



CH 689 496 A5



CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

11 CH 689 496 A5

51 Int. Cl.<sup>6</sup>: G 01 P 015/13  
G 01 P 015/125

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: 03086/92

22 Date de dépôt: 02.10.1992

24 Brevet délivré le: 14.05.1999

45 Fascicule du brevet  
publiée le: 14.05.1999

73 Titulaire(s):  
Centre Suisse d'Electronique et de  
Microtechnique S.A., Maladière 71,  
2000 Neuchâtel 7 (CH)

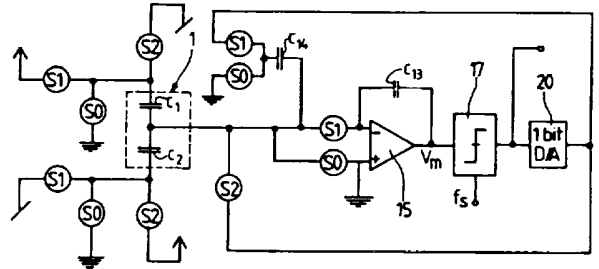
72 Inventeur(s):  
Chevroulet, Michel Alain, Neuchâtel (CH)  
Smith, Ted, Cortaillod (CH)

74 Mandataire:  
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets S.A.,  
Passage Max-Meuron 6/8, 2001 Neuchâtel (CH)

54 Dispositif de mesure d'une force muni d'un capteur capacitif.

57 Le dispositif de mesure d'une force et notamment d'une force d'inertie correspondant à une accélération comprend un capteur capacitif comprenant deux capacités dont la différence est fonction de la force mesurée.

Le dispositif de mesure comprend également un circuit électronique permettant de générer un signal de sortie déterminé par une opération de comparaison de la valeur des deux capacités. Ce signal est généré sous la forme d'un signal numérique modulé en densité d'impulsions.



CH 689 496 A5

## Description

La présente invention concerne un dispositif de mesure d'une force telle que par exemple une force d'inertie correspondant à une accélération du dispositif.

5 Plus précisément, l'invention concerne un tel dispositif de mesure dans lequel la force mesurée agit sur une lame suspendue élastiquement et formant l'une des armatures de deux capacités.

Un tel dispositif de mesure est décrit dans un article paru dans la revue «Sensors and Actuators» A21-A23 (1990), pages 316 à 319 et dont les auteurs sont S. Suzuki et al. Une construction analogue du dispositif de mesure résulte du brevet EP-A 0 369 352.

10 Le dispositif de ces deux documents antérieurs comprend ainsi un capteur capacitif dans lequel une lame suspendue élastiquement forme l'armature mobile de deux capacités, ladite lame mobile étant susceptible d'être soumise à une force que l'on désire mesurer de manière à faire varier lesdites capacités, et des moyens électroniques pour fournir un signal représentatif de la différence des deux capacités. Ce signal est d'une part employé comme signal de sortie représentatif de la valeur de ladite force et d'autre part utilisé, en étant appliqué auxdites capacités, pour engendrer une force électrostatique capable de compenser la force extérieure agissant sur ladite lame.

15 Dans cette solution antérieure, les moyens électroniques destinés à former le signal représentatif de la différence des deux capacités, comprennent un modulateur de largeur d'impulsion. Un tel modulateur fournit en sortie un signal de forme rectangulaire, les fronts montants du signal sont cadencés par l'horloge pilotant le modulateur. La largeur des impulsions, c'est-à-dire leur durée, est fonction du signal d'entrée du modulateur, le signal de sortie du modulateur n'est donc pas à proprement parler un signal digital puisque l'information est transmise d'une façon analogique par la largeur des impulsions. Le signal fourni en sortie d'un détecteur construit selon ce principe, ne peut pas être transmis directement à une unité de traitement numérique. Pour cette raison, le dispositif décrit dans les documents ci-dessus 20 comporte en sortie un filtre passe-bas qui transforme le signal formé d'impulsions de largeur modulée en un signal analogique. Pour que ce signal soit utile à une unité de traitement numérique, il est nécessaire d'ajouter une étape de transformation du signal analogique en un signal numérique.

La présente invention a pour but de remédier à ce défaut de l'art antérieur. Elle atteint ce but en fournissant un dispositif de mesure d'une force et notamment d'une force d'inertie correspondant à une 30 accélération, comprenant,

- un capteur capacitif comprenant deux capacités et dans lequel une lame suspendue élastiquement, forme l'armature mobile desdites capacités, ladite lame mobile étant susceptible d'être soumise à ladite force de manière à faire varier lesdites capacités et
- 35 - des moyens électroniques pour fournir un signal représentatif de la différence des deux capacités ce signal étant d'une part employé, comme signal de sortie représentatif de ladite force et d'autre part utilisé, en étant appliqué auxdites capacités, pour engendrer une force électrostatique, capable de compenser la force appliquée à ladite lame, caractérisé en ce que lesdits moyens électroniques comprennent des moyens pour engendrer ledit signal sous une forme numérique modulée en densité d'impulsions en fonction de ladite force.

