

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 623 614

21 N° d'enregistrement national :

88 15287

51 Int Cl<sup>4</sup> : G 01 B 7/24, 7/12.

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 23 novembre 1988.

30 Priorité : ZA, 23 novembre 1987, n° 87/8753.

43 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPi « Brevets » n° 21 du 26 mai 1989.

60 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

71 Demandeur(s) : *ANGLO AMERICAN CORPORATION OF  
SOUTH AFRICA LIMITED, société sud-africaine. — ZA.*

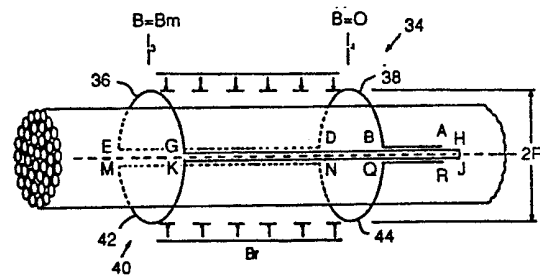
72 Inventeur(s) : Nicolaas Tjaart Van Der Walt.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : S.C. Ernest Gutmann et Yves Plasse-  
raud.

54 Procédé et dispositif pour la détection de variations de sections dans un objet de grande longueur, en particulier un câble.

57 Un objet tel qu'un câble de fils d'acier est essayé électro-  
magnétiquement pour ce qui concerne les variations de surface  
de section transversale dans deux parties voisines de l'objet  
magnétisées dans des sens opposés. Les variations du flux  
axial qui sont causées par des variations de section transver-  
sale sont mesurées en utilisant des bobines en forme de selle  
34, 40 qui sont placées à proximité des parties magnétisées  
de l'objet et qui détectent les variations du flux radial émanant  
de l'objet.



FR 2 623 614 - A1

D

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA DETECTION DE VARIATIONS DE SECTIONS DANS  
UN OBJET DE GRANDE LONGUEUR, EN PARTICULIER UN CABLE.

---

5

La présente invention se rapporte généralement à l'essai électro-magnétique d'objets de grande longueur tels que des câbles de fils d'acier et concerne particulièrement la détection des variations de surface de section transversale dans un câble de fils d'acier.

Les câbles de transport en acier sont utilisés dans de nombreuses applications pour transporter du personnel ou des matériaux. De tels câbles doivent être examinés régulièrement pour que l'on s'assure du fait que les normes de fonctionnement sont conservées de façon conforme et pour détecter les détériorations affectant les câbles avant que des problèmes de sécurité ne se produisent.

Les défauts affectant les câbles de fils d'acier peuvent être classés en trois catégories, à savoir les variations de la surface de section transversale, les variations du dessin de contact des fils d'un câble qui est constitué par des torons de fils enroulés selon un dessin particulier, et les fils cassés.

L'invention se rapporte en premier lieu à la première caractéristique citée, à savoir les variations de section transversale d'un câble. La résistance d'un câble dépend de sa surface de section transversale en acier et celle-ci peut par exemple se trouver réduite par l'usure, la corrosion et le rétrécissement par allongement d'une partie affaiblie.

L'invention fournit un procédé de détection des variations de la surface de section transversale d'un objet de grande longueur, qui comporte des opérations de

magnétisation de l'objet et de détection des variations du flux magnétique dans l'objet qui peuvent être attribuées à des variations de surface de section transversale.

5 Les variations de flux magnétique axial peuvent être détectées en mesurant les variations du flux magnétique radial émanant de l'objet ou reçues par celui-ci.

10 On va montrer ci-après que la densité du flux magnétique radial est proportionnelle au gradient de la densité de flux magnétique axial.

L'invention s'étend également à un appareil destiné à détecter les variations de surface de section transversale affectant un objet de grande longueur, 15 comprenant une tête de magnétisation destinée à créer un premier champ magnétique et au moins un second champ magnétique qui est adjacent au premier champ magnétique, les deux champs magnétiques étant dirigés respectivement dans des sens opposés, un passage étant ménagé pour 20 l'objet, lequel permet à l'objet de se déplacer dans le sens axial dans le premier champ magnétique et dans le second champ magnétique, l'objet étant ainsi magnétisé de ce fait dans des sens axiaux opposés par le premier champ magnétique et respectivement par le second champ 25 magnétique, au moins deux bobines en forme de selle placées en face l'une de l'autre sur des côtés opposés du passage, chaque bobine en forme de selle comportant au moins un premier et un second enroulement semi-circonférentiel qui sont positionnés avec un écart axial 30 entre eux, et un moyen destiné à la détection d'une tension qui est induite dans les bobines en forme de selle, qui peut être attribuée à une variation de la surface de section transversale de l'objet.

35 Dans une des formes de réalisation de l'invention, les demi-enroulements circonférentiels opposés des

bobines en forme de selle respectives sont positionnés à des emplacements où la densité de flux magnétique dans l'objet passe par une valeur maximum, et les autres enroulements semi-circonférentiels sont positionnés à un  
5 emplacement où la densité de flux magnétique dans l'objet est nulle. Dans des variantes de formes de réalisation, les deux paires opposées d'enroulements semi-circonférentiels sont positionnées à des emplace-  
10 ments où la densité de flux magnétique dans l'objet passe par une valeur maximum dans un sens, et respectivement par une valeur maximum dans le sens opposé.

Les bobines en forme de selle sont connectées entre elles de façon à éliminer ou à réduire le bruit ou d'autres facteurs qui sont communs aux deux bobines et  
15 de façon à ce que la tension nette induite dans les deux bobines en forme de selle, qui est attribuable essentiellement seulement à des variations de section transversale de l'objet, puisse être détectée.

Chaque bobine en forme de selle peut comprendre  
20 une pluralité de spires.

La tension induite dans les bobines en forme de selle peut être intégrée par rapport au temps ou par rapport à la distance axiale, pour obtenir une mesure des variations de la section transversale.

25 Les variations de vitesse peuvent être compensées.

Dans une variante de forme de réalisation, les bobines en forme de selle sont reliées par un pont qui peut être réglé de façon à compenser encore plus le  
30 bruit, ou, installé autrement, à équilibrer les bobines avec plus de précision. Le pont peut prendre la forme d'une résistance à branchement variable.

