

CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

11 CH 685214 A5

51 Int. Cl.⁶: G 01 D 5/24

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

12 FASCICULE DU BREVET A5

21 Numéro de la demande: 3017/91

22 Date de dépôt: 15.10.1991

24 Brevet délivré le: 28.04.1995

45 Fascicule du brevet
publié le: 28.04.1995

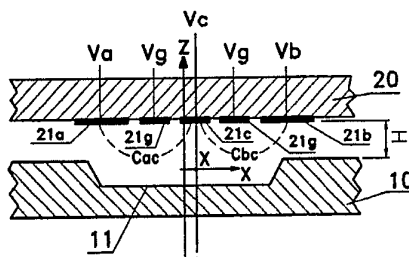
73 Titulaire(s):
Hans Ulrich Meyer, Morges

72 Inventeur(s):
Meyer, Hans Ulrich, Morges

74 Mandataire:
Pierre Ardin & Cie, Genève 1

54 Capteur capacitif de position.

57 Le capteur capacitif de position comprend une règle (10) présentant des éléments topographiques (11) en creux ou en élévation, et un curseur (20) muni d'un réseau d'électrodes comprenant au moins deux électrodes émettrices (21a, 21b), au moins une électrode réceptrice (21c) séparées par des électrodes de blindage (21g). Les capacités de couplage (C_{ac} , C_{bc}) entre les électrodes émettrices et réceptrices sur le curseur (20) sont modifiées en fonction de la position (X) de l'élément topographique (11) de la règle par rapport au curseur et l'évaluation de la variation de signaux couplés sur l'électrode réceptrice permet une mesure précise du déplacement relatif entre la règle et le curseur.



Description

La présente invention concerne un capteur capacitif de position comprenant un curseur et une règle séparés l'un de l'autre par une distance prédéterminée et susceptibles d'être déplacés l'un par rapport à l'autre suivant au moins une direction de mesure, le curseur comportant des électrodes dont au moins deux électrodes émettrices et au moins une électrode réceptrice et des premiers moyens pour générer des signaux électriques appliqués sur les électrodes émettrices et des seconds moyens pour évaluer les signaux reçus par l'électrode réceptrice de façon à déterminer la position relative du curseur et de la règle.

Plusieurs réalisations de tels capteurs capacitifs de position sont connues. Certaines d'entre elles, surtout destinées à des systèmes de détermination de positions à deux coordonnées, utilisés par exemple comme périphériques d'ordinateurs, utilisent en tant que règles des réseaux de fils conducteurs noyés dans une tablette et excités par des signaux électriques, lesdits signaux étant détectés par une électrode réceptrice incorporée dans le curseur. Celui-ci peut être un «crayon» ou un pointeur, comme décrit dans le brevet US N° 3 342 935. Principalement, à cause de la complexité de ces réseaux de fils, de tels périphériques sont trop onéreux pour être compétitifs dans des applications où des pointeurs plus simples, tels des souris, suffisent.

D'autres réalisations de capteurs capacitifs, destinés avant tout à des instruments de mesure de longueurs ou d'angles, comme des pieds à coulisse, micromètres, comparateurs à cadran, codeurs rotatifs, utilisent une règle comportant un réseau d'électrodes flottantes, c'est-à-dire complètement isolées électriquement, en regard d'un curseur ayant des électrodes émettrices et réceptrices. Un tel capteur capacitif est décrit dans le brevet US N° 3 961 318. Ces électrodes flottantes éliminent les connexions électriques entre la règle et le curseur. Mais il reste des inconvénients. La règle ne peut être homogène, puisqu'il faut un substrat isolant sous les électrodes conductrices. Les couplages entre électrodes flottantes voisines, ainsi que la conductivité à la surface de la règle engendrée par l'humidité, dégradent les performances. De plus, ces électrodes flottantes s'étendent au travers de l'axe de mesure, puisqu'elles ont deux fonctions clairement séparées, l'une de couplage aux électrodes émettrices, l'autre de retransmission du signal reçu vers les électrodes réceptrices. L'étendue, en travers de l'axe de mesure, qui en résulte pour implémenter ces deux fonctions spatialement séparées empêche l'extension d'un tel système de mesure à une deuxième dimension.

La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients et elle est caractérisée à cet effet en ce que la règle comprend au moins un élément topographique en creux ou en élévation, lesdits seconds moyens étant agencés de façon à évaluer des signaux couplés des électrodes émettrices à l'électrode réceptrice sur le curseur, l'élément topographique de la règle étant conformé de façon à influencer lesdits signaux couplés sur le curseur en modifiant les capacités de couplage entre lesdites électrodes lorsque le curseur et la règle sont déplacés l'un par rapport à l'autre suivant la direction de mesure.

Par cette disposition, on peut obtenir un capteur précis, d'une fabrication simple et d'un coût de revient peu élevé. L'invention permet une extension aisée à des mesures à deux dimensions.

De préférence, la règle comprend plusieurs éléments topographiques en creux ou en élévation alignés suivant au moins une direction de mesure de façon, à former un relief périodique, d'une certaine période, le curseur comportant au moins une rangée d'électrodes arrangées suivant cette direction de mesure et des moyens de commutation permettant de relier entre autres les électrodes émettrices à au moins deux signaux électriques suivant un arrangement périodique.

Ces caractéristiques permettent d'obtenir des règles de toute dimension, très précises et peu coûteuses.

Selon un mode avantageux, les moyens de commutation sont agencés de façon à relier suivant un ordre prédéterminé chaque électrode de la rangée d'électrodes à l'un des signaux alternatifs, à l'une des entrées d'un amplificateur, ou à un potentiel de masse de manière à obtenir une distribution de signaux correspondant à la période dudit relief périodique ou à un multiple de cette période, ces moyens de commutation permettant de déplacer ladite distribution le long de la rangée d'électrodes.

Cette construction assure des règles d'un faible encombrement susceptible de trouver des applications dans de très nombreux domaines de mesure et permet d'avoir un curseur présentant un réseau d'électrodes uniforme donc de fabrication aisée et d'une largeur minimale.

Selon un mode d'exécution préféré, le curseur comprend deux rangées d'électrodes émettrices identiques alignées suivant une direction de mesure et deux électrodes réceptrices disposées parallèlement à chacune desdites rangées d'électrodes émettrices, les moyens de commutation étant agencés de façon à appliquer aux électrodes émettrices des deux rangées des distributions de signaux pareilles l'une à l'autre mais avec des polarités opposées, ces moyens de commutation permettant de déplacer les distributions de signaux le long des rangées, chacune des électrodes réceptrices étant connectée à une entrée de l'amplificateur différentiel.

Ce mode permet d'obtenir un capteur présentant un circuit de commutation simple et qui permet un arrangement des électrodes réceptrices, des seconds moyens pour évaluer les signaux reçus et de leurs interconnexions faciles à isoler de couplages néfastes. La sensibilité de mesure est donc grandement améliorée par cette disposition des électrodes du curseur. Par contre, la sensibilité aux influences néfastes est fortement réduite.

Dans une variante avantageuse, la règle comprend des éléments topographiques en creux ou en élévation formant deux reliefs périodiques suivant une première et seconde direction de mesure orthogonale.

Les règles de ce type sont facile à fabriquer et permettent d'obtenir des mesures précises suivant deux dimensions.

D'autres avantages ressortent des caractéristiques exprimées dans les revendications dépendantes et de la description exposant ci-après l'invention plus en détail à l'aide des dessins qui représentent, schématiquement et à titre d'exemple, plusieurs modes d'exécution et variantes.

La fig. 1 illustre un premier mode d'exécution de l'invention.

La fig. 2a est une vue en coupe partielle de ce premier mode d'exécution.

La fig. 2b montre la capacité différentielle de ce mode d'exécution en fonction du décalage x entre le curseur et la règle.

La fig. 3a représente un mode d'exécution annulaire.

La fig. 3b montre la capacité différentielle de ce mode d'exécution en fonction du décalage entre le curseur et la règle.

La fig. 4 représente l'arrangement des électrodes du curseur d'un troisième mode d'exécution et en superposition le contour d'un élément topographique de la règle.

Les fig. 5 et 6 sont des vues en perspective d'un quatrième et cinquième mode d'exécution.

La fig. 7a illustre en perspective un circuit intégré servant de curseur.

La fig. 7b est une vue en coupe d'un circuit intégré servant de curseur et maintenu sur un porteur par ses connexions.

La fig. 7c montre en perspective un curseur dont le plan des électrodes est orthogonal à celui du relief de la règle.

La fig. 8a montre une règle linéaire en relief recouverte d'un diélectrique.

La fig. 8b représente une règle linéaire consistant en une crémaillère cylindrique.

La fig. 8c montre une règle circonférentielle sur le pourtour d'un pignon.

La fig. 8d montre une règle circonférentielle estampée ou gravée dans une plaque mince.

La fig. 8e montre une règle linéaire et/ou circonférentielle consistant en une vis micrométrique en vue latérale et coupe.

La fig. 9a représente une règle bi-dimensionnelle dont le relief consiste en deux réseaux de rainures orthogonales.

La fig. 9b illustre une règle bi-dimensionnelle consistant en une plaque diélectrique munie d'un relief sur la face opposée aux curseurs.

Un capteur typique conforme à l'invention est esquissé à la fig. 1. Il comporte une règle 10 présentant un élément topographique 11 en creux formant un relief et un curseur 20 ayant des électrodes 21. L'écart H entre la règle et le curseur reste constant lors de déplacements entre eux. Pour plus de clarté, un référentiel xyz est montré: x et y définissent le plan localement tangent au relief 11 de la règle 10, z lui étant perpendiculaire. La fig. 1 montre un relief périodique 11 de la règle 10 le long de l'axe x , et un réseau périodique d'électrodes 21 s'étendant également dans la direction x du curseur 20. Par conséquent, le relief 11 va influencer les capacités entre les électrodes 21 en fonction de la position X du curseur 20 le long de l'axe X . Bien entendu d'autres paramètres comme l'écart H entre la règle 10 et le curseur 20, le matériel de la règle 10 et la forme du relief 11, influencent aussi ces capacités entre électrodes. Il faut donc choisir les configurations d'électrodes et les méthodes de mesure qui minimisent l'influence de ces autres paramètres.