40 Un tel signal modulé en densité d'impulsions est un signal réellement numérique. Il peut donc être fourni sans intermédiaire à un quelconque système de traitement numérique, à condition que les fréquences d'horloges des moyens de modulation en densité d'impulsion et de celles de ladite unité de traitement numérique soient synchronisées. Le signal modulé en densité d'impulsions peut également être fourni à un filtre passe bas semblable à celui décrit dans le document antérieur ci-dessus, pour 45 produire un signal analogique. Finalement si l'horloge qui cadence les moyens de modulation et celles du système de traitement numérique situées en aval ne sont pas synchronisées, on peut utiliser un filtre passe-bas numérique c'est-à-dire un compteur pour transformer directement les impulsions reçues du dispositif de mesure en impulsions utilisables par le système de traitement numérique.

50 Selon un mode préféré de réalisation de l'invention, le capteur capacitif contient un gaz par exemple de l'air, pour amortir les mouvements de la lame suspendue élastiquement et contribuer ainsi à la stabilité du signal fourni par le dispositif de mesure.

Selon un deuxième mode de réalisation préféré de l'invention, le dispositif de mesure contient un intégrateur disposé en sortie du capteur capacitif pour éliminer les effets dus à la non linéarité du dispositif.

55 Selon un troisième mode préféré de réalisation, les moyens électroniques pour fournir un signal représentatif de la différence des deux capacités sont constitués par un comparateur ou convertisseur analogique/numérique qui donne un signal multi-bits. Cette dernière caractéristique présente l'avantage de permettre aux moyens électroniques de travailler à une fréquence plus faible et donc d'avoir une consommation d'énergie réduite.

60 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description détaillée qui va suivre de quatre modes de réalisation particuliers de la présente invention donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels:

65 - La fig. 1 est le schéma électronique d'un premier mode de réalisation d'un dispositif de mesure d'une force conforme à la présente invention,

- la fig. 2 décrit sous forme de graphiques l'évolution au cours du temps des tensions électriques mesurées d'une part en neuf emplacements du circuit représenté sur le schéma de la fig. 1, et d'autre part sur trois sorties (non représentées) de l'horloge commandant le dispositif,

5 - la fig. 3 est le schéma électronique d'un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de mesure d'une force conforme à la présente invention, et

- la fig. 4 est le schéma électronique d'un troisième mode de réalisation d'un dispositif de mesure d'une forme conforme à la présente invention comprenant en sortie du capteur capacitif un intégrateur.

10 On a représenté sur la fig. 1 le schéma électronique d'un premier mode de réalisation d'un dispositif de mesure d'une force conforme à la présente invention. Le dispositif comprend un capteur capacitif 1 dont le principe est déjà connu de l'homme du métier. Ce capteur comporte une lame conductrice mobile 2 suspendue élastiquement entre deux plaques fixes 3, 4. Sous l'effet d'une force extérieure et notamment sous l'effet d'une force d'inertie, la lame conductrice ou électrode mobile 2 peut s'écarter de sa position d'équilibre située à mi-chemin entre les deux plaques ou électrodes fixes 3, 4. A l'équilibre, c'est-à-dire en l'absence de forces extérieures, la capacité C1 mesurée entre l'électrode mobile 2 et la première électrode fixe 3 est égale à la capacité C2 mesurée entre l'électrode mobile 2 et la deuxième électrode fixe 4. Lorsque sous l'effet d'une accélération du système par exemple, l'électrode mobile 2 s'écarte de sa position d'équilibre, la distance qui la sépare d'une des électrodes fixes diminue, alors que la distance qui la sépare de l'autre grandit. Dans ces conditions, la capacité C1 mesurée entre l'électrode mobile et la première électrode fixe va croître alors que l'autre capacité C2 va diminuer. On comprend donc que la différence entre les deux capacités C1, C2 est fonction de l'écart entre la position qu'occupe l'électrode mobile (2) et sa position d'équilibre, et qu'elle est donc fonction également de la force extérieure exercée sur l'électrode mobile (2).

20 Le dispositif est, comme on l'a déjà dit, un système numérique cadencé avec une période qui est un multiple de la période d'une horloge non représentée reliée au dispositif.