Comme on l'a fait ressortir, l'invention trouve une application particulière dans l'essai des câbles de  
35 fils d'acier.

L'invention est décrite plus loin à titre d'exemple avec référence aux dessins d'accompagnement dans lesquels :

- la figure 1 représente un cylindre d'acier, qui consiste par exemple en une longueur de câble de fils d'acier, qui est magnétisée,

- la figure 2 représente une vue latérale en coupe transversale d'une tête de magnétisation qui est utilisée pour magnétiser un câble de fils d'acier et à côté de la tête de magnétisation, des graphiques décrivant la variation de la densité de flux magnétique et du taux de variation de la densité de flux magnétique par rapport à la longueur de la tête de magnétisation,

- la figure 3 représente une partie d'un cylindre d'acier qui comporte des bobines opposées placées à proximité du cylindre en question,

- les figures 4 à 7 sont respectivement des vues de différentes dispositions de la paire de bobines en forme de selle autour du cylindre d'acier,

- la figure 8 montre en vue latérale par le bout d'un câble en cours d'essai,

- la figure 9 est un schéma fonctionnel par blocs d'un circuit utilisé pour piloter un signal produit par la paire de bobines en forme de selle dans la figure 3,

- les figures 10 et 11 montrent les formes d'ondes produites dans le circuit de la figure 9,

- les figures 12 et 13 sont les formes d'ondes produites dans une variante de l'invention,

- la figure 14 montre une modification qu'il est possible d'incorporer dans le circuit de la figure 9,

- la figure 15 représente une autre forme d'onde,

- et la figure 16 est un graphe de la variation de flux en fonction de la variation de surface.

Les principes de l'invention sont décrits dans ce qui suit, tout d'abord en examinant la base théorique de l'invention, puis en considérant un exemple d'une réalisation pratique des principes théoriques.

5 La figure 1 représente une partie d'un cylindre d'acier 10 qui dans cet exemple est une longueur de câble de fils d'acier de rayon  $r$  d'une surface de section transversale  $A$ . Une bobine 12 de rayon  $R$  est placée autour d'un élément de câble de fils d'acier de  
10 longueur  $\Delta l$ .

On suppose que le câble de fils d'acier est magnétisé axialement et que la densité de flux magnétique axial est  $B_a$ . Le flux axial du côté gauche de l'élément est  $\phi_a$  alors que dans le côté gauche de  
15 l'élément, le flux est  $\phi_a + \Delta\phi_a$ .

Sur la longueur  $\Delta l$  de l'élément, la densité de flux radial est  $B_r$  et le flux radial est  $\phi_r$ .

La relation entre le flux axial et la densité de flux axial peut s'exprimer comme suit :

$$20 \quad \phi_a = B_a A \quad (1)$$

Le flux axial total qui est inclus par la bobine 12 est  $\phi_t$  et il est fourni par l'expression :

$$25 \quad \phi_t = \phi_a + \phi_s \quad (2)$$

dans laquelle  $\phi_s$  est le flux intrinsèque dans la surface totale de la bobine.

L'équation (2) peut être transcrite sous la forme :

$$30 \quad \phi_t = B_a A + B_s \pi R^2 \quad (3)$$

dans laquelle  $B_s$  est la densité de flux dans l'espace et est fournie par l'expression :

$$35 \quad B_s = \frac{\mu_0}{\mu} B_a \quad (4)$$

où  $\mu_0$  est la perméabilité de l'espace libre et  $\mu$  est la perméabilité intrinsèque de l'élément de câble de fils d'acier pour la densité de flux  $B_a$ .

En combinant l'équation (3) avec l'équation (4),  
5 l'équation (3) peut être transcrite sous la forme :

$$\phi_t = B_a A + \frac{\mu_0}{\mu} B_a \pi R^2 \quad (5)$$

Si on établit la différentielle de l'équation  
10 (5) par rapport à A, en vue de déterminer la relation entre le flux total traversant la bobine 12 et une variation de la surface de section transversale du câble 10, on arrive à l'équation suivante :

$$15 \quad \frac{d\phi_t}{dA} = B_a \quad (6)$$

L'équation (6) signifie que s'il y a une varia-  
tion de la surface de section transversale de l'élément  
de câble de fils d'acier en question égale à  $\Delta A$ , il en  
20 résulte une variation du flux axial dans l'élément  $\Delta\phi_a$ ,  
qui est la même que la variation du flux traversant la  
bobine 12, et qui est donnée par l'expression :

$$\Delta\phi_t = B_a \Delta A \quad (7)$$

25 A partir de l'équation (7), on peut déduire que dans le cas d'un élément de câble de fils d'acier qui est magnétisé axialement et pour n'importe quelle densité de flux, les variations de la surface de section transversale de l'élément de câble de fils d'acier  
30 peuvent être mesurées, en déterminant les variations du flux magnétique axial total dans l'élément de câble d'acier.

La figure 1 illustre une situation dans laquelle le flux axial dans l'élément 10 de câble de fils d'acier varie d'une quantité  $\Delta\phi_a$  sur la longueur  $\Delta l$ . La loi de  
35 flux de Gauss indique que les lignes de flux sont

continues et n'ont pas d'origine. En conséquence, une variation de flux axial, comme montré dans la figure 1, doit être accompagnée d'une variation du flux radial  $\theta_r$  sur la longueur  $\Delta l$ .

5 On suppose que  $\Delta l$  est suffisamment faible pour que la densité de flux radial  $B_r$  sur le rayon R de la bobine 12 soit considérée comme constante.