Conformément à l'invention, ceci est fait en combinant les électrodes 21 du curseur 20 de manière à former un ou plusieurs condensateurs différentiels mesurant la différence entre deux capacités de couplage. La fig. 2a montre en coupe (dans le plan xz) une telle configuration comprenant deux électrodes émettrices 21a, 21b et une électrode réceptrice 21c, toutes de forme rectangulaire, ce qui ne ressort pas de la fig. 2a puisqu'elles sont dans un plan perpendiculaire au plan xz . Les électrodes émettrices 21a et 21b, de même taille, sont reliées respectivement aux signaux alternatifs V_a et V_b de même amplitude et fréquence, mais de polarités opposées. L'électrode réceptrice 21c est équidistante des électrodes émettrices 21a, 21b et séparée d'elles par des électrodes de blindage 21g de même forme et taille reliées à un potentiel de blindage V_g qui peut être la masse et/ou un des pôles de la batterie ou de l'alimentation, afin d'empêcher des couplages parasites. En l'absence de relief de la règle les deux capacités de couplage C_{ac} entre l'électrode émettrice 21a et l'électrode réceptrice 21c et C_{bc} entre l'électrode émettrice 21b et l'électrode réceptrice 21c étant égales, les signaux couplés à l'électrode réceptrice 21c, égaux mais de polarités opposées, se compenseraient, donc le signal V_c sur l'électrode réceptrice serait nul. Si un élément du relief 11, un creux dans la fig. 2a, se trouve exactement en face de l'électrode réceptrice 21c, les deux capacités de couplage C_{ac} et C_{bc} entre électrodes émettrices et réceptrices restent aussi égales puisqu'elles sont également influencées par le relief: le signal couplé sur l'électrode réceptrice 21c restera donc nul, et ceci quel que soit l'écart H entre la règle 10 et le curseur 20. Si l'élément du relief 11 n'est pas exactement en face de l'électrode 21c, mais décalé d'une faible distance X sur l'axe x , les capacités de couplage C_{ac} et C_{bc} ne seront plus équilibrées et un si-

gnal alternatif d'amplitude proportionnelle à la capacité différentielle (Cac-Cbc) apparaîtra sur l'électrode réceptrice 21c. La fig. 2b montre cette capacité différentielle en fonction du décalage X du curseur. La courbe en trait continu correspond à une règle 10 conductrice, celle en pointillé à une règle 10 constituée en un matériau d'électrique. Si, par exemple, le curseur 20 est légèrement décalé à droite ($X > 0$), la présence de la règle conductrice cachera davantage l'électrode émettrice 21b, résultant en une capacité différentielle (Cac-Cbc) positive. Par contre, une règle diélectrique augmentera davantage le couplage de l'électrode émettrice 21b à l'électrode réceptrice 21c, résultant en une capacité différentielle (Cac-Cbc) négative pour le même décalage du curseur ($X > 0$). Si l'élément du relief 11 n'avait pas été un creux, tel que le montre la fig. 2a, mais une bosse, la capacité différentielle aurait eu le signe opposé au cas décrits ci-dessus. Dans tous les cas, le capteur décrit est très sensible aux déplacements selon x, mais insensible au premier degré à ceux selon y et z, en tous cas pour de faibles écarts de la position d'équilibre ($X = 0$) où la capacité différentielle (Cac-Cbc) est nulle.

Les électrodes de blindage 21g limitent les couplages entre les électrodes émettrices 21a, 21b et réceptrice 21c à la région sise entre la règle 10 et le curseur 20. Si le curseur 20 est un diélectrique, tel qu'un circuit imprimé ou un substrat en verre ou en céramique, il peut être nécessaire de mettre une électrode de blindage additionnelle sur le dos du curseur, afin de supprimer tout couplage par ledit diélectrique. Si le curseur 20 consiste en un circuit intégré sur un substrat semi-conducteur, les électrodes ne sont isolées du substrat que par une mince couche d'oxyde, et le substrat peut être dopé afin d'être assez conducteur pour tenir lieu d'électrode de blindage, si nécessaire.

L'application pratique de la configuration d'électrodes de la fig. 2a se limite à la mesure de faibles déplacements ou à la détection de positions déterminées, telles que des références absolues placées sur des règles incrémentales: à cause de sa périodicité, une règle incrémentale ne permet une mesure absolue que dans l'intervalle d'une période. Une interruption de courant, une vitesse de déplacement excessive ou une perturbation peuvent provoquer une erreur de la position affichée égale à un nombre entier de périodes. Les références absolues permettent de déterminer grossièrement dans quel intervalle d'une période le curseur se trouve, donc d'éviter ou au moins de détecter les erreurs de position. Une référence absolue doit donner un signal «vrai» dans un intervalle limité, et un signal «faux» ailleurs.

La fig. 3a montre en coupe un tel capteur susceptible de servir d'élément de référence. L'élément de relief 311 de la règle 310 et les électrodes du curseur 320 ont un axe de symétrie (z) lorsqu'ils sont face à face. Les électrodes 321b, g, c, g, a forment des anneaux concentriques sur la surface du curseur, l'électrode réceptrice 321c étant située entre les électrodes émettrices 321a, 321b reliées aux signaux alternatifs Va, Vb et séparées d'elles par des électrodes de blindage 321g, reliées au potentiel de blindage Vg. L'élément de relief 311 servant de référence présente également un périmètre circulaire, et est creux dans la fig. 3a, la règle étant supposée conductrice. La capacité différentielle (Cac-Cbc) sera alors positive lorsque le curseur de trouve en face de l'élément en creux du relief 311 et négative si cela n'est pas le cas: la fig. 3b montre la capacité différentielle (Cac-Cbc) en fonction de la distance r dans le plan xy entre élément du relief 311 et curseur 320. Pour éviter le risque de signaux ambigus dus au retour à zéro de la capacité différentielle pour des distances r assez grandes, on peut augmenter la surface de l'électrode 321b ou la rapprocher de l'électrode réceptrice 321c. Ce capteur peut être utilisé dans deux dimensions. Une application possible consiste en une règle dont les éléments du relief sont périodiques selon x et y et en un curseur ayant plusieurs ensembles d'électrodes concentriques 321b, g, c, g, a également disposés périodiquement selon x et y, les périodes de la règle et du curseur étant légèrement différentes, donnant lieu ainsi à un «vernier» bi-dimensionnel permettant de réduire la position (X, Y) du curseur de la distribution des états «vrai» ou «faux» mesurés sur chaque ensemble d'électrodes 321b, g, c, g, a. Enfin, si l'on veut utiliser le capteur de la fig. 3a comme référence absolue le long d'un axe, une forme rectangulaire des électrodes sera peut-être plus optimale, mais le principe de mesure restera le même.

Les capteurs décrits ci-dessus peuvent être perturbés par des différences de potentiel entre règle et curseur, dues par exemple à des boucles de masse, à des charges statiques ou à la proximité de sources de bruit électrique, ceci malgré le fait que le signal provenant des électrodes émettrices a une forme d'onde et de fréquence connues, ce qui permet de le filtrer sélectivement.

Un curseur ayant un arrangement d'électrodes tel que représenté à la fig. 4 et décrit ci-après permet de réduire l'effet de ces perturbations d'au moins un ordre de grandeur, essentiellement par la présence, le long de l'électrode réceptrice 421c, d'une seconde électrode réceptrice 421d servant de référence ou d'électrode différentielle. Les électrodes réceptrices 421c et 421d sont connectées respectivement aux entrées 422c et 422d d'un amplificateur différentiel 422. Les électrodes émettrices 421a, 421b se trouvent disposées le long de l'électrode réceptrice 421c, la seconde électrode réceptrice 421d étant donc plus éloignée de celles-ci. Une électrode de blindage 421g sépare les électrodes émettrices 421a, 421b des électrodes réceptrices 421c, 421d. Les électrodes émettrices 421a, 421b étant respectivement connectées à des signaux alternatifs Va, Vb de même amplitude et fréquence, et de polarités opposées, un signal alternatif non nul sera capté par l'électrode réceptrice 421c, respectivement 421d, si l'élément du relief 411 de la règle 10 se trouvant en regard des électrodes 421 provoque des capacités différentielles (Cac-Cbc), respectivement (Cad-Cbd) non nulles. Le signal capté par l'électrode 421c sera plus fort que celui capté par l'électrode 421d, plus éloignée des électrodes émettrices 421a, 421b.

La capacité entre deux électrodes allongées parallèles sises sur un plan conducteur décroît à peu près comme le carré de leur écartement, et la présence d'un autre plan conducteur représenté ici par la règle crée une atténuation supplémentaire qui fait que cette capacité décroît alors selon une loi exponentielle. Il est donc possible d'avoir une séparation très faible entre les électrodes réceptrices 421c et 421d tout en gardant une forte différence d'amplitude entre les signaux captés par celles-ci. Un tel arrangement sera donc sensible aux signaux des électrodes émettrices 421a, 421b puisqu'un signal différentiel sera capté par la paire d'électrodes réceptrices 421c, 421d et amplifié dans l'amplificateur différentiel 422, mais sera par contre insensible à des signaux dus à des différences de potentiel entre la règle 10 et le curseur 20, étant donné que les capacités entre l'électrode réceptrice 421c et la règle et entre l'électrode réceptrice 421d et la règle sont pratiquement égales, les signaux sur chaque électrode réceptrice produits par des différences de potentiel entre la règle et le curseur, se compensent.

Mais si les différences de potentiel entre la règle 10 et le curseur 20 proviennent des électrodes émettrices du curseur, ce qui peut être le cas pour une règle conductrice isolée du curseur, le signal différentiel qui en résulte, dans le cas de capacités de couplage entre la règle et chaque électrode réceptrice légèrement différentes, n'est pas négligeable puisqu'il ne peut être rejeté par un filtre considérant qu'il est identique au signal directement couplé. L'arrangement d'électrodes émettrices doit donc être tel que, pour n'importe quelle position du curseur 20, la somme des signaux couplés des électrodes émettrices 421a, 421b à la règle 10 soit idéalement nulle. Ceci est obtenu grâce à des électrodes émettrices 421a' et 421b' supplémentaires, connectées respectivement à Va et à Vb, ainsi qu'à une électrode de blindage supplémentaire 421g', connectée à Vg, illustrées en pointillé dans la fig. 4. La séquence des électrodes 421a' et 421b' en direction de x est l'inverse de celle des électrodes 421a et 421b, mais alors que ces dernières sont plus près de l'électrode réceptrice 421c, les premières sont plus près de l'électrode réceptrice 421d. Donc, si l'élément du relief 411 est placé de manière à augmenter le couplage de l'électrode 421a et à diminuer celui de l'électrode 421b, un signal alternatif ayant la polarité de Va apparaîtra surtout sur l'électrode réceptrice 421c; pour la même position le couplage de l'électrode 421a' diminue et celui de l'électrode 421b' augmente et un signal alternatif de polarité opposée à Va apparaîtra en premier lieu sur l'électrode réceptrice 421d. Comme les deux électrodes réceptrices 421c, 421d sont connectées à un amplificateur différentiel 422, les signaux se renforcent, ce qui est avantageux. En ce qui concerne la somme des signaux des électrodes émettrices 421a, 421b, 421a', 421b' couplés sur la règle, elle est nulle puisque la règle et le curseur de la fig. 4 ont un plan de symétrie et que les électrodes émettrices symétriques sont connectées à des signaux de polarités opposées.