25 Chaque période ou cycle du fonctionnement du dispositif est divisée en trois phases ou étapes désignées respectivement par  $\emptyset 0$ ,  $\emptyset 1$  et  $\emptyset 2$ , et dont l'enchaînement est commandé par des signaux  $\emptyset 0$ ,  $\emptyset 1$  et  $\emptyset 2$  (fig. 2) fournis par l'horloge (via des conducteurs non représentés). Ces signaux sont fournis à un certain nombre de commutateurs pour les commander de manière à ce que chacun d'eux soit fermé pendant l'une des trois phases du cycle de fonctionnement et soit ouvert durant les deux autres phases (ces commutateurs sont représentés sur la fig. 1 par l'une des indications S0, S1 ou S2 entourée d'un cercle, selon qu'ils sont fermés durant la phase S0, S1 ou S2 respectivement). Bien entendu, en pratique les commutateurs peuvent être formés par des transistors d'un circuit intégré dans lequel est matérialisé le circuit.

30 La fig. 2 comprend douze graphiques représentant l'évolution au cours du temps de douze signaux. Les neuf premiers graphiques décrivent l'évolution au cours du temps des tensions V21, V22, ..., V29 mesurées en neuf points du circuit représenté à la fig. 1 (ces neuf points sont référencés sur la fig. 1 par des chiffres de 21 à 29). Les trois derniers graphiques de la fig. 2 représentent l'évolution au cours du temps des signaux  $\emptyset 0$ ,  $\emptyset 1$  et  $\emptyset 2$  fournis par l'horloge.

40 Si on examine maintenant parallèlement le schéma du circuit de la fig. 1 et l'évolution des tensions V21 à V29, décrites par les graphiques de la fig. 2, au cours des différentes phases composant une période de fonctionnement du dispositif, on voit que durant la phase S0, l'électrode mobile 2 est mise à la terre alors que les deux électrodes fixes 3, 4 sont raccordées respectivement à l'entrée inverseuse de chacun des amplificateurs 5 et 6. On voit également que la sortie de chaque amplificateur 5, 6 est court-circuitée avec son entrée inverseuse, et que la deuxième entrée de chaque amplificateur est mise à la masse. Dans ces conditions, le courant et les tensions seront partout nuls dans le circuit ce qui correspond à ce qu'indique la fig. 2 où l'on voit que chacune des tensions V21 à V29 est nulle pendant la phase S0.

45 La phase suivante S1 dans le cycle correspond à la phase de mesure de la position de l'électrode mobile 2. Au début de cette phase S1, tous les commutateurs référencés S0 sont ouverts et les trois commutateurs référencés S1 sont fermés. Dans ces conditions, l'électrode mobile 2 est connectée à une tension d'alimentation positive et se trouve donc placée à un potentiel de références VP. Les deux électrodes fixes 3, 4 sont, comme durant la phase précédente, reliées chacune à l'entrée inverseuse d'un des amplificateurs 5, 6. Durant cette phase S1, la sortie de chaque amplificateur et reliée à son entrée inverseuse par l'intermédiaire d'un condensateur C3, C4. En effet, il n'y a plus de court-circuit puisque le commutateur S0 voisin de chaque condensateur est maintenant ouvert. Avec une telle configuration de connexion, on voit que, conformément à ce qui est décrit dans la fig. 2, les plaques 3 et 4 des condensateurs C1 et C2 vont se charger sous l'effet de l'élévation à un potentiel VP de l'électrode mobile 2. La tension qui est responsable du déplacement des charges vers les plaques 3, 4 des condensateurs C1 et C2 va également produire une différence de potentiel entre les deux entrées de chaque amplificateur opérationnel 5, 6. Les amplificateurs vont donc émettre du courant tant que subsistera cette différence de potentiel. Ce courant va charger les condensateurs C3 et C4 jusqu'à ce que la tension entre les entrées des amplificateurs soit à nouveau nulle. A ce moment-là, les tensions V8 et V9 aux sorties des deux amplificateurs 5 et 6 respectivement seront déterminés par les deux relations suivantes:

$$\delta V \times C1 = V8 \times C3$$

$$\delta V \times C2 = V9 \times C4$$

5 Les capacités C3 et C4 étant choisies de valeurs égales, les tensions V8 et V9 mesurées seront proportionnelles respectivement aux capacités C1 et C2. Comme on le voit sur la fig. 1, les tensions V8 et V9 aux sorties des amplificateurs 5 et 6 sont fournies aux entrées d'un comparateur 7. Dans le mode de réalisation décrit ici, le comparateur utilisé est un convertisseur analogique/numérique à un bit d'un type bien connu de l'homme du métier.

