(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 538 542**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **82 21858**

(51) Int Cl³ : G 01 D 5/24, 5/16.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) Date de dépôt : 28 décembre 1982.

(30) Priorité

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 26 du 29 juin 1984.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *FEUILLEE Michel Eugène Alexandre.* — FR.

(72) Inventeur(s) : Michel Eugène Alexandre Feuillée.

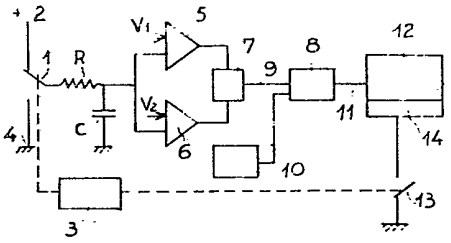
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) :

(54) Dispositif de mesure à capteur capacitif ou résistif et à sortie numérique pour mesures de grandeurs physiques.

(57) L'invention concerne une électronique de codage qui comprend un circuit série RC dont l'un des éléments est le capteur, l'autre ayant une valeur fixe. Le circuit est alternativement chargé et déchargé par l'interrupteur I. Deux comparateurs 5 et 6 référencés aux tensions V_1 et V_2 dont le rapport V_1/V_2 est fixe, ouvrent pendant la décharge du condensateur de V_1 à V_2 une porte 8 qui transmet la fréquence F de l'oscillateur 10 au compteur 12.

Parmi les utilisations les plus intéressantes, on peut citer la mesure des déplacements, positions, niveaux, angles, températures, contraintes, poids, forces, couples, pressions, accélérations, vitesse, débits, densité, etc.



FR 2 538 542 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

La présente invention concerne un dispositif de mesure à sortie numérique pour capteur capacitif ou pour capteur résistif, destiné particulièrement, mais non exclusivement, à la détermination du déplacement d'un objet mobile par rapport à un autre objet, ou à la détermination de position du niveau d'un corps liquide, pâteux, pulverulent, granuleux, ou à la détermination d'une caractéristique physique particulière (par exemple: humidité d'un corps isolant solide, liquide ou gazeux; température; pression...).

Les imperfections des systèmes analogiques (précision limitée, difficultés de réglages, difficultés du traitement de l'information...) et le développement des systèmes numériques grâce aux circuits intégrés associés aux possibilités de traitements numériques et logiques des microprocesseurs, font apparaitre le besoin de systèmes convertissant une certaine grandeur physique en grandeur numérique, cette grandeur pouvant être utilisée soit pour un affichage direct, soit comme entrée d'une chaine de traitement numérique et/ou d'asservissement.

On connait en particulier des dispositifs utilisant comme capteur un condensateur dont la capacité électrique varie avec la grandeur que l'on veut mesurer (déplacement linéaire ou circulaire d'une armature; niveau d'un liquide conducteur ou isolant; niveau de poudre; taux d'humidité dans le diélectrique...). Ces capteurs capacitifs ont jusqu'à maintenant surtout été utilisés en analogique, soit inclus dans un pont de mesure, soit comme impédance variable aux bornes de laquelle on recueille une tension alternative variable. Par principe, ces schémas ne fournissent pas une tension de mesure strictement proportionnelle à la grandeur à mesurer. Ils sont utilisés généralement dans un faible domaine de mesure ou mieux en pont comme appareils de zéro.

Une autre possibilité de les utiliser est de les inclure comme élément réactif dans un montage oscillateur. On obtient ainsi une variation de fréquence fonction de la

variation de capacité. Le brevet L 45032 de la République Fédérale d'Allemagne et les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 3716782 et 3775679 décrivent des exemples de ces procédés.

On sait que les oscillateurs de type LC donnent une fréquence inversement proportionnelle à la racine carrée de la capacité. Ils ne sont donc pas linéaires. Les oscillateurs de type RC encore appelés multivibrateurs (par exemple brevet français n° 2454083 ; montages oscillateurs à base d'amplificateurs opérationnels ou de comparateurs de tension type LM 139, Am 685 ou de circuits de temporisation type NE 555) donnent une tension périodique dont la période est T=kRC. Cette période est proportionnelle à C, donc à la grandeur à mesurer si C est proportionnelle à cette dernière. Seulement ces montages ont une stabilité de fréquence assez faible. Leur fréquence varie entre autre avec la tension d'alimentation, les caractéristiques du circuit intégré utilisé (temps de propagation, tension et/ou courant différentiel d'entrée...),la température.