On peut alors exprimer la relation qui en résulte sous la forme :

$$10 \quad \Delta \theta_a = A_c B_r \quad (8)$$

dans laquelle  $A_c$  est la surface de paroi d'un cylindre de rayon R et de longueur  $\Delta l$ , et est fourni par l'expression :

$$15 \quad A_c = 2 \pi R \Delta l \quad (9)$$

En utilisant l'équation (9), l'équation (8) peut être transcrite sous la forme :

$$20 \quad \Delta \theta_a = \Delta(A_c B_r) = 2 \pi R \Delta l B_r \quad (10)$$

Si la surface de paroi sur laquelle se produit la différence de flux  $\Delta \theta_a = \Delta(B_a A) = \Delta B_a A$ .

l'équation (10) peut être transcrite sous la  
25 forme :

$$B_r = \frac{\Delta B_a A}{\Delta l 2 \pi R} \quad (11)$$

Si  $\Delta l \rightarrow 0$ , on peut alors exprimer l'équation  
30 (11) sous la forme suivante :

$$\frac{dB_a}{dL} = \frac{2 \pi R}{A} B_r(l) \quad (12)$$

L'équation (12) fournit la relation entre la  
35 densité de flux axial et la densité de flux radial en

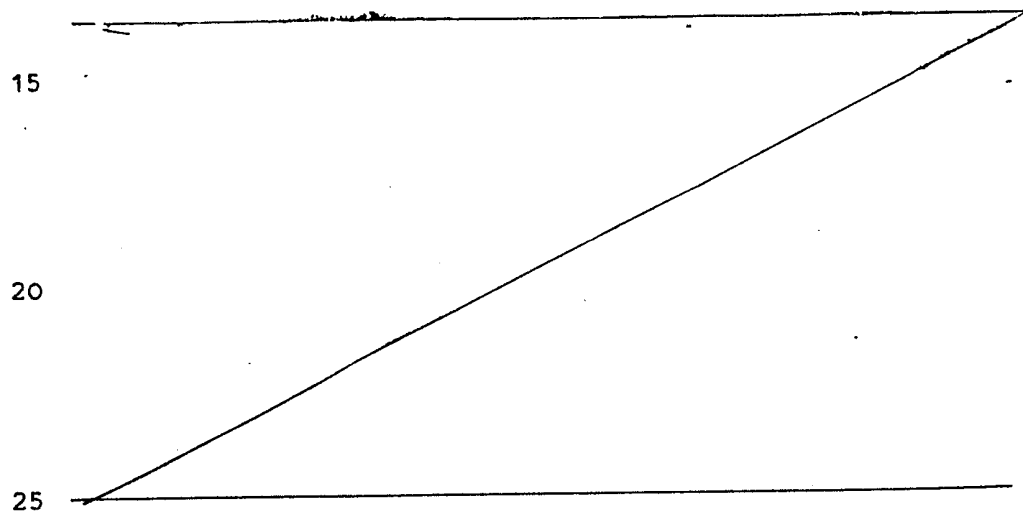
fonction de la longueur de l'élément de câble de fils d'acier 10.

L'intégration de l'équation (12) sur une longueur de l'élément de câble de fils d'acier comprise 5 entre les emplacements  $l_1$  et  $l_2$  donne la relation suivante :

$$B_a(l_2) - B_a(l_1) = \frac{2\pi R}{A} \int_{l_1}^{l_2} B_r(l) dl \quad (13)$$

10 qui peut s'exprimer sous la forme :

$$\phi_a(l_2) - \phi_a(l_1) = \Delta \phi_a = \Delta \phi_t = \frac{2\pi R}{A} \int_{l_1}^{l_2} B_r(l) dl \quad (14)$$



L'interprétation que l'on peut faire de l'équation (14) est qu'une variation du flux axial entre deux points quelconques pris sur la longueur du cylindre magnétique est égale à la variation du flux radial qui 30 passe dans le cylindre entre ces deux points. Cette relation est juste, non seulement dans le cas d'une surface radiale qui a un rayon constant  $R$ , mais également dans le cas de toute surface, quelle que soit la forme de sa circonférence, étant entendu que  $B_r$  est 35 défini comme étant normal à la surface circonférentielle

sur toute sa longueur circonférentielle.

L'équation (7) montre que la variation du flux traversant la bobine 12 dépend d'une variation de surface quelconque de l'élément de câble de fils d'acier 5 10, et l'équation (14) montre que la variation de flux peut être mesurée par un procédé comprenant l'intégration de la densité de flux radial. Ces deux équations peuvent être combinées pour donner la relation suivante :

$$10 \quad \Delta A = \frac{2\pi R}{B_a} \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} B_r(\ell) d\ell \quad (15)$$

La figure 2 représente une vue latérale en coupe 15 transversale d'une tête de magnétisation 14 du genre décrit dans le brevet sud-africain N° 87/1964. Cette tête comporte un pôle nord central 16 et deux pôles sud externes respectivement 18 et 20. Des empilages d'aimants permanents 22 et 24 sont respectivement positionnés 20 sur des gabarits, entre les faces opposées de paires de pôles.

Les empilements d'aimants et les pièces polaires sont placés circonférentiellement sur un gabarit 21 qui procure un passage axial dans la tête de magnétisation, 25 destiné à un câble 28 à contrôler.

Au-dessus du dessin de la tête magnétique 14 se trouve un graphique 30 qui représente la variation de la densité de flux B dans le câble de fils d'acier (28), et un graphique 32 qui décrit la variation du gradient de densité de flux dans le câble dans chaque cas en fonction 30 de la position axiale à l'intérieur de la tête. Aux emplacements  $\ell_1$ ,  $\ell_2$ ,  $\ell_3$  et  $\ell_4$ , la courbe 32 passe par des valeurs nulles. La courbe 30 a une valeur nulle à l'emplacement  $\ell_5$  qui correspond approximativement à la position 35 centrale du pôle nord, ainsi qu'aux emplacements

$l_1$  et  $l_4$ . Les valeurs maximum de densité de flux se rencontrent, dans le sens négatif en  $l_2$ , et dans le sens positif en  $l_3$ .

Différents points importants des courbes 30 et 5 32 sont désignés par les lettres de référence a à g.

En utilisant l'équation (14) et en effectuant dans chaque cas l'intégration entre les emplacements  $l_1$  et  $l_2$ ,  $l_2$  et  $l_3$ , ainsi que  $l_3$  et  $l_4$ , on obtient les expressions suivantes :

10

$$-B_r A = -2\pi R \int_{l_1}^{l_2} B_r(l) dl$$

$$= -2\pi R \text{ (surface sous la courbe abc)} \quad (16)$$

15

$$-B_r A - B_m A = -2\pi R \int_{l_2}^{l_3} B_r(l) dl$$

$$= -2\pi R \text{ (surface sur la courbe cde)} \quad (17)$$

20

$$B_m A = 2\pi R \int_{l_3}^{l_4} B_r(l) dl$$

$$= 2\pi R \text{ (surface sous la courbe efg)} \quad (18).$$

25

L'équation (18), par exemple, est une expression du flux radial net qui pénètre dans la surface circonférentielle du câble entre les emplacements  $l_3$  et  $l_4$ .