10 Au moment du passage de la deuxième phase S1 à la troisième phase S2, le comparateur évolue les niveaux respectifs des signaux qu'il reçoit en entrée et émet par sa sortie directe 10 un signal haut (de niveau VP) si la tension V8 est plus grande que la tension V9 et un signal bas (de niveau Vc) dans le cas inverse. Le comparateur émet simultanément par sa sortie inverse un signal de niveau Vc si la tension V8 est plus grande que la tension V9 et un signal de niveau VN dans le cas inverse. Le signal fourni par le comparateur 7 constitue d'une part le signal utile en sortie du dispositif, et d'autre part sert à générer une force électrostatique durant la troisième phase S2 de chaque période de fonctionnement du dispositif, pour ramener l'électrode mobile 2 constituant l'une des armatures de chacune des capacités C1 et C2, dans sa position de repos dans laquelle les capacités C1 et C2 ont des valeurs égales.

15 La troisième phase S2 du cycle de fonctionnement du dispositif et comme on vient de le dire une phase de compensation des forces externes exercées sur la lame mobile 2. Les commutateurs référencés S1 qui étaient fermés durant la phase précédente sont maintenant ouverts et trois commutateurs 20 référencés S2 sont maintenant fermés. Avec cette configuration des connexions du circuit, l'électrode mobile 2 se trouve placée à une tension de référence négative VN alors que l'électrode fixe 3 de la capacité C1 est reliée à la sortie inverse 11 du comparateur 7 et que l'électrode fixe 4 de la capacité C2 est reliée à la sortie principale 10 du comparateur. Dans ces conditions lors du passage de la phase 25 S1 à la phase S2, si la valeur de la capacité C1 mesurée, est par exemple plus grande que la valeur de la capacité C2, l'électrode fixe 3 de la capacité C1 sera placée au potentiel VN alors que l'électrode fixe 4 de la capacité C2 sera placée au potentiel VP. Le champ électrique entre les électrodes 2 et 3 toutes deux au potentiel VN sera donc nul alors que la plaque 4 du condensateur C2 étant au potentiel VP, elle exercera une force d'attraction sur l'électrode mobile 2. Cette force tendra à faire augmenter 30 la distance entre les électrodes 2 et 3 et diminuer la distance entre les électrodes 2 et 4 et donc à équilibrer ces distances et simultanément à égaliser les valeurs des capacités qui leur sont liées. Lorsqu'une force extérieure écarte la lame 2 de sa position d'équilibre la force électrostatique qui vient d'être décrite constituera une force de rappel qui s'ajoutera à la force de rappel élastique du capteur. La constante de rappel K tendant à ramener l'électrode mobile du capteur capacitif vers sa position d'équilibre comprendra donc une composante mécanique et une composante électronique, cette deuxième composante 35 pouvant être beaucoup plus grande que la première.

Lors de la troisième phase S2 de chacun des cycles du dispositif, la lame mobile 2 du capteur capacitif est soumise à une force électrostatique dans un sens ou dans l'autre, même si le dispositif ne mesure aucune force extérieure dont l'effet doit être compensé. La raison de ceci est que le comparateur 40 fournit lors de chaque cycle un signal soit haut soit bas, et qu'il produit donc nécessairement à chaque cycle également une force électrostatique de rappel sur la lame mobile 2. L'effet parasite de cette force de rappel en l'absence d'une force extérieure à compenser sera annulé au cycle suivant lorsque le comparateur fournira une tension produisant une force en sens inverse. En l'absence de force extérieure, le capteur émet donc un signal rectangulaire qui est haut exactement une période sur deux.

45 Dans le mode de réalisation de la présente invention décrit ci-dessus, la mesure de la position de l'électrode mobile est effectuée en plaçant celle-ci à un potentiel donné, puis en mesurant la quantité de charges qui viennent s'accumuler dans les deux électrodes fixes sous l'effet de la tension ainsi produite entre celles-ci et l'électrode mobile. Dans ces conditions, la mesure de la position est dite mesure de la position à tension constante. On peut de façon équivalente réaliser une mesure de la position à 50 charges constantes. A cet effet, on interdit toute circulation de courant électrique à partir de ou vers les électrodes fixes, et on mesure le potentiel de celles-ci par rapport à la terre.