Tous les capteurs décrits ci-dessus ont un domaine de mesure limité et une linéarité suffisante qu'à proximité de $X = 0$, c'est-à-dire lorsqu'un élément du relief 411 se trouve exactement en face des électrodes 421 du curseur 20. Une possibilité d'augmenter le domaine de mesure et/ou d'améliorer la résolution qui a été évoquée plus haut comme application possible du capteur de la fig. 3 est d'avoir un relief 411 périodique ainsi qu'un réseau périodique d'ensembles d'électrodes comme montré aux fig. 2a, 3a, 4, les périodes étant légèrement différentes entre la règle 10 et le curseur 20 afin d'obtenir un effet de «vernier». Par exemple un capteur mesurant le long de l'axe x pourrait avoir une règle dont la période du relief 411, c'est-à-dire la distance entre éléments identiques du relief, serait de 1 mm, et un curseur ayant dix ensembles d'électrodes répartis le long de x avec une période de 1.1 mm; si pour $X = 0$ le premier de ces dix ensembles fait face à un élément du relief 411, les neuf autres ensembles seront tous décalés le long de x des éléments du relief 411 les plus proches d'eux; pour $X = 0.1$ mm le second ensemble sera en face d'un élément du relief, pour $X = 0.2$ mm le troisième, etc. L'utilisation de cet effet de «vernier» permet donc des domaines de mesure plus grands mais nécessite une grande surface de curseur, surtout si on veut une résolution fine de la position, et de plus seulement les ensembles d'électrodes très proches d'un élément de la règle, donc suffisamment sensibles, contribueront à l'évaluation de la position.

Une meilleure façon d'éviter les limitations du domaine de mesure et de la résolution est d'avoir un capteur conforme à l'invention en fig. 5 dont le curseur 520 comprend un réseau d'électrodes 521 identiques et des circuits de commutation permettant de configurer ces électrodes 521 en groupes connectées à une même ligne rattachée à Va, Vb, Vg, ou l'entrée d'un amplificateur si les électrodes réceptrices font aussi partie du réseau. Par un circuit de commutation approprié, les électrodes 521 du réseau peuvent donc être configurées en électrodes émettrices, par exemple, qui peuvent être déplacées le long de l'axe de mesure en rajoutant une électrode d'un côté au groupe et en enlevant une de l'autre. Si le pas des électrodes du réseau correspond à la résolution, ces circuits de commutation peuvent être du type décrit dans le brevet US N° 3 857 092 dans lequel la configuration électrique du réseau d'électrodes est commutée de manière à «suivre» les électrodes flottantes de la règle ou, dans le cas présent, les éléments du relief. Une alternative est de déplacer la configuration électrique des électrodes du réseau de manière à «balayer» la règle, la position ou le déplacement étant obtenu par une méthode de zéro ou de phase. On pourra ainsi utiliser les passages à zéro de l'enveloppe du signal sur l'électrode réceptrice, de façon analogue à la méthode décrite dans le brevet US N° 4 437 055, revendications 6 et 7. Si une résolution bien plus fine que le pas des électrodes 521 du réseau est recherchée, le déplacement de la configuration électrique du réseau peut se faire en décalant seulement une partie des électrodes à la fois, tel que décrit dans le brevet US N° 4 841 225.

Le principe d'un capteur conforme à l'invention, évitant ces limitations du domaine de mesure et de la résolution est illustré à la fig. 5. Une règle 510 comporte un relief 511 périodique selon l'axe x, la période, ou pas entre éléments du relief 511, étant T_x . Un curseur 520 comporte un réseau d'électrodes identiques 521 dont le pas entre électrodes est T_e . Comme il y a 8 électrodes par pas T_x de la règle, on a $T_e = T_x/8$. Un circuit de commutation 525 permet la connexion de n'importe quelle électrode 521 du réseau à une des lignes conductrices suivantes: la ligne 525a connectée au signal alternatif V_a , la ligne 525b connectée au signal alternatif V_b de même amplitude et fréquence que V_a mais de polarité opposée, la ligne 525g connectée au potentiel de blindage V_g , les lignes 525c et 525d connectées aux entrées d'un amplificateur différentiel 522. Une distribution de signaux obtenue par ce circuit de commutation 525 sur les électrodes 521 du réseau est montrée à la fig. 5. En prenant les 8 premières électrodes depuis la gauche, deux électrodes 521a sont connectées à la ligne 525a, donc à V_a , une électrode 521g est connectée à la ligne 525g, donc à V_g , deux électrodes 521c sont connectées à la ligne 525c, donc à une entrée de l'amplificateur différentiel 522, une électrode 521g est connectée à la ligne 525g, donc à V_g , et deux électrodes 521b sont connectées à la ligne 525b, donc à V_b . Un élément du relief 511 de la règle 510 est en face d'une partie de ces 8 électrodes 521. Dans l'intervalle d'une période T_x du relief 511, la configuration des électrodes du curseur correspond essentiellement à l'arrangement d'électrodes décrit dans la fig. 2a et le texte accompagnant. La fig. 5 montre deux groupes d'électrodes 521a et 521b reliées à des signaux V_a et V_b , et la fig. 2a montrant deux électrodes 21a et 21b reliées à V_a et V_b . Ces deux groupes d'électrodes, respectivement électrodes sont disposés des deux côtés d'un groupe d'électrodes 521c, respectivement d'une électrode 21c, servant d'électrode réceptrice et reliées à un amplificateur. Les groupes d'électrodes 521a, b, c sont séparés par des électrodes 521g reliées à V_g , respectivement des électrodes de blindage 21g sont reliées à V_g et/ou à un substrat conducteur. Pour plus de commodité, les capacités de couplage sont définies de façon semblable dans les fig. 5 et 2a en étendant leur définition à des groupes d'électrodes: par exemple C_{ac} définira la capacité entre un groupe d'électrodes 521 reliées à la ligne 525a donc à V_a et un groupe d'électrodes 521 reliées à la ligne 525c allant à une entrée d'un amplificateur.

La même distribution de signaux pourrait se retrouver sur les huit prochaines électrodes, donc face au prochain élément du relief 511. Ce n'est pas le cas ici, où la distribution de signaux ne se répète que toutes les seize électrodes 521, donc sur une période de $2T_x$, comme le montre la fig. 5. En fait, la distribution de signaux en face de l'élément suivant du relief 511, diffère de celle en face de l'élément précédent en ce que les polarités des signaux alternatifs sont inversées, puisque V_b remplace V_a et vice-versa par rapport aux électrodes 521 distantes d'une période T_x , et que les électrodes 521 connectées en électrodes réceptrices sont reliées à la ligne 525d, donc à l'autre entrée de l'amplificateur différentiel 522. Avec une telle distribution de signaux, en supposant une règle 510 conductrice et des éléments du relief 511 creux, un petit déplacement du curseur 520 vers la droite donnera un signal ayant la polarité de V_a , car C_{ac} est supérieur à C_{bc} en face du premier élément du relief 511 sur le groupe d'électrodes 521c reliées à une entrée de l'amplificateur différentiel 522 et à un signal ayant la polarité de V_b , car C_{ac} est inférieur à C_{bc} en face du second élément du relief 511 sur le groupe d'électrodes 521d relié à l'autre entrée de l'amplificateur 522.

Un faible déplacement du curseur 520 résulte donc en un signal différentiel entre les deux entrées de l'amplificateur différentiel 522, alors que des différences de potentiel entre la règle et le curseur affecteront également les deux groupes d'électrodes, résultant en un signal différentiel négligeable. A cause de cette configuration complètement différentielle aussi bien des électrodes émettrices que réceptrices dans l'intervalle $2T_x$, ce capteur a essentiellement les mêmes avantages que celui décrit en référence à la fig. 4, c'est-à-dire insensibilité aux différences de potentiel entre règle et curseur et signal total nul couplé du curseur 520 à la règle 510.

La distribution de signaux sur le réseau d'électrodes 521 peut également être déplacée à droite ou à gauche par le circuit de commutation 525 ce qui permet par exemple de «suivre» les éléments du relief 511 de la règle 510 en utilisant le signal de sortie de l'amplificateur différentiel 522 comme signal d'erreur, à la manière d'une boucle de servo-commande. Alternativement, la distribution de signaux peut «balayer» le réseau d'électrodes 521, les passages par zéro de l'enveloppe du signal de sortie de l'amplificateur différentiel permettant de trouver la position relative du curseur 520.

L'intégration des fonctions réceptrices dans le réseau d'électrodes 521, c'est-à-dire celles reliées aux entrées de l'amplificateur différentiel 522 par les lignes 525c et 525d et par le circuit de commutation 525 demande une réalisation soignée de ce dernier, qui évite tous les couplages de signaux alternatifs, surtout V_a et V_b , à ces lignes 525c et 525d. En particulier, les fonctions de commutation ne peuvent être réalisées par des commutateurs simples tels qu'un seul transistor à effet de champ (MOS), car la capacité restante en étant déclenché n'est pas négligeable ici. Les électrodes 521 du réseau doivent donc être reliées aux lignes 525a, 525b, 525c, 525d par deux commutateurs simples en série, un troisième commutateur mettant la connexion entre les deux premiers au potentiel de blindage lorsque ceux-ci sont ouverts, afin de supprimer les signaux couplés capacitivement des électrodes reliées à V_a ou V_b par les commutateurs ouverts aux lignes 525c, 525d.

Un capteur conforme à l'invention, qui présente les mêmes avantages que le précédent, mais qui nécessite un circuit de commutation plus simple et qui permet un arrangement des électrodes émettrices et de leurs interconnexions plus faciles à isoler de couplages néfastes, est représenté à la fig. 6. Un

curseur 620 est montré en perspective au-dessus d'une règle 610 ayant un relief 611 de période Tx selon l'axe des x. Le curseur 620 comporte deux réseaux d'électrodes 621 émettrices alignés selon x, ainsi que deux électrodes réceptrices 621c, 621d de forme allongée également alignées selon x disposées entre ces réseaux. Des électrodes de blindage 621g entourent les deux électrodes réceptrices 621c, 621d. La longueur selon x de celles-ci correspond à un nombre entier de périodes Tx, et les réseaux d'électrodes émettrices sont plus longs pour éviter des erreurs provenant de conditions de couplages non homogènes aux extrémités des électrodes réceptrices 621c, 621d. En fait, les capacités de couplage décroissent si fortement avec la distance qu'une longueur supplémentaire d'électrodes émettrices de Tx/2 est en général suffisante. Il est aussi possible d'avoir des réseaux d'électrodes émettrices 621 plus courts que les électrodes réceptrices 621c, 621d. Dans ce cas, ce sont les réseaux d'électrodes émettrices 621 qui doivent avoir une longueur selon x correspondant à un nombre entier de périodes Tx. Pour plus de clarté dans la fig. 6, les électrodes 621 du réseau ont un pas T_e égal à $T_x/8$, donc huit électrodes par période Tx. Pratiquement, Tx serait de l'ordre du mm et les électrodes 621 du réseau auraient un pas aussi fin que possible, afin d'arriver à une résolution suffisamment fine permettant d'éviter des méthodes complexes d'interpolation.

Sur un circuit intégré, T_e pourrait être de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres, assurant une résolution de l'ordre du micromètre, comme décrit plus loin. Le besoin d'obtenir un pas T_e fin, une grande précision géométrique des contours d'électrodes, une très bonne planéité des électrodes nécessaire à cause de la forte influence de la distance sur le couplage, et la possibilité d'intégrer les circuits électroniques sur le curseur 620, rendent une réalisation du curseur sur un circuit intégré très intéressante.