La figure 3 décrit une bobine en forme de selle 34 qui présente des premiers et des seconds enroulements 30 semi-circonférentiels respectivement 36 et 38, et une bobine en forme de selle 40 qui présente des enroulements semi-circonférentiels respectivement 42 et 44. Les enroulements semi-circonférentiels 36 et 42 sont positionnés à des emplacements axiaux qui coïncident, 35 mais sur des côtés opposés du câble, tandis que les

enroulements semi-circonférentiels 38 et 44 sont positionnés de façon similaire dans des fentes créées dans le gabarit à l'emplacement  $l_4$  de la tête de magnétisation 14. Comme on l'a remarqué à ces emplacements, les densités de flux correspondantes sont  $B_m$  et 0. Les points A à H et J à N, P, Q et R sont marqués sur les enroulements.

Si la densité de flux radial  $B_r$  est constante autour de la circonférence du cylindre qui coïncide avec les surfaces de la bobine, qui a un rayon R et qui est seulement fonction de la longueur axiale  $l$ , alors le flux radial traversant la bobine en forme de selle supérieure 34 est :

$$\phi_{34} = \text{longueur BCD} \int_{l_3}^{l_4} B_r(l) dl \quad (19)$$

15

Si la corde 28 se déplace axialement au-delà de cette bobine avec une vitesse  $v$ , la tension  $V_{AH}$  induite entre les bornes A et H est :

20

$$V_{AH}(t) = -N \frac{d\phi_{34}}{dt} \quad (20)$$

expression dans laquelle N est le nombre de tours de spires 34. L'équation 20 peut être transcrite sous la forme :

25

$$V_{AH}(t) = -N \frac{dl}{dt} \frac{d\phi_{34}}{dl} \quad (21)$$

La vitesse du câble  $v$  est donnée par l'expression :

30

$$v = \frac{dl}{dt} \quad (22)$$

et en substituant cette expression, et l'équation (19) dans l'équation (21), on obtient la tension induite, en

35

fonction de la longueur de câble, sous la forme :

$$\begin{aligned}
 V_{AH}(\ell) &= - Nv \frac{d \phi_{34}}{d\ell} \\
 &= - Nv(\text{longueur BCD}) \frac{d}{d\ell} \int_{\ell_3}^{\ell_4} B_I(\ell) d\ell \quad (23)
 \end{aligned}$$

Grâce à une analyse similaire, la tension  $V_{JR}$  induite dans la bobine en forme de selle inférieure est donnée par l'expression :

$$V_{JR}(\ell) = - Nv(\text{longueur NPQ}) \frac{d}{d\ell} \int_{\ell_3}^{\ell_4} B_I(\ell) d\ell \quad (24)$$

La figure 3 montre H et J connectés l'un avec l'autre. La tension qui apparaît alors entre les bornes A et R résulte d'une addition et elle est donnée par l'expression :

$$V_{AR}(\ell) = - Nv(\text{longueur BCD} + \text{longueur NPQ}) \frac{d}{d\ell} \int_{\ell_3}^{\ell_4} B_I(\ell) d\ell \quad (25)$$

La figure 4 montre à partir d'un bout, c'est-à-dire en section transversale une situation idéale dans laquelle la longueur DE coïncide dans l'espace avec la longueur NM, et dans laquelle la longueur GH coïncide dans l'espace avec la longueur KJ. Dans ce cas idéal, on a l'expression :

$$(\text{longueur BCD} + \text{longueur NPQ}) = 2 \pi R$$

En utilisant cette expression et l'équation (18), l'équation (25) peut être transcrite sous la forme :

$$V_{AR}(\ell) = - Nv 2\pi R \frac{d}{d\ell} \left( \frac{B_m A}{2\pi R} \right) \quad (26)$$

A peut être extrait de l'équation (26) et exprimé sous la forme :

$$A(l) = \frac{-1}{NvB_m} \int V_{AR}(l) dl + A_0 \quad (27)$$

5

dans laquelle  $A_0$  est la valeur de  $A(l)$  pour  $l = 0$ .

L'équation (27) peut être utilisée en vue d'en tirer une expression des variations de la surface de section transversale du câble de fils d'acier 28, en fonction de la longueur, qui peut s'écrire comme suit :

$$\Delta A(l) = \frac{1}{NvB_m} \int V_{AR}(l) dl \quad (28)$$

15

Il résulte de l'équation (28) que les variations de la surface de section transversale des câbles de fils d'acier (28) peut être mesurée en intégrant la tension induite dans la paire de bobines en forme de selle 34 et 40, qui s'étendent entre les emplacements  $l_3$  et  $l_4$ , comme défini précédemment, et en utilisant la tête de magnétisation décrite dans le brevet sud-africain N° 87/1964. Cette tête magnétise toutes les parties du câble de fils d'acier de la manière montrée dans la figure 2, lorsque le câble traverse axialement la tête avec une vitesse  $v$ .

L'équation (28) a été déduite, comme on l'a fait remarquer, dans le cas idéal dans lequel les longueurs axiales des enroulements ED et GH coïncident avec les longueurs axiales des enroulements correspondants NM et KJ, pour que dans ces conditions, les tensions induites dans ces longueurs s'annulent l'une l'autre. Cependant, la tension qui est induite dans l'enroulement semi-circconférentiel BCD s'ajoute à la tension induite dans l'enroulement semi-circconférentiel NPQ et de façon

35

similaire la tension induite dans l'enroulement semi-circulaire EFG s'ajoute à la tension induite dans l'enroulement semi-circulaire KLM. Cependant, la première paire de tensions est en opposition avec la dernière paire de tensions. Ceci signifie qu'une paire de bobines en forme de selle opposées, du type décrit, dont les composantes axiales des enroulements coïncident dans l'espace sont équivalentes à deux bobines qui entourent complètement le câble, aux mêmes emplacements mais qui sont montées en série en opposition.

Il n'est naturellement pas possible de faire coïncider exactement dans l'espace les composantes axiales des enroulements des bobines. Les figures 5 à 7 représentent différentes possibilités.