Le circuit électrique représenté par le schéma de la fig. 3 correspond à un autre mode de réalisation de la présente invention. Le capteur capacitif 1 utilisé dans ce deuxième mode de réalisation, peut être 55 identique à celui utilisé avec le premier mode de réalisation. Toutefois, pour mesurer la position de l'électrode mobile, au lieu de mettre celle-ci à un potentiel de référence donné, puis de mesurer le nombre de charges qui viennent s'accumuler dans les électrodes fixes, on met les deux électrodes fixes à des potentiels de référence donnés qui sont de signes opposés, et on mesure la quantité de charge qui vient s'accumuler dans l'électrode mobile. Le principe de fonctionnement du circuit électronique lui-même est très semblable à celui du circuit de la fig. 1. En particulier, la tension que l'on pourrait mesurer à la base de l'électrode mobile, a un comportement qualitativement identique aux comportements 60 des tensions décrits par les graphiques 21 et 23 (fig. 2). La seule différence étant qu'ici, la tension peut être soit négative soit positive suivant que l'électrode mobile s'est écarté de sa position en direction respectivement de la première ou de la deuxième électrode fixe. De plus, la tension qu'on pourrait mesurer en sortie de l'amplificateur 15 a un comportement qualitativement identique aux tensions représentées par les graphiques 28 et 29 (fig. 2) sauf en ce qui concerne le signe de la tension, celle-ci pouvant être 65

également positive ou négative suivant que la capacité C1 est plus grande que la capacité C2 ou que l'inverse est vrai. Si on désigne par VM la tension fournie à l'entrée du comparateur à la fin de la phase S1, un raisonnement identique à celui effectué pour les tensions représentées par les graphiques 28, 29 donnent la relation suivante:

$$VM = \frac{C1 - C2}{C13} (VP - VC)$$

le sous-bloc du schéma électrique de la fig. 3 qui est constitué par l'amplificateur 15, la capacité C13 et les conducteurs qui leurs sont associés, constitue un intégrateur. Si le cycle de fonctionnement du dispositif ne comprenait pas une phase S0 pendant laquelle les deux bornes du condensateur C13 sont court-circuitées, la tension auxdites bornes pourrait croître de façon illimitée et donc entraîner la saturation du dispositif. L'utilisation d'un commutateur (S0) pour court-circuiter les bornes du condensateur C13 présente toutefois un inconvénient. En effet, le gain de l'amplificateur 15 et la valeur de la capacité C13 étant sélectionnés de façon à éliminer tout risque de saturation pendant la durée d'une phase S1 même en présence d'une accélération relativement importante, la tension produite en sortie de l'intégrateur à la fin d'une phase S1 sera très petite lorsque l'accélération mesurée est petite. Dans ces conditions, le système dans son ensemble risque de ne pas présenter une sensibilité suffisante pour détecter cette accélération très petite. On observera donc dans ce cas un seuil de sensibilité du dispositif en dessous duquel les accélérations ne sont pas suffisantes pour être mesurées. Un tel seuil peut être gênant dans certaines applications.

Le mode de réalisation de la présente invention décrit par le schéma électrique de la fig. 4 ne présente pas l'inconvénient qui vient d'être décrit. En comparant ce schéma avec celui de la fig. 3, on constate que le commutateur (S0) servant à court-circuiter les bornes de la capacité C13 durant la phase S0 a été supprimé. Pour empêcher tout de même la saturation de l'intégrateur, une ligne de rétroaction négative a été ajoutée partant de la sortie du comparateur et agissant sur l'entrée inverseuse de l'amplificateur 15. Cette boucle de rétroaction comprend un convertisseur numérique/analogique constitué par un filtre passe-bas, un commutateur S1 et une capacité C14. On peut aisément calculer le changement dans le niveau de la tension VM fournie à l'entrée du comparateur 17 correspondant également à la tension aux bornes de la capacité C13, entre un cycle du dispositif et le suivant. Cette variation  $\Delta VM$  de la tension VM dépendra ici de la tension VA fournie par le convertisseur numérique/analogique. La variation de la tension VM est donnée par:

$$\Delta VM = \frac{C1 - C2}{C13} (VP - VC) - \frac{C14}{C13} VA$$

Le terme de rétroaction (le plus à droite dans la relation mathématique ci-dessus) empêche la saturation de l'intégrateur. Des essais réalisés sur des prototypes ont montré que le circuit qui vient d'être décrit élimine le seuil de sensibilité autour de 0 qui constituait un défaut des modes de réalisation décrits plus haut.