Sur la fig. 6 est également représenté le schéma d'un circuit électronique pouvant être utilisé avec le capteur décrit. Pour la clarté, ce schéma est dessiné en dehors du curseur 620, alors qu'il peut en faire partie sur un seul circuit intégré. Dans tous les cas, des précautions doivent être prises pour éviter des couplages parasites; comme les électrodes réceptrices 621c, 621d sont ici clairement séparées du reste, les précautions à prendre sont connues et, consistent par exemple à rapprocher l'amplificateur différentiel 622 des électrodes réceptrices autant que possible. Le circuit fonctionne comme suit: le signal alternatif différentiel capté sur les électrodes réceptrices 621c et 621d est amené aux entrées 622c et 622d de l'amplificateur différentiel 622. Les sorties 622p, 622q de celui-ci sont reliées aux entrées 623c, 623d d'un comparateur 623 qui transforme le signal alternatif différentiel en un signal digital. La sortie 623q du comparateur 623 est reliée à une entrée 624a d'une porte ou-exclusif 624 ayant son autre entrée 624b reliée à un signal de modulation V_m qui est aussi utilisé pour moduler les signaux destinées aux réseaux d'électrodes émettrices 621. Ainsi le signal à la sortie 624q de la porte 624 correspond finalement à la polarité, par rapport aux signaux V_a ou V_b , du signal différentiel capté par les électrodes réceptrices 621c et 621d. En d'autres termes, cette porte ou-exclusif 624 enlève la composante de modulation V_m du signal et est donc un démodulateur. Le signal alternatif V_m est dérivé du signal d'horloge V_{ck} , généré par un oscillateur 626 et divisé par deux grâce à un diviseur de fréquence 627. Ce signal d'horloge V_{ck} est aussi relié à l'entrée de comptage 628c d'un compteur-décompteur binaire 628, qui compte ou décompte donc en fonction du signal à la sortie 624q de la porte ou-exclusif 624 reliée à l'entrée de direction de comptage 628d de ce compteur-décompteur 628. Les sorties binaires 628q, 628r, 628s de pondération 1, 2, 4 du compteur 628 sont reliées respectivement aux entrées 629q, 629r, 629s d'un décodeur 629 générant à ses huit sorties 629a à 629h le code cyclique suivant en fonction du code binaire à trois bits à ses entrées:

Entrées du décodeur			Sorties du décodeur							
s	r	q	a	b	c	d	e	f	g	h
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0

Les chiffres zéro et un de la table ci-dessus représentent des états logiques du circuit, soit par exemple les potentiels négatif et positif de l'alimentation. La séquence des états des sorties du décodeur se décale donc vers la droite si le compteur 628 compte, et vers la gauche s'il décompte. Les sorties du décodeur 629a à 629h traversent un modulateur 630 consistant en huit portes ou-exclusif ayant une de leurs entrées reliées à une des sorties 629a à 629h du décodeur 629 et l'autre au signal de modu-

lation Vm. Les sorties du modulateur 630 sont reliées aux électrodes 621 émettrices des deux réseaux. Comme le montrent les lignes de connexion de la fig. 6, les électrodes 621 du premier réseau, en haut de la fig. 6, sont reliées aux sorties du modulateur 630 dans la séquence 630a, b, c, d, e, f, g, h, a, b, c, etc., alors que les électrodes 621 du second réseau, en bas de la fig. 6, sont reliées dans la séquence 630e, f, g, h, a, b, c, d, e, f, etc., ce qui fait que les électrodes correspondantes de même coordonnée X de chaque réseau auront toujours des signaux alternatifs de polarités opposées, étant donné qu'elles sont reliées par le modulateur 630 à des sorties du décodeur 629 décalées de quatre électrodes l'une par rapport à l'autre, donc toujours complémentaires.

En supposant que les trois sorties 628q, r, s sont à zéro, et en désignant arbitrairement comme Va le signal alternatif de même polarité que le signal de modulation Vm sur les électrodes 621 du réseau et comme Vb celui de polarité opposée à Vm, la séquence de signaux alternatifs sur les électrodes 621 émettrices dans l'intervalle Tx sera Va, Va, Va, Va, Vb, Vb, Vb, Vb pour le premier réseau et Vb, Vb, Vb, Vb, Va, Va, Va, Va pour le second: les deux séquences sont effectivement de polarités opposées. Les électrodes 621 des réseaux reliées au signal Va sont ombrées pour plus de clarté. On remarque que la configuration des signaux sur le curseur face à un élément du relief 611 est la même que celle illustrée à la fig. 4 y compris les électrodes en pointillé. Ici aussi, les groupes d'électrodes de la fig. 6 jouent le même rôle que les électrodes dans la fig. 4. Les groupes de quatre électrodes 621 à Va du premier réseau de la fig. 6 correspondent à l'électrode 421a de la fig. 4, les groupes de quatre électrodes 621 reliées à Vb du premier réseau à l'électrode 421b, les groupes de quatre électrodes 621 reliées à Va du second réseau à l'électrode 421a', et les groupes de quatre électrodes 621 reliées à Vb du second réseau à l'électrode 421b'. Les électrodes réceptrices et de blindage sont les mêmes. Ainsi ce capteur a essentiellement les mêmes avantages que celui décrit en référence à la fig. 4, c'est-à-dire insensibilité aux différences de potentiel entre la règle et le curseur, signal total nul couplé du curseur 620 à la règle 610, mais de plus, l'étendue de mesure est illimitée et la résolution est meilleure.

Si le curseur 620 se déplace un peu sur l'échelle 610, un signal alternatif différentiel apparaîtra entre les électrodes réceptrices 621c, 621d, étant donné que les signaux couplés préférentiellement sur chacune par le réseau d'électrodes émettrices 621 le plus proche auront des polarités opposées. Ce signal différentiel sera amplifié dans l'amplificateur différentiel 622, converti en un signal digital (à deux états logiques) par le comparateur 623, démodulé dans la porte ou-exclusif 624, utilisant comme référence le signal alternatif Vm, pour commander la direction de comptage du compteur-décompteur 628, ce qui fera osciller celui-ci autour d'une valeur moyenne représentant la position.

La résolution désirée étant normalement plus fine que le pas Te des électrodes 621 des réseaux, un moyennage ou filtrage utilisant plusieurs valeurs successives du compteur 628 doit être fait, soit par des circuits électroniques additionnels soit par un microcontrôleur programmé à cet effet. Un moyennage prend par exemple la somme de N valeurs successives du compteur 629 et divise la somme par N. Un filtre digital passe-bas du premier ordre additionne sans cesse la valeur courante du compteur divisée par N à un total tout en soustrayant de celui-ci sa valeur divisée par N. De tels algorithmes sont connus et faciles à implémenter en matériel ou en logiciel. Mais pour éviter la non-linéarité dans l'intervalle des pas Te, il faut une certaine erreur statistique de position, normalement due au bruit thermique, mais pouvant aussi être introduite artificiellement, dont l'écart-type doit être supérieur à la moitié de la résolution des valeurs individuelles du capteur, ici Te. Sinon, une résolution plus fine peut également être obtenue par d'autres moyens, par exemple en ne décalant la distribution de signaux que sur une partie des électrodes 621 des réseaux à la fois, comme décrit dans le brevet US N° 4 841 225, au lieu de décaler la distribution sur l'ensemble des réseaux.

L'intégration du circuit électronique et des électrodes sur un seul circuit intégré offre plusieurs avantages évoqués plus haut pour des capteurs conformes à l'invention, mais, dans ce cas la capacité due à la couche isolante très mince entre les électrodes réceptrices et le substrat, beaucoup plus grande que les capacités de couplage Cac, Cbc, Cad, Cbd réduira les signaux d'entrée au niveau de quelques microvolts. D'où l'importance de la conception de l'étage d'entrée de l'amplificateur différentiel, qui devrait se trouver aussi près que possible de ces électrodes réceptrices, isolé et/ou blindé du reste de l'électronique, il est à la limite concevable que l'électrode réceptrice soit directement la grille d'un transistor à effet de champ (FET), ou même que celle-ci soit supprimée, le canal étant alors l'électrode réceptrice; mais la capacité entre électrode et substrat sera probablement plus importante, ce qui fait qu'une solution plus classique à électrode réceptrice, au moins partiellement séparée de la grille, sur une couche d'oxyde épais, sera préférable. Deux circuits cités ici sont intéressants comme étage d'entrée, car ils tendent les deux à éliminer l'influence de cette capacité de l'électrode au substrat.

Le premier est l'amplificateur de charge, décrit par exemple dans «Measurement systems: Applications and Design» par E. O. Doebelin, Library of Congress Nr 66-18 475, pp 623-625. En utilisant une capacité en contre-réaction, entre la sortie d'un amplificateur et son entrée inverseuse, celui-ci maintient l'entrée, en l'occurrence une électrode réceptrice, à un zéro virtuel, évitant ainsi un courant capacitif vers le substrat. Pour ce faire, l'amplificateur nécessite un gain en boucle ouverte et une largeur de bande élevés comme la capacité au substrat s'ajoute à la capacité d'entrée. L'avantage de l'amplificateur de charge réside dans la facilité de blindage de l'électrode, aussi en configuration différentielle, où les deux électrodes réceptrices peuvent être au-dessus d'un même blindage ou d'une même diffusion.

Le second circuit est le montage en source suiveuse d'un transistor à effet de champ, la grille étant

l'entrée, la source la sortie. L'amplification en tension est légèrement inférieure à un, l'impédance d'entrée très haute et celle de sortie assez basse. Pour compenser la plus grande partie de la capacité de l'électrode au substrat, il suffit de relier une diffusion ou une couche métallique sise sous l'électrode à la sortie du suiveur, ce qui aura pour effet d'augmenter le signal de sortie pour une charge couplée donnée. Ici aussi, une bonne largeur de bande est nécessaire comme cette capacité au substrat fait partie de la capacité d'entrée du transistor.

Quelques réalisations possibles de curseurs 720 de capteurs conformes à l'invention sont montrées dans les fig. 7a, 7b, 7c, la position relative de la règle 710 étant montrée en pointillé. La fig. 7a montre un curseur 720a consistant en un circuit intégré. Les électrodes 721a, esquissées ici par leur périmètre, occupent la partie droite du circuit, en face de la règle 710a. A gauche se trouvent des pads 731a pour le bonding, des fils 732a de bonding reliant ces pads aux connexions 734a d'un support 733a, le reste de la surface du curseur contenant le circuit électronique. Une telle réalisation se prête à des règles 710a étroites, n'interférant pas avec les fils 732a de bonding et leur protection pas montrée. La fig. 7b montre aussi un curseur 720b consistant en un circuit intégré, ayant des «bumps» 735b sur deux bords auxquels sont connectés, par «Tape Automated Bonding», les conducteurs 737b d'un support 736b. Les électrodes 721b, esquissées par leur périmètre, s'étendent au milieu du curseur 720b et règle 710b est possible, celle-ci peut s'étendre au-dessus des connexions et des conducteurs 737b et ne pas être limitée dans sa largeur.