En se référant tout d'abord à la figure 5, un intervalle  $g$ , qui est aussi faible que possible, existe entre les composantes axiales des enroulements de bobines en forme de selle. L'ensemble du flux radial existant entre les emplacements  $l_3$  et  $l_4$  n'est pas mesuré, mais seulement une proportion  $\frac{\pi R - g}{\pi R}$  de celui-ci.

$$\pi R$$

Si  $g \ll \pi R$  le facteur de correction qui doit être appliqué à l'équation (28) est :

$$\left(1 + \frac{g}{\pi R}\right)$$

et l'équation (28) peut être modifiée et lue comme

$$\text{suit } \Delta A(\ell) = \left(1 + \frac{g}{\pi R}\right) \frac{1}{N_m B_m} \int V_{AR}(\ell) d\ell \quad (29)$$

Les figures 6 et 7 représentent différentes approches dans lesquelles les composantes axiales des enroulements des bobines en forme de selle sont décalées de façon telle que vues de côté les composantes coïncident, mais que vues par le bout, comme montré dans le

dessin, les composantes ne sont pas en place. Dans chaque cas où le flux radial total existant entre les emplacements  $\ell_3$  et  $\ell_4$  se trouve mesuré, il n'est pas nécessaire d'appliquer un facteur de correction. Cependant, la construction du gabarit de bobine et des pôles de la tête d'essai magnétique s'en trouve compliquée.

Il faut faire ressortir que les bobines en forme de selle n'ont pas besoin d'être strictement semi-circulaires mais peuvent avoir n'importe quelle forme commode, 10 pourvu que les enroulements semi-circonférentiels soient radialement voisins les uns des autres.

Un autre point qu'il faut garder à l'esprit est que l'analyse précédente a été exécutée en référence aux emplacements  $\ell_3$  et  $\ell_4$ . Comme il est évident d'après les 15 équations (16) et (17), des analyses similaires peuvent être faites en ce qui concerne respectivement les emplacements  $\ell_1$  et  $\ell_2$ , ainsi que  $\ell_2$  et  $\ell_3$ .

Dans des conditions expérimentales, des paires de bobines en forme de selle comportant chacune 25 20 spires ont été enroulées dans des fentes appropriées du gabarit de bobine 26 de la tête de magnétisation d'essai 14 montrée dans la figure 2. Pour ces emplacements  $\ell_3$  et  $\ell_4$ , les densités de flux ont été :  $B_m = 2,29$  tesla, et respectivement  $O_i$ . On a utilisé un câble d'essai 28 de 25 38 mm de diamètre et de  $719 \text{ mm}^2$  de surface de section transversale. Ce câble est représenté dans la figure 8. Un changement de section artificiel de la surface de  $105,9 \text{ mm}^2$  et de 600 mm de long a été créé dans le câble d'essai en ajoutant des fils d'acier 46 placés axiale- 30 ment contre la surface extérieure du câble, comme montré. Le câble d'essai 28 avait approximativement 30 m de long et était tendu entre deux points d'ancrage avec une force de 10 tonnes. La tête d'essai 14 a été fixée autour du câble et a été déplacée axialement le long du 35 câble avec une vitesse constante de 4 mètres/seconde, au

moyen d'un système de poulies.

On a utilisé un système de mesure représenté schématiquement dans la figure 9 qui décrit les bobines en forme de selle 34 et 40 connectées l'une à l'autre  
5 comme expliqué en référence à la figure 3, un intégrateur 48, un amplificateur 50 et un enregistreur 52. L'insertion d'un amplificateur est optionnelle et dépend du nombre de spires des bobines et de la sensibilité de l'enregistreur 52. La courbe de la figure 10 représente  
10 le signal de sortie des bobines en forme de selle et montre une première crête de tension au début de la modification artificielle de surface, et une seconde crête de tension à la fin de la modification de surface, et elle démontre l'efficacité des principes ainsi  
15 matérialisés. Il faut noter que cette courbe provient de l'utilisation d'emplacements de mesure qui correspondent à l'équation (16). Une courbe similaire provient de l'utilisation d'emplacements qui correspondent à l'équation (18).

20 La courbe représentée dans la figure 11 provient de l'utilisation d'un intégrateur numérique en vue de l'intégration du signal de sortie des bobines en forme de selle pour une variation de surface de  $35 \text{ mm}^2$ , portant sur le câble mentionné précédemment, qui représente  
25 4,9 % de la surface de section transversale du câble. Cette courbe s'applique également aux emplacements de mesure associés aux équations (16) ou (18). Les courbes des figures 12 et 13 sont basées sur les emplacements de mesure associés à l'équation 17. La figure 12 représente  
30 les crêtes provenant des bobines en forme de selle, et la figure 13 leur intégration, pour une variation de la surface de section transversale du câble, de 4,9 %.

L'utilisation de deux bobines en forme de selle qui sont construites de façon à être phiquement aussi  
35 semblables que possible et qui sont mises en place

idéalement selon les critères cités précédemment, élimine dans une large mesure les effets de bruit ou d'autres facteurs qui ont un effet courant sur les deux bobines, par exemple le flux parasite qui pourrait traverser les deux bobines. Le signal de sortie des bobines combinées est de ce fait, de façon idéale, représentatif uniquement des variations de la surface de section transversale. Néanmoins, malgré toutes les précautions, il n'est pas possible d'égaliser les bobines de façon à ce que les signaux induits chez elles soient exactement égaux. La disposition représentée dans la figure 14 peut être utilisée pour améliorer l'égalisation des bobines. Cette figure montre les deux bobines 34 et 40 connectées entre elles en parallèle, le point de connexion étant cependant mis à la terre. Une résistance 54 à branchement variable 56 est montée entre les bornes des bobines. Le réglage du branchement sur un point nul peut, dans de nombreux cas, améliorer le rapport signal/bruit du signal de sortie, qui représente de façon plus précise les variations de section transversales du câble.

Le circuit de réduction de bruit 14 a un effet marqué sur la sensibilité de l'appareil de l'invention. Ceci ressort de la courbe de la figure 15 qui est basée sur l'équation 17 et qui, de ce fait, correspond à la courbe de la figure 13, mais qui est obtenue pour une variation de surface de  $10,6 \text{ mm}^2$  qui représente 1,5 % de la surface de la section transversale du câble.