Une autre caractéristique avantageuse que peut présenter un dispositif de mesure d'une force selon l'invention est constituée par l'utilisation d'un comparateur multi-bits à la place du comparateur à un bit décrit plus haut. Un tel comparateur multi-bits est un dispositif bien connu de l'homme du métier, toutefois son utilisation dans un dispositif de mesure d'une force selon la présente invention présente des avantages tout-à-fait remarquables. L'avantage principal lié à l'utilisation d'un comparateur multi-bits est relatif à la détermination de la force électrostatique destinée à compenser les forces extérieures s'exerçant sur l'électrode mobile. Lorsque le système utilise un comparateur à un bit, la force électrostatique de contre-réaction aura à chaque cycle une intensité égale, seul le sens de celle-ci étant déterminé par le comparateur à chaque cycle. Dans ces conditions, le système doit nécessairement, pour maintenir l'électrode mobile dans le voisinage de sa position d'équilibre, fonctionner à une fréquence très élevée. La force électrostatique générée dans le capteur fournissant à chaque cycle un travail, la consommation en énergie du dispositif est considérable, cette consommation est de plus pratiquement proportionnelle à la fréquence de l'horloge. L'utilisation d'un comparateur fournissant en sortie un signal multi-bits permet de générer un signal de contre-réaction électrostatique dont la réponse est adaptée au degré d'écartement de l'électrode mobile par rapport à sa position d'équilibre. Grâce à cette contre-réaction modulable en fonction des besoins, la stabilité du système peut être assurée même avec un dispositif dont la fréquence de fonctionnement est beaucoup plus faible que celle nécessaire dans un système à un bit. L'utilisation d'une fréquence plus faible résulte donc dans une économie d'énergie considérable.

L'utilisation d'un comparateur multi-bits présente également l'avantage d'abaisser le seuil de sensibilité auquel on a fait référence plus haut.

Le schéma du fonctionnement du dispositif de mesure d'une force conforme à la présente invention est topologiquement tout-à-fait semblable au schéma d'un convertisseur sigma-delta de deuxième ordre, ou autrement dit d'un convertisseur sigma-delta dont la boucle comprend deux intégrations. Dans le dispositif selon la présente invention la première intégration est effectuée mécaniquement par le capteur

lui-même alors que la deuxième intégration est effectuée par l'intégrateur électronique. Le capteur capacitif 1 effectue déjà en théorie deux intégrations mais la présence entre les plaques du capteur capacitif d'air ou d'un autre gaz, produit un amortissement considérable du mouvement. Le fort amortissement du système supprime un des pôles de la boucle. Cette analogie avec un convertisseur sigma-delta permet de considérer un dispositif de mesure d'une force conforme à la présente invention comprenant un convertisseur à un bit, comme étant un convertisseur sigma-delta de deuxième ordre fortement échantillonné (par rapport à la bande passante), alors qu'un dispositif de mesure d'une force conforme à la présente invention comprenant un convertisseur multi-bits correspond simplement à un convertisseur sigma-delta de deuxième ordre suréchantillonné.

10

### Revendications

1. Dispositif de mesure d'une force et notamment d'une force d'inertie correspondant à une accélération, comprenant,
  - 15 – un capteur capacitif (1) comprenant deux capacités (C1, C2) et dans lequel une lame (2) suspendue élastiquement, forme l'armature mobile desdites capacités (C1, C2), ladite lame (2) mobile étant susceptible d'être soumise à ladite force de manière à faire varier lesdites capacités (C1, C2) et
  - 20 – des moyens électroniques (5, 6, 7, C3, C4; 15, 17, C13, C14) pour fournir un signal (27) représentatif de la différence des deux capacités (C1, C2) ce signal étant d'une part employé, comme signal de sortie représentatif de ladite force et d'autre part utilisé, en étant appliqué auxdites capacités (C1, C2), pour engendrer une force électrostatique, capable de compenser la force appliquée à ladite lame (2), caractérisé en ce que lesdits moyens électroniques comprennent des moyens (7; 17) pour engendrer ledit signal sous une forme numérique modulée en densité d'impulsions en fonction de ladite force.
  - 25 2. Dispositif de mesure d'une force conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que ledit capteur capacitif (1) contient un gaz pour amortir les mouvements de ladite lame mobile (2).
  3. Dispositif de mesure d'une force conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens (7; 17) pour engendrer ledit signal sous une forme numérique comprennent un comparateur à un bit.
  - 30 4. Dispositif de mesure d'une force conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens (7; 17) pour engendrer ledit signal sous une forme numérique comprennent un convertisseur multi-bits.
  5. Dispositif de mesure d'une force conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens électroniques comprennent un intégrateur électronique (15, C13) situé après la sortie du capteur capacitif (1).
  - 35 6. Dispositif de mesure d'une force conforme à la revendication 5, caractérisé en ce que ledit signal engendré sous une forme numérique est également fourni à une boucle de rétroaction négative supplémentaire (17, 20, C14) pour ledit intégrateur électronique.