Pour protéger de tels curseurs, on peut les recouvrir d'un coating conforme ou les encapsuler dans des boîtiers assez minces pour ne pas avoir un trop grand écart H entre la règle et la surface du curseur. Si une meilleure protection est nécessaire, surtout en ce qui concerne la partie du curseur en regard de la règle, on peut intercaler une plaque diélectrique mince entre les deux, ou encore mettre les électrodes sur la surface de cette plaque qui est opposée à la règle, le couplage se faisant dans les deux cas à travers la plaque. La fig. 7c montre une réalisation facile à protéger: ici, le plan des électrodes 721c du curseur 720c est perpendiculaire à celui de la règle 710c: ceci est rendu possible par la disposition des électrodes 721c, esquissées par leur périmètre, le long du bord du curseur, afin d'arriver à un écart suffisamment faible entre le relief et les électrodes. L'arrangement d'électrodes de la fig. 5 se prêterait bien à ce cas, comme toutes les électrodes font partie d'un réseau linéaire pouvant être disposés très près du bord. Le curseur 720c peut donc être bien protégé, seul son bord se trouve près de la règle 710c.

Un avantage intéressant des capteurs conformes à l'invention réside dans la diversité des règles susceptibles d'être utilisées et leur construction simple. Les fig. 8a à 8e illustrent quelques exemples de règles linéaires et curvilinéaires de capteurs conformes à l'invention, compatibles avec le type de curseurs décrits ci-dessus. La fig. 8a représente une règle 810 linéaire ayant un relief périodique 811 le long d'une piste et quelques éléments de relief 811 le long d'un tracé parallèle à cette piste. Le relief 811 de la piste permet une mesure incrémentale telle que décrite par exemple en référence aux fig. 5 et 6. Les éléments de relief 811r disposés latéralement servent d'élément de référence. Le curseur 820 comporte donc un arrangement d'électrodes 821, esquissé par son périmètre, permettant la mesure incrémentale le long de ce relief 811, donc du type montré par exemple aux fig. 5 ou 6, et un ou plusieurs arrangements d'électrodes 821r pour lire les éléments de relief 811r servant de référence, ces arrangements pouvant être du type représentés aux fig. 2, 3 ou 4. La règle 810 est de plus recouverte d'un diélectrique 812 pour avoir une surface lisse, et empêcher la poussière ou d'autres contaminants de remplir les éléments du relief 811 et 811r, creux ici. Ce diélectrique peut par ailleurs ou remplir ces creux ou simplement les couvrir, s'il est en forme de plaque. La règle 810 peut être conductrice ou diélectrique. Une variante consiste à avoir le relief 811 sur le diélectrique 812 du côté éloigné du curseur 820, le diélectrique 812 de couverture devenant ainsi la règle, montée dans ce cas sur une base sans relief. Finalement, une échelle de lecture graduée telle qu'en comportent des pieds à coulisse ou des règles métalliques, peut être directement utilisée comme règle, étant donné que l'échelle est gravée.

La fig. 8b montre une tige cylindrique munie d'une crémaillère servant de règle 810b linéaire, comme on en trouve dans des comparateurs à cadran, où elles sont guidées par des paliers. Avec un curseur 820b plat, il suffit d'avoir un arrangement d'électrodes 821b du curseur assez étroit, de l'ordre du mm pour une tige ayant 4 mm de diamètre, de façon que la courbure transversale à la direction de mesure de la tige n'influence pas la mesure. La fig. 8c montre un pignon (engrenage) utilisé comme règle 810c circonférentielle avec la denture servant de relief 811c, ce qui permet de réaliser de manière très simple un codeur rotatif. Ici aussi, le curseur 820c est plat et la règle 810c incurvée, cette fois dans la direction de mesure: il suffit d'avoir un diamètre de pignon bien supérieur à la longueur de l'arrangement d'électrodes. La fig. 8d représente une règle 810d rotative consistant en un disque plat dans lequel sont étampées ou gravées des ouvertures donnant un relief 811d. Si les électrodes du curseur 820d sont droites, le diamètre du relief 811d doit être bien supérieur à la longueur de l'arrangement des électrodes pour éviter des non-linéarités. La fig. 8e montre une vis micrométrique servant de règle 810e permettant de mesurer la translation et la rotation, dont le relief 811e forme le pas: de telles vis sont assez précises et souvent incorporées dans les instruments de mesure où elles servent également à l'avancement de la butée de mesure. Pour améliorer la précision, deux curseurs 820e diamétralement opposés peuvent être utilisés.

Des capteurs conformes à l'invention peuvent être facilement configurés de façon à mesurer selon deux dimensions. Un curseur possible à une telle application a été décrit plus haut. Un réseau à deux dimensions d'ensembles d'électrodes telles qu'illustrées aux fig. 2 ou 3 et comportant des périodes selon x et y légèrement différentes des périodes correspondantes de la règle, l'effet de «vernier» étant exploité pour la détermination de deux distances orthogonales X et Y. Une autre possibilité principale consisterait en un réseau à deux dimensions d'électrodes formant une grille dont alternativement les lignes d'électrodes parallèles à x, puis les colonnes parallèles à Y peuvent être reliées. Pour trouver Y, une configuration électrique telle que montrée à la fig. 5, s'étendant selon y, est répartie entre les lignes d'électrodes; puis pour trouver X, les électrodes sont reliées par colonnes et une configuration semblable s'étendant selon x est répartie sur ces colonnes. Le curseur alterne donc entre la recherche de X et de Y.

Une solution permettant une plus grande économie de moyens consiste simplement à utiliser deux senseurs linéaires, ou davantage, sur un même curseur et pour une même règle à deux dimensions: au moins un senseur selon x, et au moins un senseur selon y. S'ils sont du type décrit en référence aux fig. 5 ou 6, il ne peut y avoir de couplages entre les senseurs par la règle. Celle-ci doit évidemment avoir un relief minimisant l'influence d'une coordonnée sur l'autre. Dans un cas extrême, on peut s'imaginer un senseur très étroit; si le relief consiste en une grille de trous, il se peut très bien qu'un senseur se trouve entre deux rangées de trous et ne puisse détecter ceux-ci. Ce cas extrême montre quels sont les paramètres à optimiser pour éviter l'influence entre coordonnées. D'abord, la largeur effective de la configuration des électrodes devrait être à peu près égale à la période du relief, ou à un multiple de celle-ci. Les éléments du relief ne devraient pas être trop petits afin d'éviter des zones mortes, ni l'écart H entre les senseurs et la règle trop faible, pour les mêmes raisons. Des valeurs de l'écart optimales se situent entre 0.1 et 0.3 fois la période du relief pour des règles conductrices, un peu plus pour des diélectriques. Finalement, un avantage de la solution à senseur séparés selon x et y réside en une plus grande tolérance à des erreurs de désaxement entre règle et senseurs, ce qui est particulièrement important pour les «souris» utilisées comme périphériques d'ordinateur.

Les fig. 9a et 9b montrent deux exemples de règles à deux dimensions. Le premier, illustré à la fig. 9a, montre comme règle 910a une plaque métallique ou diélectrique comportant deux jeux orthogonaux de rainures périodiquement espacées. Deux senseurs 920a sont disposés sur un support 938a commun. Le second exemple représenté à la fig. 9b comprend une règle 910b, consistant en une feuille diélectrique servant de base à une souris 939b comprenant deux senseurs 920b. La feuille présente une surface supérieure lisse pour faciliter les mouvements de la souris, mais comporte un relief 911b en-dessous, lu par les senseurs 920b à travers le diélectrique de la règle 910b.

D'autres règles pourraient être constituées par des feuilles de papier comportant un relief imprimé par le moletage des roues d'entraînement du papier de tables traçantes. Les textiles présentent également un relief périodique selon deux dimensions. Dans ce dernier cas, et dans d'autres cités plus haut, il serait intéressant que la période de la configuration électrique des électrodes du curseur puisse être adaptée à celle du relief de la règle, pour pouvoir si possible utiliser le même curseur dans différentes applications. Une possibilité est d'ores et déjà donnée par la sensibilité d'un curseur du type illustré aux fig. 5 ou 6 aux harmoniques spatiaux du relief. Si par exemple le profil du relief dans l'axe de mesure est carré, dû par exemple à des rainures dans une surface plate, le curseur peut détecter celui des harmoniques de ce profil qui correspondra à sa propre période. On peut donc avoir une règle dont la période du relief est par exemple trois fois celle de la configuration électrique du curseur. Alternativement, le circuit de commutation des électrodes peut être réalisé de façon à permettre un choix de plusieurs périodes sélectives. Au besoin, la sélection de la période correcte peut se faire automatiquement. Ainsi, une possibilité consisterait à «balayer» le curseur électrode par électrode et à détecter la périodicité du relief par les passages à zéro du signal détecté.

Il est bien entendu que les modes de réalisation décrits ci-dessus ne présentent aucun caractère limitatif et qu'ils peuvent recevoir toutes modifications désirables sans sortir pour cela du cadre de l'invention. En particulier, l'invention pourra aisément être adaptée à des capteurs de positions tri-dimensionnels ou à des capteurs comportant un très grand nombre d'électrodes émettrices par pas du ou des reliefs périodiques en creux et en élévations.

Revendications

1. Capteur capacitif de position comprenant un curseur (20) et une règle (10) séparés l'un de l'autre par une distance (H) prédéterminée et susceptibles d'être déplacés l'un par rapport à l'autre suivant au moins une direction de mesure (x), le curseur comportant des électrodes dont au moins deux électrodes émettrices (21a, 21b) et au moins une électrode réceptrice (21c) et des premiers moyens (629) pour générer des signaux électriques appliqués sur les électrodes émettrices et des seconds moyens (623, 624) pour évaluer les signaux reçus par l'électrode réceptrice de façon à déterminer la position relative du curseur (20) et de la règle (10), caractérisé en ce que la règle (10) comprend au moins un élément topographique (11) en creux ou en élévation, lesdits seconds moyens étant agencés de façon à évaluer des signaux couplés des électrodes émettrices (21a, 21b) à l'électrode réceptrice (21c) sur le curseur, l'élément topographique (11) de la règle étant conformé de façon à influencer lesdits signaux couplés sur

le curseur (20) en modifiant les capacités de couplage (Cac, Cbc) entre lesdites électrodes lorsque le curseur (20) et la règle (10) sont déplacés l'un par rapport à l'autre suivant la direction de mesure (x).

2. Capteur capacitif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la règle (10) comprend plusieurs éléments topographiques (11) en creux ou en élévation alignés suivant au moins une direction de mesure (x) de façon, à former un relief périodique d'une certaine période (Tx), le curseur comportant au moins une rangée d'électrodes arrangées suivant cette direction de mesure (x) et des moyens de commutation permettant de relier entre autres les électrodes émettrices à au moins deux signaux électriques (Va, Vb) suivant un arrangement périodique.

3. Capteur capacitif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les signaux électriques (Va, Vb) appliqués sur les électrodes émettrices (21a, 21b) sont des signaux alternatifs (Va, Vb) de même amplitude et fréquence, mais de polarité opposée, les électrodes émettrices étant sensiblement coplanaires avec l'électrode réceptrice (21c).