Le graphique de la figure 16 représente la variation de flux mesurée, en fonction de  $\Delta A$  (variation de la surface de section transversale, pour le câble mentionné plus haut. Des variations fractionnaires sont nettement détectables et il existe une relation linéaire.

L'invention a été décrite en référence à un câble de fils d'acier. Il est clair que les principes de

celle-ci peuvent être appliqués à l'essai d'objets de grande longueur tels que des cylindres, des tubes, des tiges et similaires.

5

10

15

20

25

30

35

REVENDEICATIONS

1. Procédé de détection des variations de la surface de section transversale d'un objet de grande longueur (28), comportant l'opération de magnétisation axiale de l'objet et étant caractérisé en ce qu'il comporte l'opération consistant à détecter les variations du flux magnétique axial dans l'objet, qui peuvent être attribuées à des variations de la section transversale.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les variations du flux magnétique axial sont détectées en mesurant les variations du flux magnétique radial émanant de l'objet ou reçu par celui-ci.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les variations du flux magnétique axial sont mesurées en utilisant au moins deux bobines en forme de selle (34, 40) placées respectivement sur des côtés opposés de l'objet de grande longueur.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'objet est magnétisé axialement dans des sens opposés sur deux segments et que les bobines en forme de selle traversent dans le sens axial au moins une zone de l'objet dans laquelle le flux magnétique passe de 0 à une valeur maximum.
5. Appareil destiné à détecter les variations de la surface de section transversale d'un objet de grande longueur (28), lequel comprend une tête de magnétisation (14) destinée à créer un premier champ magnétique, et au moins un second champ magnétique qui est adjacent au premier champ magnétique, les deux champs magnétiques étant dirigés respectivement dans des sens opposés, un passage (26) étant ménagé pour l'objet, lequel permet à l'objet de se déplacer dans le sens axial dans le premier champ magnétique et dans le second champ magnétique, l'objet étant de ce fait magnétisé dans des sens

axiaux opposés par le premier champ magnétique et respectivement par le second champ magnétique, lequel appareil est caractérisé en ce qu'au moins deux bobines en forme de selle (34, 40) sont positionnées en face  
5 l'une de l'autre sur des côtés opposés du passage, chaque bobine en forme de selle comportant au moins un premier et un second enroulement semi-circonférentiel (36, 38 ; 42, 44) qui sont positionnés axialement à l'écart les uns des autres, et des moyens (48, 50, 52)  
10 de détection de la tension induite dans les bobines en forme de selle, qui peut être attribuée à une variation de la surface de section transversale de l'objet.

6. Appareil selon la revendication 5, caractérisé en ce que les enroulements semi-circonférentiels  
15 opposés (36, 38 ; 42, 44) des bobines en forme de selle respectives sont positionnés à un emplacement où la densité de flux magnétique de l'objet est à une valeur maximum ( $\ell_2$ ,  $\ell_3$ ) et que les autres enroulements semi-circonférentiels sont positionnés à des emplacements  
20 ( $\ell_1$ ,  $\ell_4$ ,  $\ell_5$ ) où la densité de flux magnétique dans l'objet est nulle.

7. Appareil selon la revendication 5, caractérisé en ce que les deux paires opposées d'enroulements semi-circonférentiels sont positionnées à des emplace-  
25 ments ( $\ell_2$ ,  $\ell_3$ ) où la densité de flux magnétique dans l'objet est à une valeur maximum dans un sens, et respectivement à une valeur maximum dans le sens opposé.

8. Appareil selon les revendications 5, 6 ou 7, caractérisé en ce que les bobines en forme de selle (34,  
30 40) sont connectées entre elles de façon à éliminer ou à réduire le bruit ou les autres facteurs qui sont communs aux deux bobines et de façon à ce que la tension nette induite dans les deux bobines en forme de selle, qui peut être attribuée sensiblement uniquement à des va-  
35 riations de la surface de section transversale de

l'objet, puisse être captée.

9. Appareil selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que chaque bobine en forme de selle comporte une pluralité de spires.

5           10. Appareil selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen intégrateur (48) destiné à intégrer la tension induite dans les bobines en forme de selle par rapport au temps, ou par rapport à la distance axiale, pour  
10 obtenir une mesure des variations de la surface de section transversale.

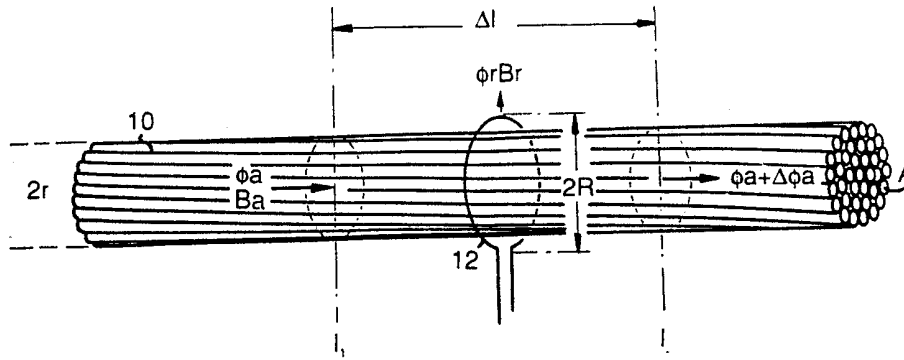
11. Appareil selon l'une quelconque des revendications 5 à 10, caractérisé en ce que les bobines en forme de selle sont reliées par un pont qui peut être  
15 réglé en vue de compenser le bruit qui peut être induit dans les bobines.

12. Appareil selon l'une quelconque des revendications 5 à 11, caractérisé en ce que le passage destiné à l'objet est défini par un gabarit (26) qui  
20 s'étend dans la tête de magnétisation et que les bobines en forme de selle sont montées sur ce gabarit.

