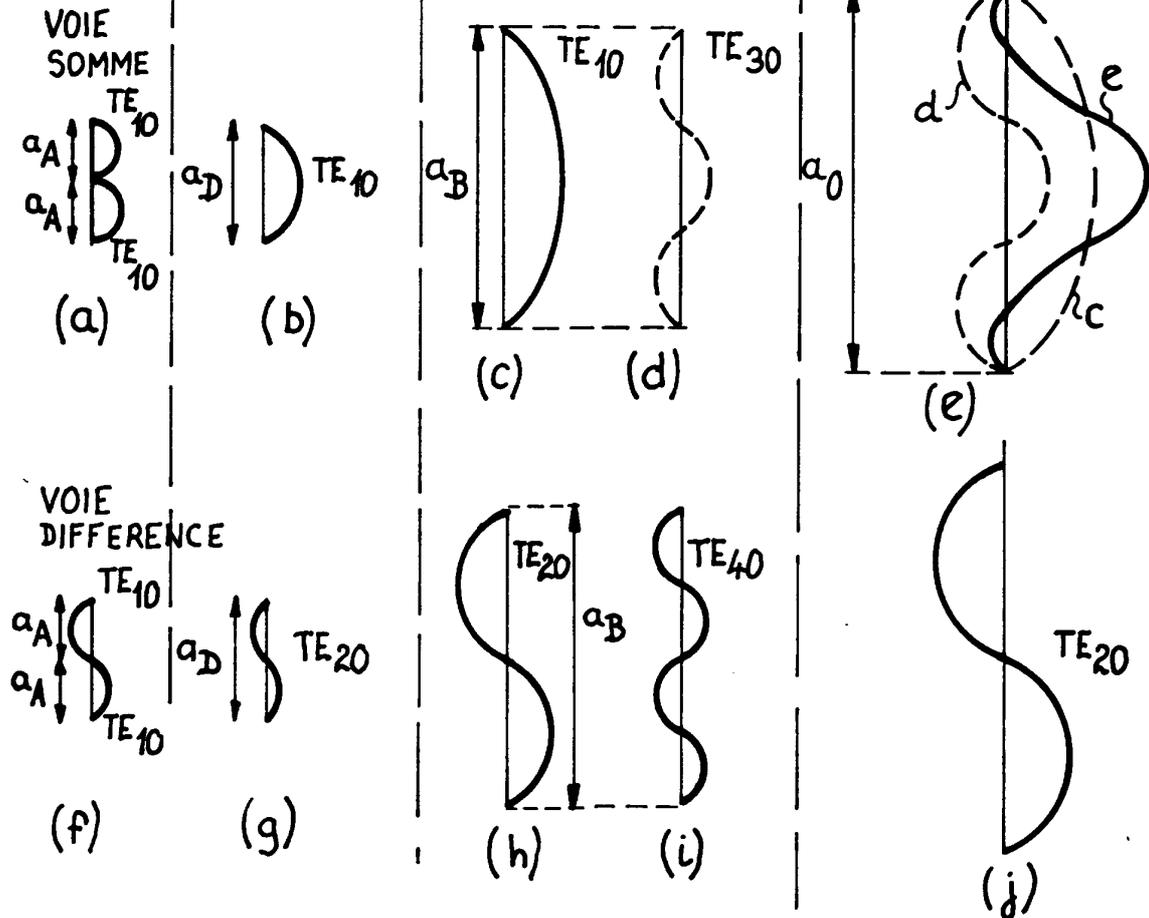
- 5 6. Antenne radar monopulse, caractérisée par le fait qu'elle comporte une source selon l'une des revendications précédentes.

1/3

FIG_1

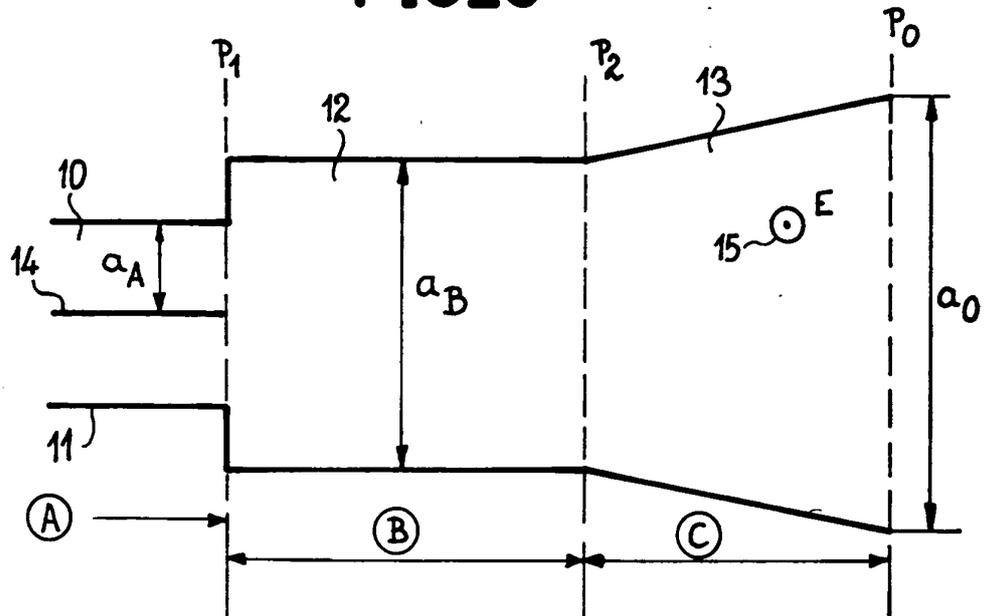


FIG_2

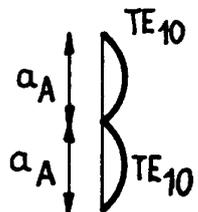


2 / 3

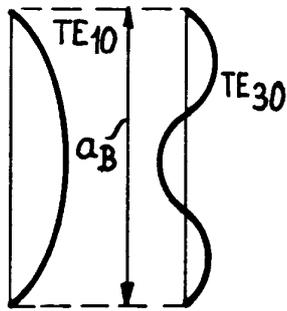
FIG_3



VOIE SOMME



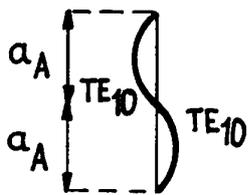
(a)



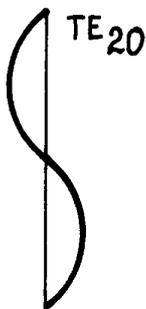
(b)

(c)

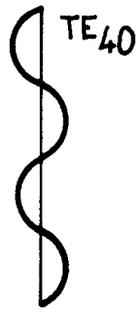
VOIE DIFFERENCE



(d)



(e)



(f)

FIG_4

3/3

FIG. 5