4. Capteur capacitif selon les revendications 2 et 3, caractérisé en ce que les moyens de commutation (525) sont agencés de façon à relier suivant un ordre prédéterminé chaque électrode de la rangée d'électrodes à l'un des signaux alternatifs (Va, Vb), à l'une des entrées d'un amplificateur (522), ou à un potentiel de masse (Vg) de manière à obtenir une distribution de signaux correspondant à la période (Tx) dudit relief périodique ou à un multiple de cette période (Tx), ces moyens de commutation (525) permettant de déplacer ladite distribution le long de la rangée d'électrodes (521).

5. Capteur capacitif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens de commutation (525) sont agencés de façon à obtenir la distribution de signaux comportant au moins une série de signaux provenant successivement d'au moins une électrode (521a) reliée au premier signal alternatif (Va), d'au moins une électrode (521g) reliée au potentiel de masse (Vg), d'au moins une électrode (521c) reliée à la première entrée (525c) de l'amplificateur de type différentiel (522), d'au moins une électrode (521g) reliée au potentiel de masse (Vg), d'au moins une électrode (521b) reliée au second signal alternatif (Vb), d'au moins une électrode (521g) reliée au potentiel de masse (Vg), d'au moins une électrode (521d) reliée à la seconde entrée (525d) de l'amplificateur différentiel (522), d'au moins une électrode (521g) reliée au potentiel de masse (Vg), ladite série de signaux correspondant à une période double du relief périodique de la règle (510).

6. Capteur capacitif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le curseur (420) comprend au moins une paire d'électrodes réceptrices (421c, 421d) identiques et coplanaires connectées aux deux entrées d'un amplificateur différentiel (422), un groupe d'au moins deux électrodes émettrices (421a, 421b) étant disposé plus près de l'une (421c) des électrodes réceptrices.

7. Capteur capacitif selon la revendication 6, caractérisé en ce que le curseur (420) comprend un autre groupe d'électrodes émettrices (421a', 421b') identiques mais disposées plus près de l'autre (421d) des électrodes réceptrices, les électrodes émettrices (421a, 421b'; 421b, 421a') situées en regard des deux côtés des deux électrodes réceptrices (421c, 421d) étant alimentées en signaux électriques de type alternatif de même amplitude et fréquence, mais de polarité opposée, ledit élément topographique (411) étant conformé et disposé sur la règle (420) de façon à modifier par son déplacement les capacités de couplage entre les électrodes émettrices et réceptrices et à obtenir des signaux différentiels aux deux entrées de l'amplificateur différentiel (422).

8. Capteur capacitif selon les revendications 3 et 7, caractérisé en ce que le curseur (620) comprend deux rangées d'électrodes émettrices (621) identiques alignées suivant une direction de mesure (x) et deux électrodes réceptrices (621c, 621d) disposées parallèlement à chacune desdites rangées d'électrodes émettrices, les moyens de commutation (629) étant agencés de façon à appliquer aux électrodes émettrices (621) des deux rangées des distributions de signaux pareilles l'une à l'autre mais avec des polarités opposées, ces moyens de commutation (629) permettant de déplacer les distributions de signaux le long des rangées, chacune des électrodes réceptrices (621c, 621d) étant connectée à une entrée (622c, 622d) de l'amplificateur différentiel (622).

9. Capteur capacitif selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'amplificateur différentiel (622) est connecté à un comparateur (623) pour convertir le signal amplifié en un signal digital qui est démodulé dans un démodulateur (624) dont le signal de sortie commande le sens de comptage d'un compteur-décompteur (628) qui est connecté à un décodeur (629) générant, après le passage dans un modulateur (630), la distribution des signaux des deux rangées d'électrodes émettrices (621).

10. Capteur capacitif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la règle (310) comprend au moins un élément topographique (311) en creux ou en élévation de forme circulaire, le curseur (320) présentant au moins un motif d'électrodes formant des anneaux concentriques et comportant au moins une électrode réceptrice annulaire (321c) disposée entre les l'électrodes émettrices (321a, 321b) reliées aux signaux électriques de type alternatif (Va, Vb).

11. Capteur capacitif selon l'une des revendications 1, 6, 7 ou 10, caractérisé en ce que la règle (10) comprend une série d'éléments topographiques (11) arrangés suivant une première direction de mesure avec un pas prédéterminé, le curseur (20) comportant une série d'ensembles d'électrodes arrangés suivant la première direction de mesure, mais avec un pas légèrement différent afin d'obtenir un effet de «vernier».

12. Capteur capacitif selon la revendication 11, caractérisé en ce que la série d'éléments topographiques (11) de la règle (10) sont aussi arrangés périodiquement suivant une seconde direction de mesure

re avec un pas prédéterminé, et que la série d'ensembles d'électrodes du curseur (20) sont aussi arrangés périodiquement suivant la seconde direction de mesure, mais avec un pas légèrement différent afin d'obtenir un effet de «vernier» suivant deux directions de mesure.

5 13. Capteur selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la règle (910a) comprend des éléments topographiques (911a) en creux ou en élévation formant deux reliefs périodiques suivant une première et seconde direction de mesure orthogonale.

10 14. Capteur selon la revendication 13, caractérisé en ce que le curseur comprend un réseau à deux dimensions d'électrodes formant une grille dont alternativement les lignes d'électrodes parallèles à la première direction de mesure, puis les colonnes d'électrodes parallèles à la seconde direction de mesure sont reliées auxdits premiers et seconds moyens.

15 15. Capteur selon la revendication 13, caractérisé en ce que le curseur (938a, 939b) comprend deux senseurs (920a, 920b) présentant des arrangements d'électrodes susceptibles de déterminer la position relative du curseur et de la règle suivant la première et seconde direction de mesure orthogonale.

16. Capteur selon la revendication 13, caractérisé en ce que la règle est constituée par une plaque (911b) diélectrique comportant une surface supérieure lisse et un réseau bidimensionnel de cavités constituant les éléments topographiques sous cette surface supérieure.

20 17. Capteur capacitif selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la règle est constituée soit par une tige cylindrique (810b) munie d'une crémaillère (811b), soit par un pignon (810c), soit par un disque tournant (810d) comportant les éléments topographiques (811d) en élévation ou en creux, soit par une vis micrométrique (811c).

25 18. Capteur capacitif selon l'une des revendications 1, 2, 10, 11 ou 13, caractérisé en ce que les éléments topographiques (811) en creux ou en élévation de la règle (810) sont recouverts par un matériau (812) présentant une surface lisse en regard du curseur, ce matériau formant une couche sur les éléments topographiques (811) de façon à remplir ou ne pas remplir les éléments topographiques (811) en creux.

19. Capteur selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que le curseur (720a) est constitué par un circuit intégré comportant les électrodes émettrices et réceptrices.

30 20. Capteur selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le plan des électrodes (721c) du curseur (720c) est perpendiculaire au plan de la règle (710c) présentant les éléments topographiques en creux ou en élévation.

21. Capteur selon l'une des revendications 4 ou 8, caractérisé en ce que les moyens de commutation (525, 629) sont agencés de façon que la distribution des signaux sur le réseau d'électrodes est déplacée de manière à suivre le déplacement relatif entre la règle (510, 610) et le curseur (520, 620).

35 22. Capteur selon l'une des revendications 4 ou 8, caractérisé en ce que les moyens de commutation (525, 629) sont agencés de façon que la distribution des signaux sur le réseau d'électrodes est déplacée en continu afin d'avoir un balayage à vitesse constante, la position relative du curseur (520, 620) par rapport à la règle (510, 610) étant obtenue par une méthode de zéro ou de phase.

40

45

50

55

60

65

FIG.1

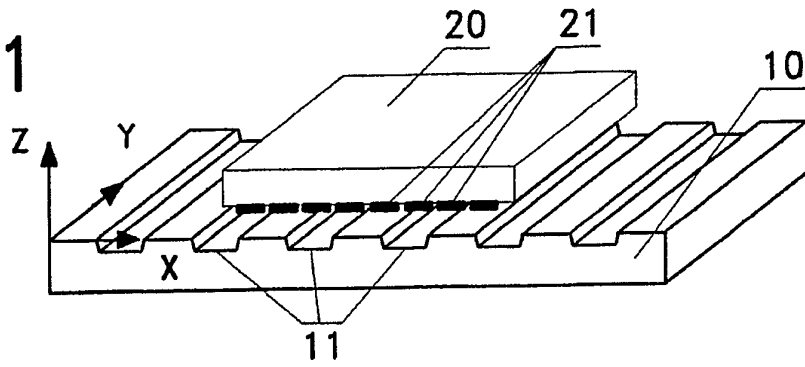


FIG.2a

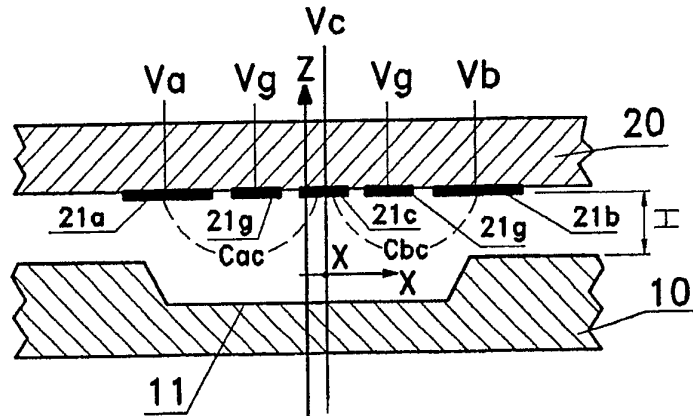


FIG.2b

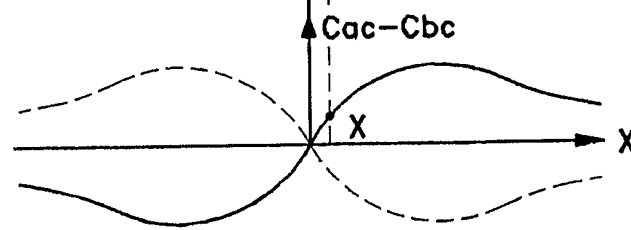


FIG.3a

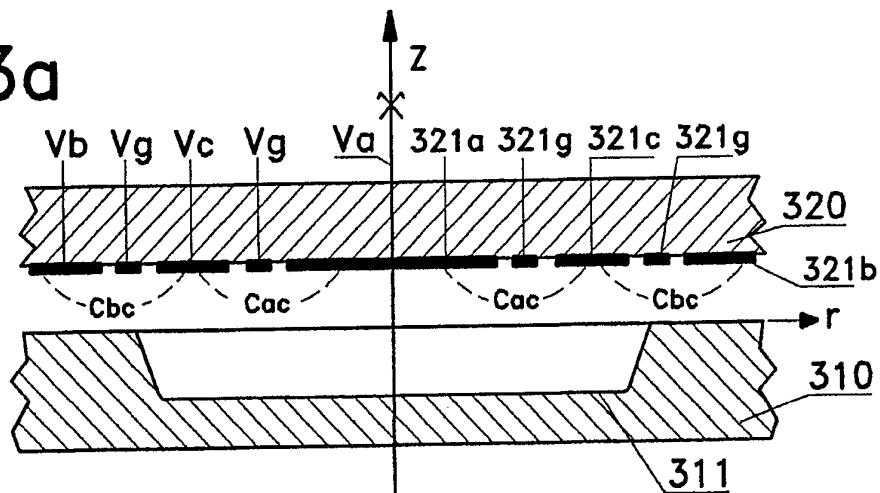
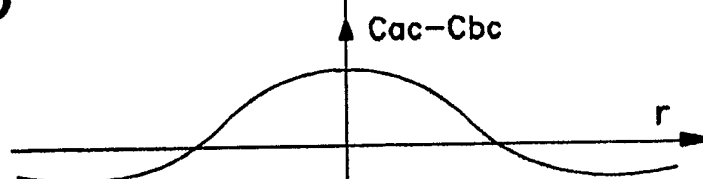