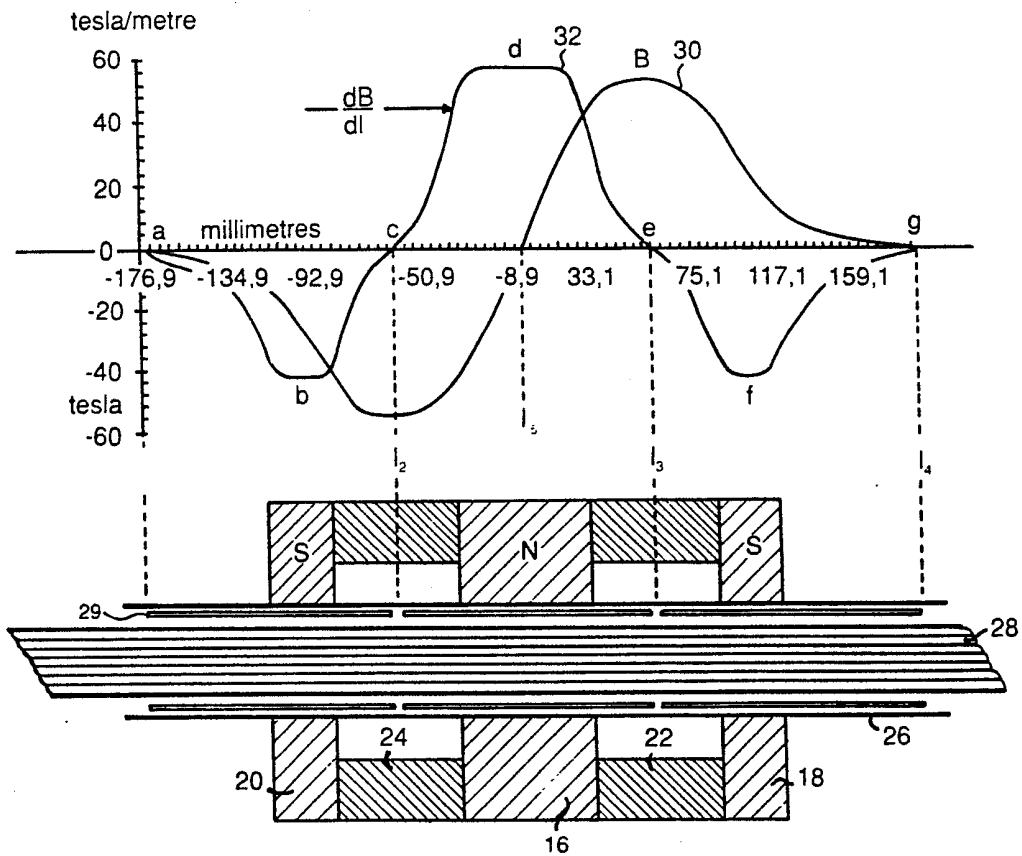
13. Appareil selon l'une quelconque des revendications 5 à 12, caractérisé en ce que la tête de magnétisation comprend un pôle interne (16) d'une  
25 première polarité, et deux pôles externes (18, 20) d'une seconde polarité qui est opposée à la première polarité, et des empilements d'aimants permanents (22, 24) situés entre le pôle interne et respectivement les deux pôles externes.

30

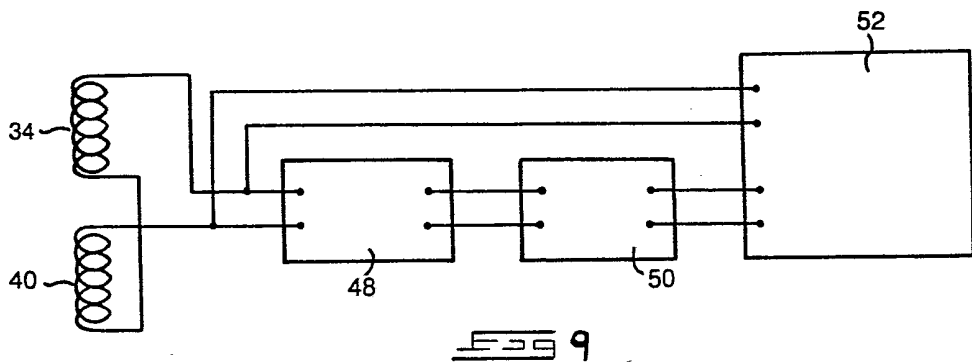
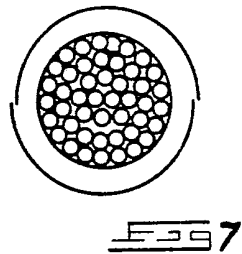
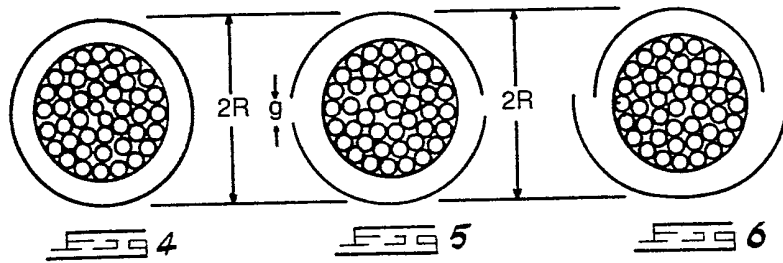
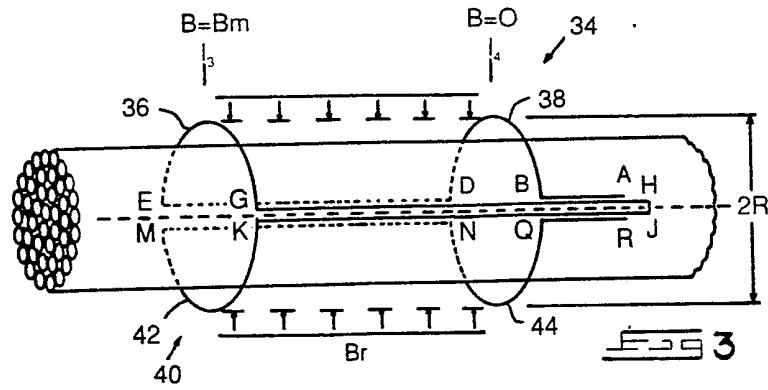
35



ESB 1



ESB 2



30 fils d'acier X 2,12mm de diamètre chaque.