40

45

50

55

60

65

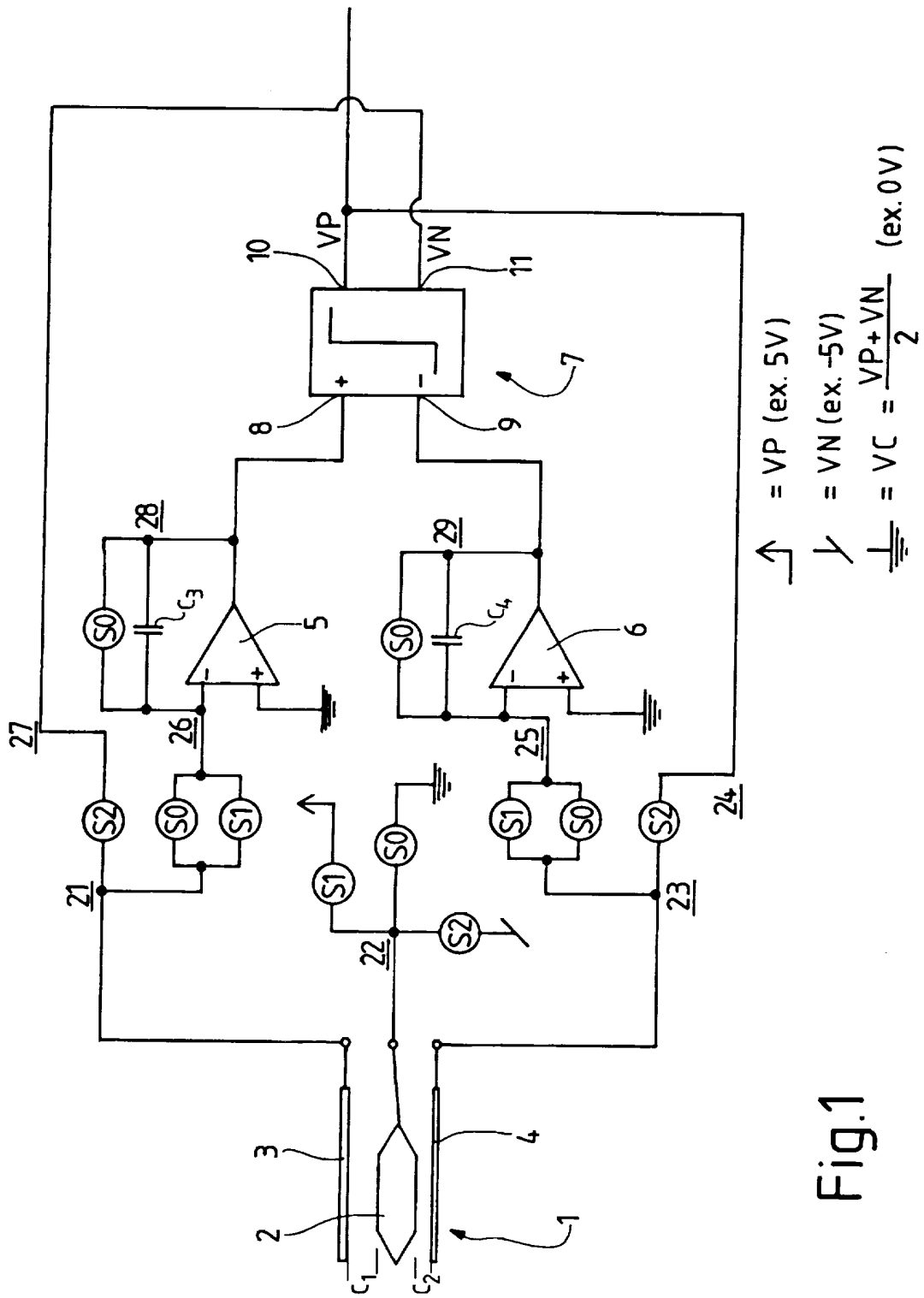


Fig.1

Fig.2