FIG.3b



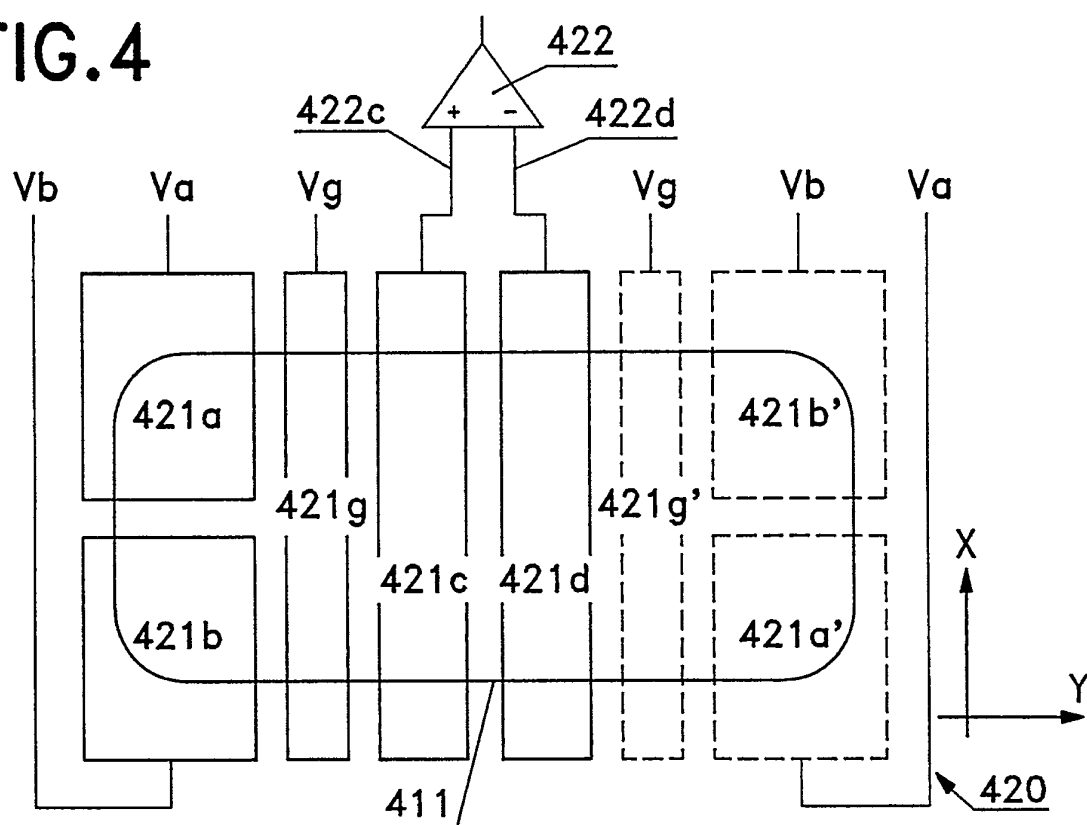


FIG.5

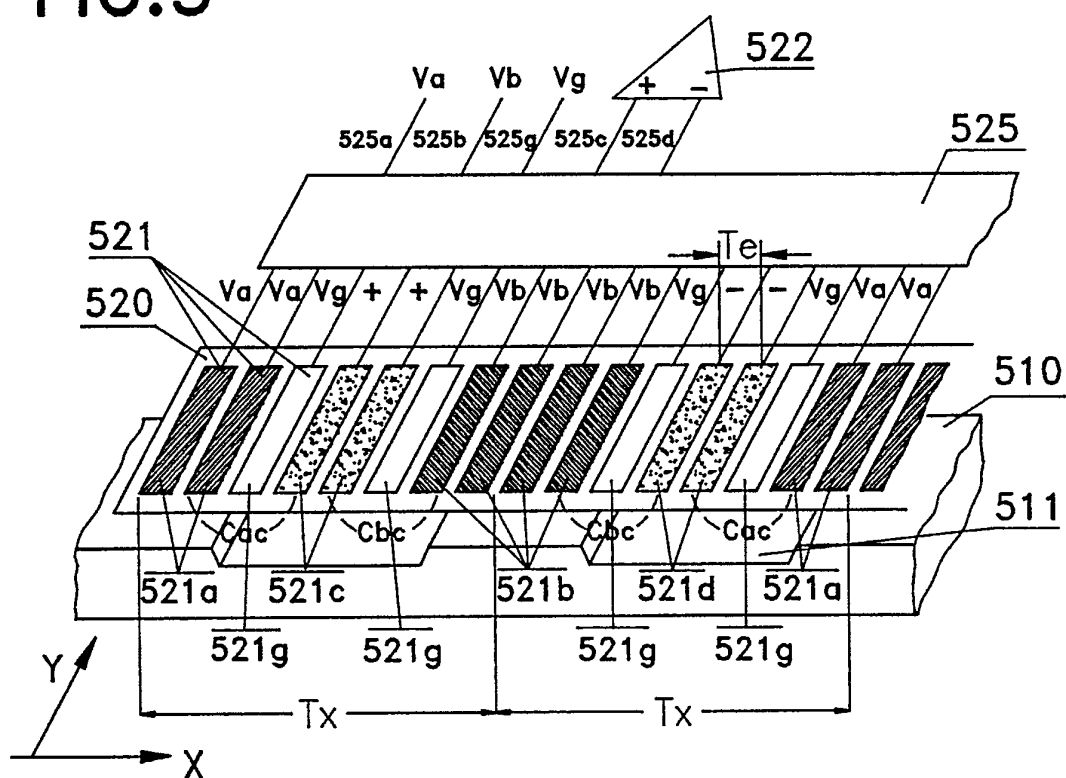


FIG. 6

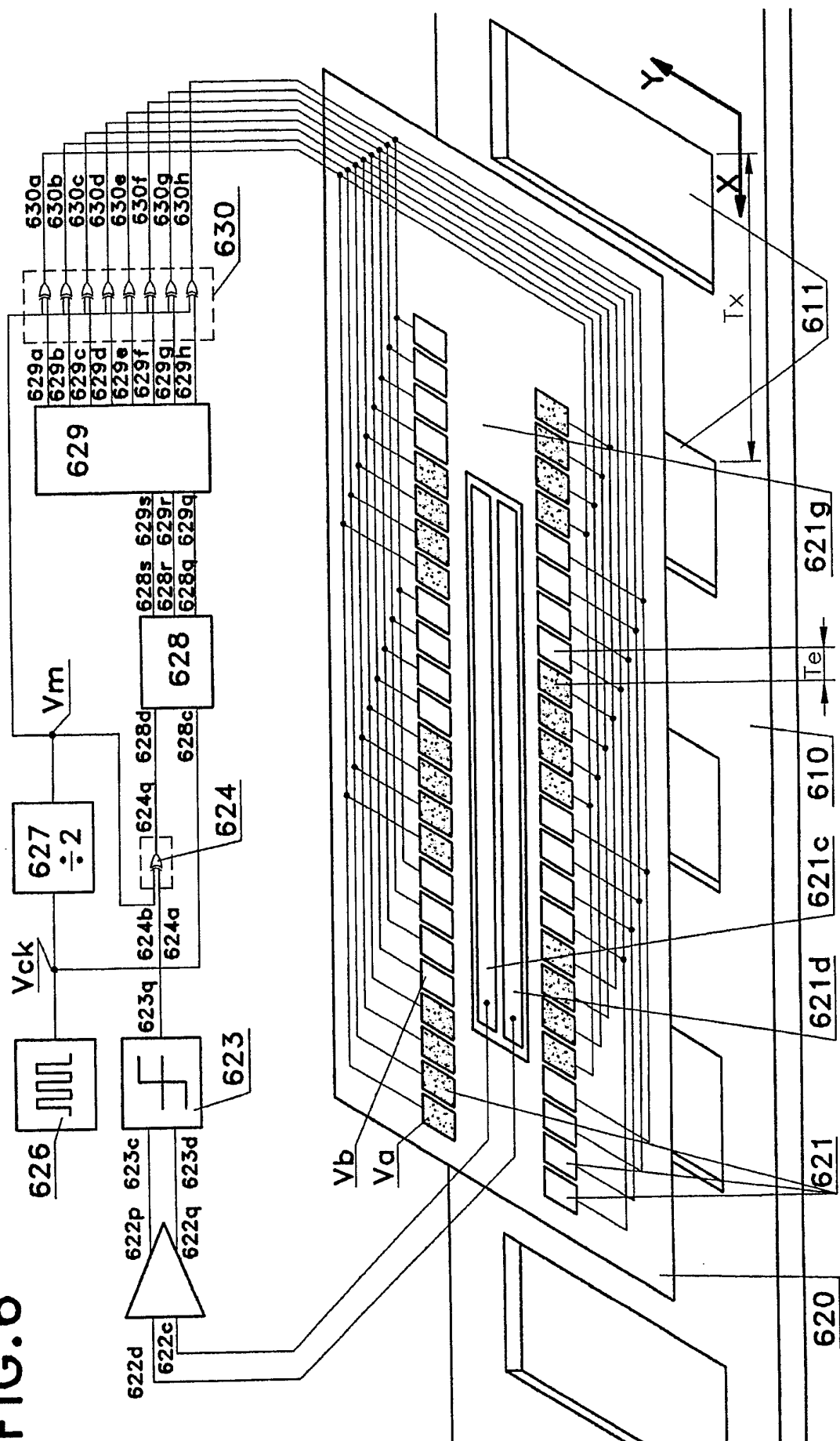


FIG.7a

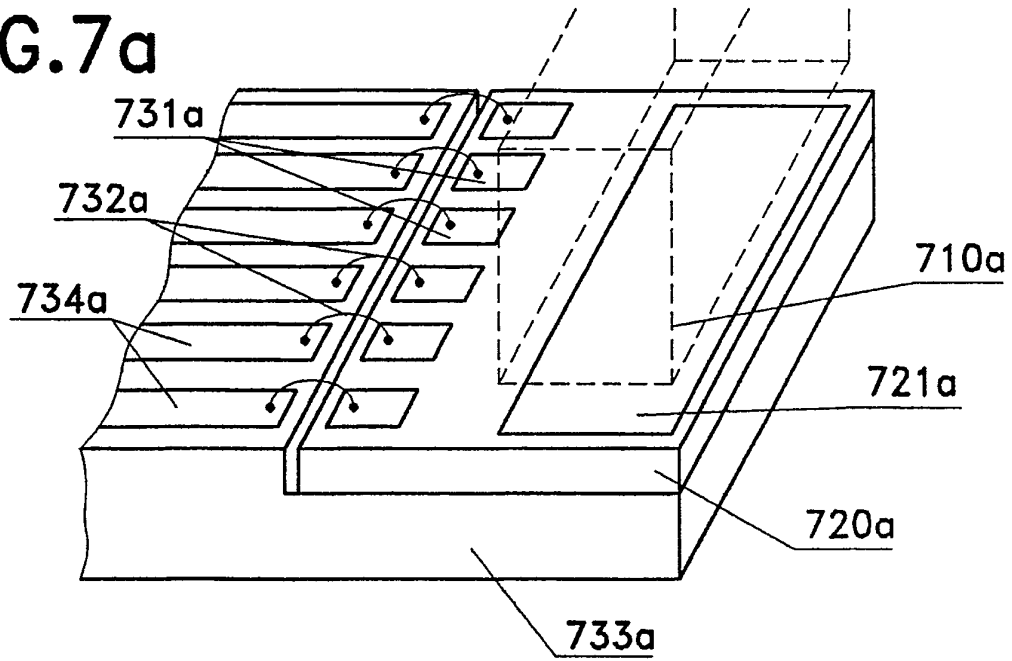


FIG.7b

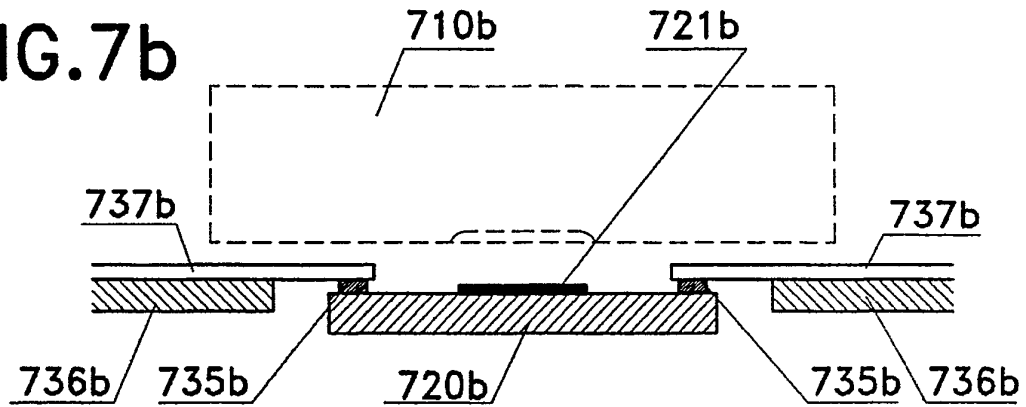


FIG.7c

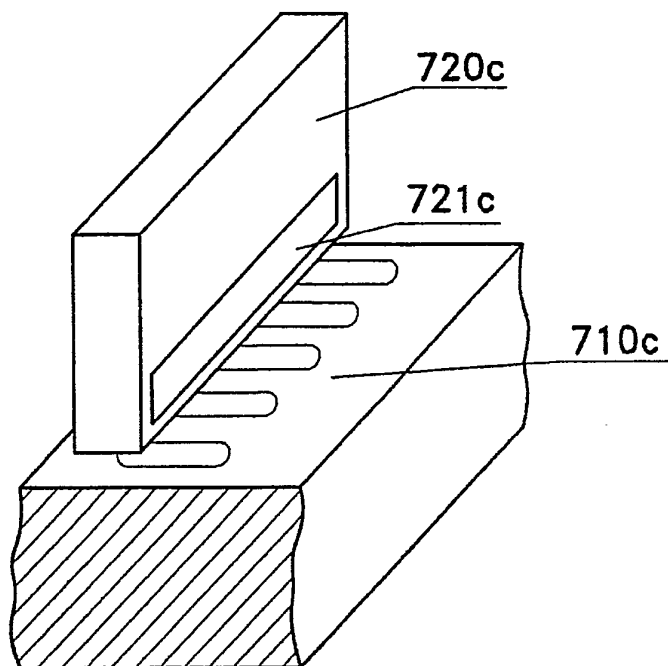