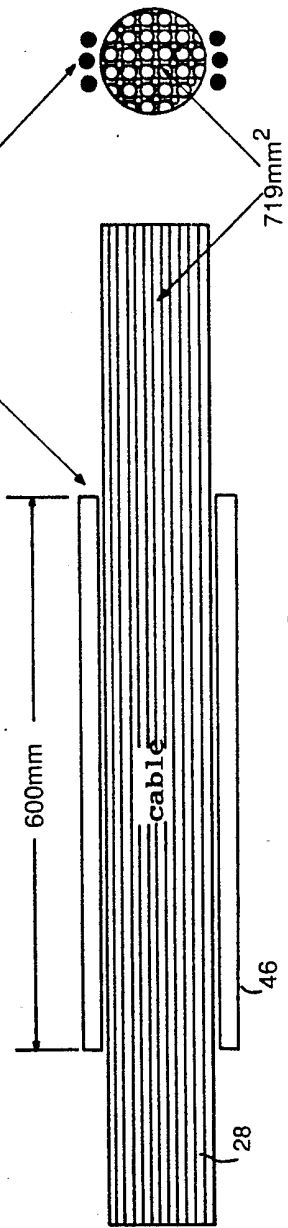


Fig 8

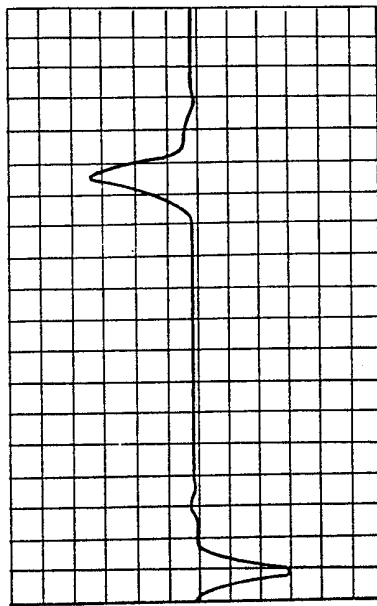


Fig 10

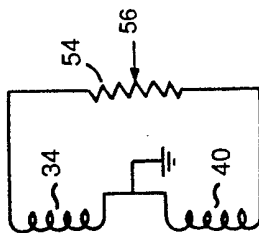


Fig 14

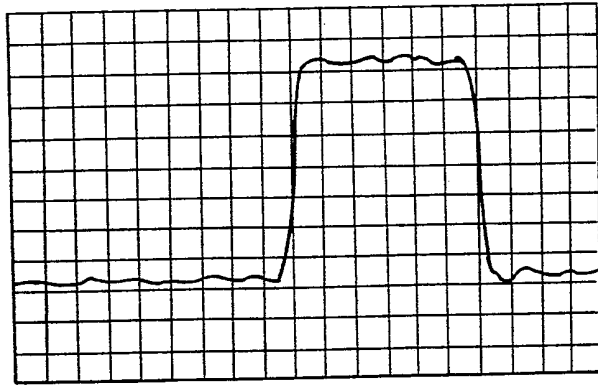


FIG 11

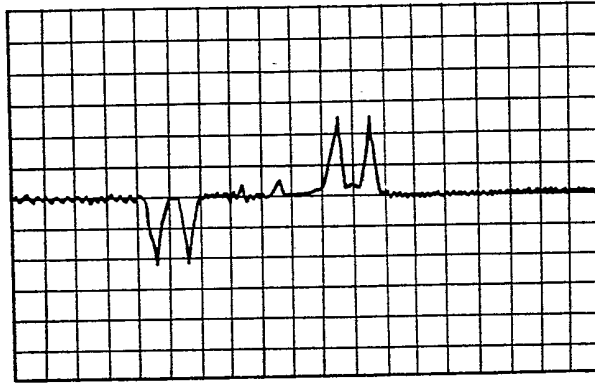


FIG 12

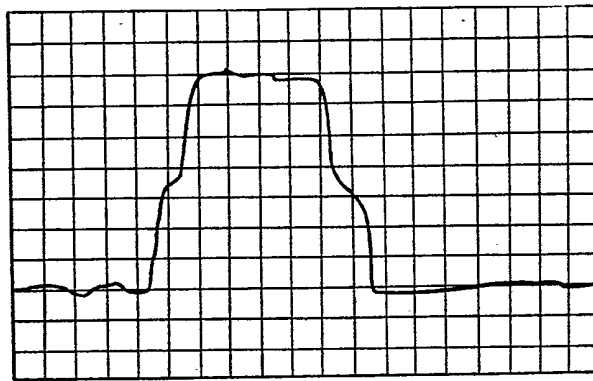


FIG 13

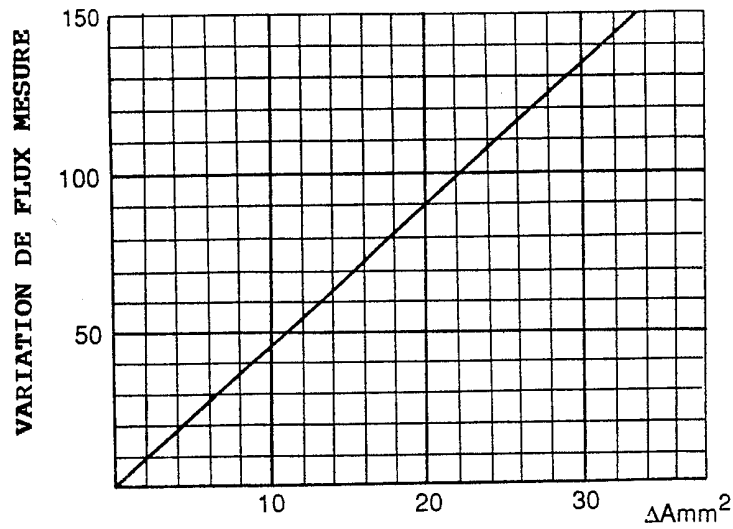


FIG 16

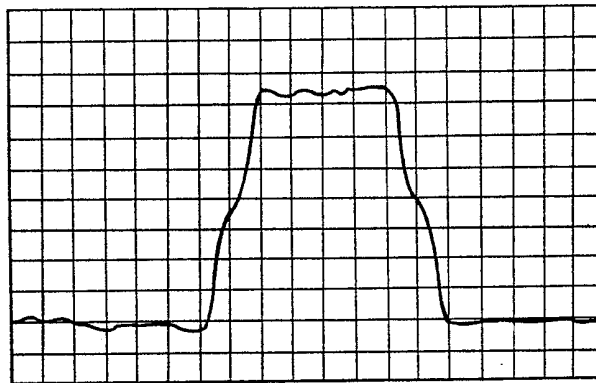


FIG 15