On connait par ailleurs des appareils de mesure numériques qui permettent de mesurer la capacité d'un condensateur. Ils sont utilisés pour le contrôle des composants.

On connait également des capteurs résistifs comme les potentiomètres linéaires dont le curseur est lié à l'objet mobile, comme les sondes résistives de température, ou comme les sondes de niveau pour liquide ou poudre conducteur.

Dans son aspect le plus large, l'invention concerne un dispositif de mesure capacitif (ou résistif) comportant un capteur constitué essentiellement d'un condensateur variable (ou d'une résistance variable) dont la variation est en rapport direct avec la grandeur à mesurer (déplacement,niveau,taux d'humidité,température...),ou en rapport indirect (pression...), d'une électronique fournissant des impulsions électriques en nombre proportionnel à la capacité du capteur (ou à sa résistance), d'un compteur électronique qui fournit la mesure cherchée soit sous forme numérique (en binaire et/ou en décimal codé binaire et/ou en tout autre système),soit sous forme du changement d'état

d'un signal pour une valeur particulière de la grandeur mesurée, soit sous la forme d'un affichage.

Le capteur, pour la mesure d'un déplacement linéaire est une capacité variable d'un mode de construction connu depuis longtemps comme par exemple le condensateur cylindrique étalon décrit par Mr Fromy dans son cours de mesures en radiotechnique (Dunod I953 p29). Le condensateur est "constitué par deux armatures cylindriques tournées et centrées avec soin. L'armature intérieure se déplace... parallèlement à l'axe commun. Cette forme de condensateur permet de réaliser des variations de capacité calculables à partir des dimensions géométriques des armatures et dont la précision dépend de la précision d'usinage de ces armatures."

Ce n'est donc pas dans le mode de réalisation du capteur qu'est l'originalité de l'invention, mais dans la réalisation du circuit de mesure.

Le principe de mesure adopté est basé sur la mesure du temps de décharge à travers une résistance fixe, de la capacité électrique du capteur (ou d'une capacité fixe à travers un capteur de résistance variable) entre deux tensions fixes V_1 et V_2 . La capacité est préalablement chargée à une tension continue Vo supérieure à la tension V_1. Cette tension peut avantageusement être la tension d'alimentation du circuit.

Selon cette disposition, l'invention comporte :

- un dispositif de charge et décharge du capteur capacitif à travers une résistance fixe (ou à travers la résistance du capteur résistif) ; ce dispositif est constitué avantageusement par une porte électronique logique ayant deux états de sortie : le premier état étant une liaison à la tension d'alimentation ; le deuxième étant une liaison à la masse du montage.
- un pont diviseur fournissant deux tensions V_1 et V_2 fixes ou conservant pendant la durée de la mesure un rapport $\frac{V_1}{V_2}$ constant.
- deux circuits comparateurs, l'un qui compare la tension V aux bornes du capteur avec la tension V_1 et qui bascule à l'instant t_1 ou $V=V_1$, l'autre qui compare la tension V aux

bornes du capteur avec la tension V_2 et qui bascule à l'instant t_2 ou $V=V_2$.

- une horloge stable et à haute fréquence F suivie d'une porte ouverte de l'instant t_1 à l'instant t_2.
- un compteur électronique qui reçoit et compte les impulsions à fréquence F issues de la porte citée ci-dessus.
- des circuits annexes de séquencement de la mesure et de positionnement du compteur à l'état initial.

Selon un premier aspect de l'invention, la mesure est strictement proportionnelle à la valeur de la capacité (ou de la résistance) du capteur lors de la mesure. L'équation de la décharge d'un condensateur est $V=Voe^{-\frac{t}{RC}}$ d'ou pour $V=V_1$ $t_1=-RC \text{ Log } \frac{V_1}{Vo}$ et pour $V=V_2$ $t_2=-RC \text{ Log } \frac{V_2}{Vo}$

donc $t_2-t_1= RC(\text{Log } \frac{V_1}{Vo} - \text{Log } \frac{V_2}{Vo})= RC \text{ Log } \frac{V_1}{V_2}$

Le nombre N d'impulsions comptées est :