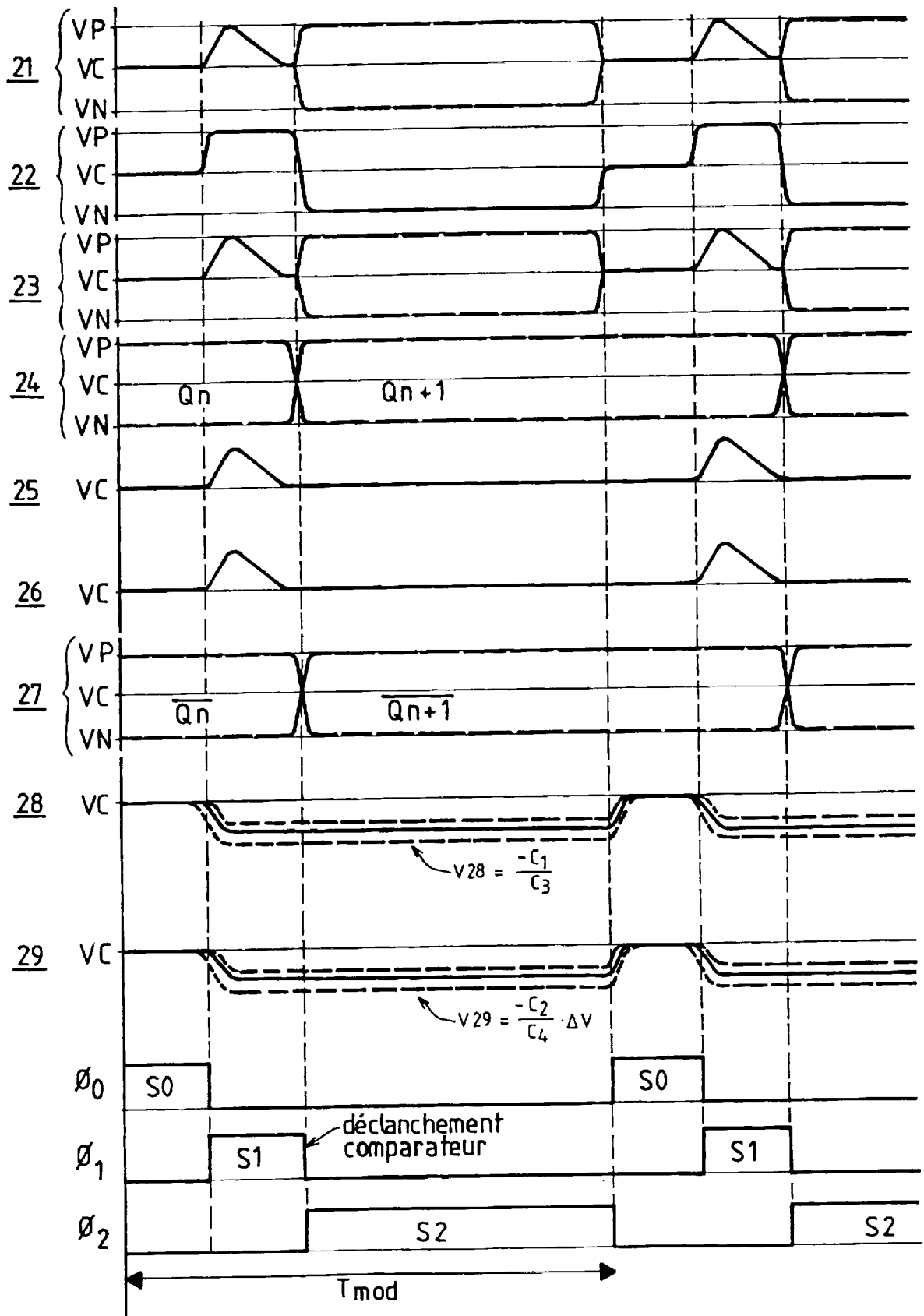


Fig. 3

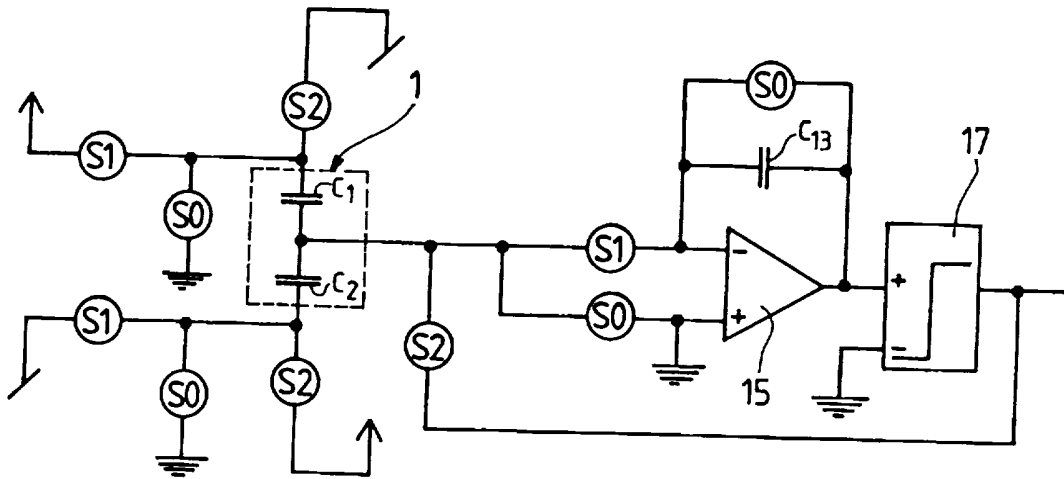


Fig. 4