FIG.8a

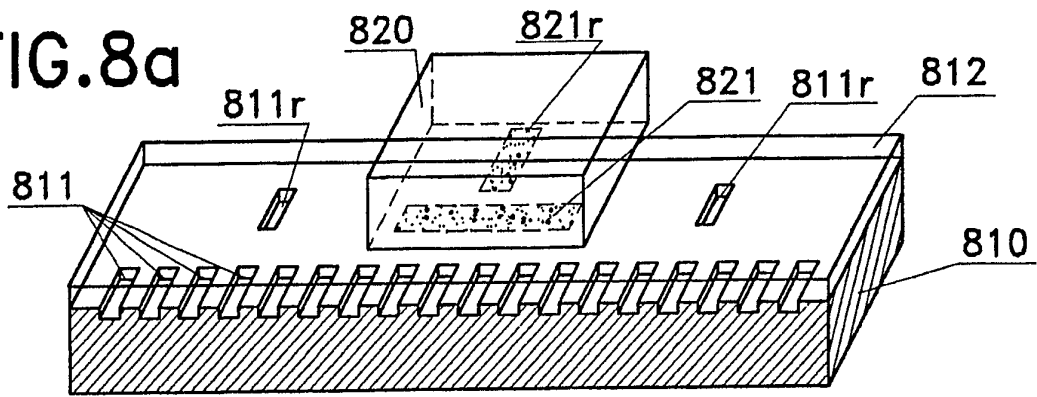


FIG.8b

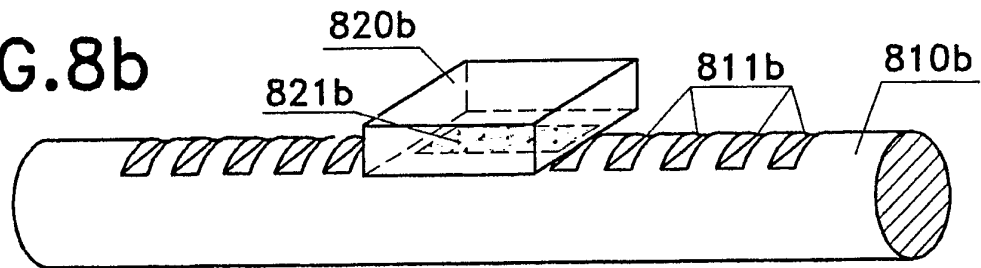


FIG.8c

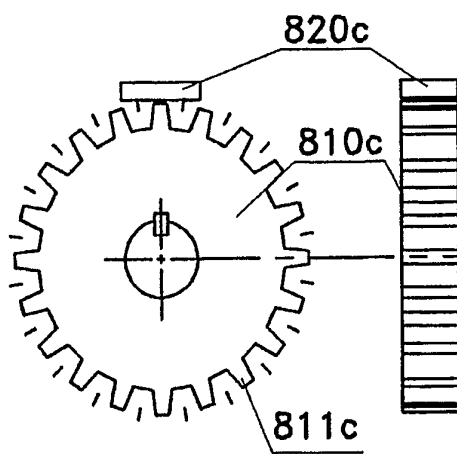


FIG.8d

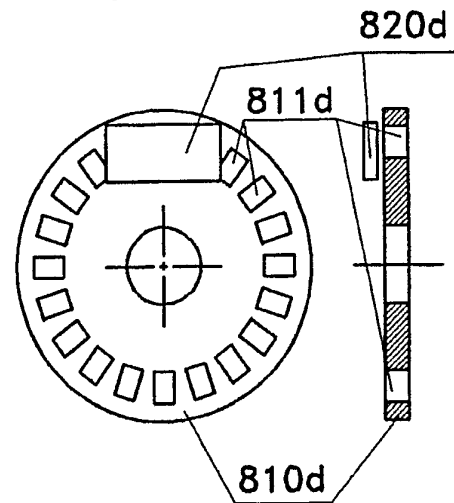


FIG.8e

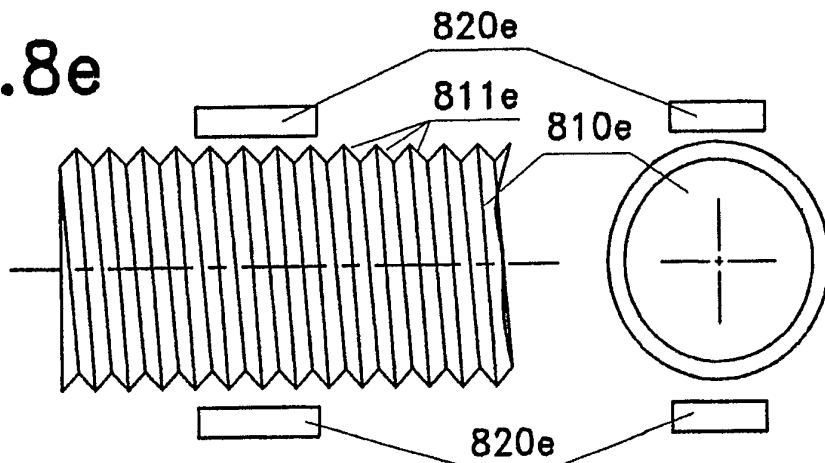


FIG.9a

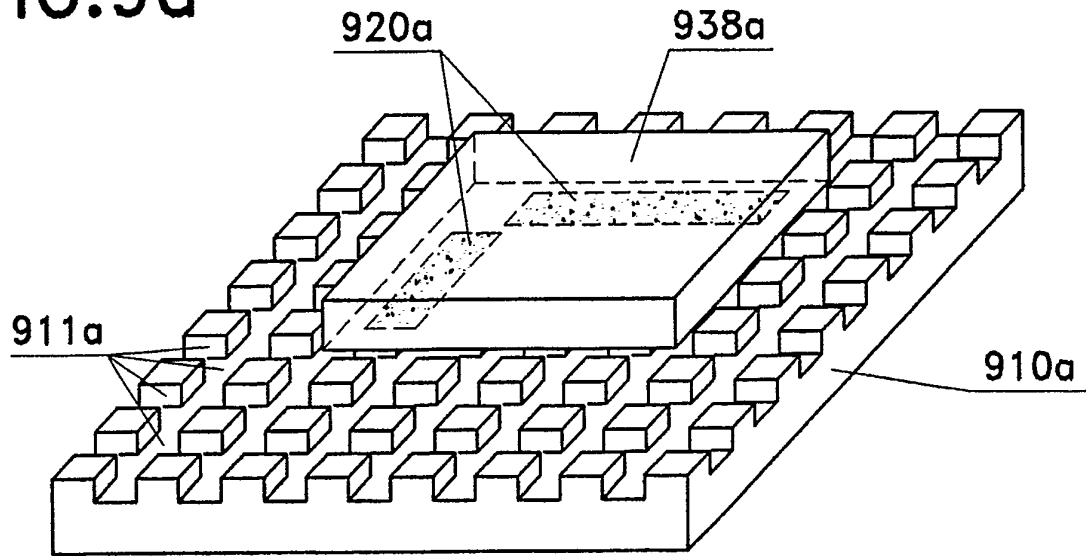


FIG.9b