$N= F \times (t_2-t_1)= FR \text{ Log } \frac{V_1}{V_2} . C$

$N= kC$ (ou $N= k_1R$)

Selon un deuxième aspect de l'invention, il est possible d'éliminer l'effet des capacités parasites toujours présentes aux bornes du capteur. En effet, considérons à titre d'exemple, un dispositif de capteur pour la mesure d'un déplacement selon un mode de construction connu et non exclusif pour cet usage, fait de deux armatures planes ou cylindriques, distantes de e et dont la largeur perpendiculaire à la direction de déplacement est constante et égale à 1. Sa capacité est égale à : $C= \frac{\varepsilon l L}{e} + Cp$ avec L longueur de l'armature mobile qui est en regard de l'armature fixe, et Cp capacité parasite.

Le nombre d'impulsions réellement comptées est :

$N= F(t_2 - t_1)$

$N= FR \text{ Log } \frac{V_1}{V_2} (\frac{\varepsilon l L}{e} + Cp)$

$N= k_1L + kCp$

Si Lo est la longueur L correspondant à la position du capteur choisie pour origine des mesures,

$N= k_1 \times (L-Lo)+k_1Lo+kCp$

Pour éliminer l'effet de la capacité parasite et pour positionner l'origine de la mesure, il suffit de prépositionner avant la mesure, le compteur à une valeur -No telle que

$No=k_1Lo+kCp$

Selon un troisième aspect de l'invention, pour augmenter la précision et la sensibilité du dispositif, il est possible de cumuler les impulsions de plusieurs cycles de mesure.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaitront au cours de la description qui va suivre, faite en se référant aux dessins annexés, donnés uniquement à titre d'exemple, dessins qui ne sont nullement limitatifs des possibilités de réalisation et dans lesquels :

- la figure I montre un schéma très simplifié d'un dispositif de mesure selon l'invention ;
- la figure 2 représente un schéma détaillé d'un exemple de circuit électronique ;
- la figure 3 est une variante de la figure 2 dans laquelle les éléments sont séparés en deux groupes distincts ;
- la figure 4 est un schéma chronogramme des tensions aux divers points caractéristiques du circuit de la figure 2 ;
- la figure 5 représente une variante du chronogramme ou la mesure est prise sur m cycles de charge-décharge ;
- la figure 6 est un schéma de principe du dispositif utilisé avec un ordinateur ;
- la figure 7 représente un moyen de réaliser une compensation en température ;
- la figure 8 représente une réalisation d'électronique en un seul boitier hybride ou monolithique ;

On se réfère d'abord à la figure I qui permet de comprendre le principe de l'invention. Sur cette figure I, on a représenté le capteur capacitif C dont la variation de capacité est proportionnelle à la grandeur à mesurer comme par exemple une position, un déplacement, un niveau, un taux d'humidité, ou toute autre grandeur physique susceptible de produire une variation de capacité dans un capteur conçu pour l'usage souhaité selon des dispositions déjà connues ou à imaginer. Dans un premier temps, l'interrupteur I est relié à l'alimentation continue 2. La capacité se charge à travers l'interrupteur I et la résistance fixe R. Dans un second temps, l'interrupteur I commandé par le circuit séquenceur 3, relie le circuit RC à la masse 4. La capacité C se décharge selon une loi exponentielle. Au temps t_1, lorsque la tension aux bornes de la capacité C atteind la tension V_1, le comparateur 5 qui était par exemple à l'état haut, change d'état et passe à l'état bas. Au

temps t_2, lorsque la tension aux bornes de la capacité C a atteind la tension V_2, le comparateur 6 qui était par exemple à l'état bas passe à l'état haut.

Les sorties des comparateurs 5 et 6 fournissent après passage dans le circuit NON ET 7 une impulsion de largeur t_2-t_1 à l'entrée 9 de la porte 8 qui autorise la transmission des signaux à la fréquence F générés par l'oscillateur IO. Les impulsions présentes sur la sortie II sont comptées par le compteur électronique I2. Un interrupteur I3 commandé par le séquenceur 3 provoque une mise à l'état initial du compteur I2, défini par un système de présélection I4 du compteur.

Dans la variante à capteur résistif, R représente le capteur et C est une capacité de valeur fixe.

La figure 2 représente à titre d'exemple un mode de réalisation de l'invention et sans que ce schéma soit exclusif. L'interrupteur I est constitué d'une porte électronique I5, en technologie TTL (SN 7400 par exemple), CMOS (CD 40II), ECL ou toute autre technologie existante ou à venir. Les tensions de référence V_1 et V_2 sont réalisées par un pont diviseur résistif constitué des résistances I6, I7, I8, alimenté par la tension d'alimentation I9, ou en variante par une tension stabilisée issue de la tension I9.

Les deux comparateurs 5 et 6 sont des circuits intégrés diffusés de préférence sur le même substrat monolithique pour qu'ils aient des caractéristiques aussi identiques que possible comme par exemple les circuits LM 339.

La porte NON ET 7 peut être réalisée par une simple résistance 20 si les deux comparateurs 5 et 6 ont une sortie à collecteur ouvert. Le créneau recueilli aux bornes de 20 est inversé par un inverseur ou une porte NON ET 2I. Il est transmis par la porte NON ET 22 seulement si la 2e entrée 23 est à l'état haut c'est-à-dire uniquement pendant le temps de décharge de C. La sortie de 22 débloque la porte NON ET 24 qui reçoit sur son entrée 25, la tension à fréquence F générée par un oscillateur IO stabilisé, si l'on recherche une bonne précision, par un quartz 26.

La figure 3 représente une variante de disposition des circuits de la figure 2 dans laquelle les éléments : séquenceur 3, oscillateur IO, quartz 26, compteur I2, système de présélection I4, peuvent être situés à une certaine distance du capteur C. Pour diminuer l'effet des capacités parasites et des pertubations électriques ou électromagnétiques ou dues à tout autre phénomène de l'environnement, le reste des éléments du schéma sera avantageusement mais non obligatoirement situé près du capteur C dans une enceinte commune à la partie fixe du capteur, enceinte qui formera blindage.

Dans le cas ou en particulier le système de présélection est situé loin du capteur, il est possible , sans accéder physiquement au capteur et sans réglages mécaniques, de procéder à distance aux réglages des points caractéristiques de fonctionnement du dispositif. Cette disposition est particulièrement avantageuse lorsque le capteur doit être installé dans des zones dangereuses ou dans des zones d'accès difficiles.

La figure 4 représente les chronogrammes des signaux aux points 27, 28, 29, 30, 3I, 32, 25, II et 33.

La figure 5 représente les chronogrammes des signaux aux points 27, 28, 29, 30, 3I, 32, 25, II et 33, dans le cas ou le séquenceur ne délivre une impulsion de remise à l'état initial du compteur I2 qu'après m cycles de charge-décharge du capteur C. Le nombre d'impulsions comptées est m fois plus grand que dans le cas détaillé en figure 4, ce qui améliore la sensibilité du dispositif et sa précision par l'effet de moyenne obtenu.

La figure 6 représente les liaisons du dispositif objet de l'invention avec un microprocesseur, un ordinateur ou un automate programmable désignés ci-après par l'ordinateur. "L'ordinateur" génère, grâce au déroulement d'un programme spécifique, les créneaux de mesure au point 27, le signal de remise à l'état initial au point 33. Il prélève sur son bus 34 les informations digitales à la fin de la phase de mesure proprement dite, et fournit les informations de présélection pour la mise à l'état initial sur le bus de sortie 35.

La figure 7 représente un moyen parmi d'autres de rendre le montage moins sensible aux variations de température. Le pont de résistance I6, I7, et I8 qui fournit les tensions de référence V_1 et V_2, est complété par une ou plusieurs thermistances et/ou résistances à coefficient de température négatif, 36, 37, 38, 39, montées en série et/ou en parallèle sur les résistances I7, I8. Il est possible, en ajustant convenablement la valeur de ces éléments, de compenser globalement dans une plage de température plus ou moins grande, les effets de la température sur le capteur C, sur la résistance de décharge R, sur les tensions et courants de décalage des comparateurs 5 et 6, et sur l'oscillateur IO.

La figure 8 représente une réalisation possible où tous les circuits électroniques au lieu d'être en circuits discrets sont rassemblés dans un même boitier 40, soit sous forme de circuit hybride, soit sous forme intégrée monolithique. Seuls restent externes le quartz 26, le capteur C et éventuellement la résistance R ainsi que des éléments de compensation. Cette solution permet de réduire les coûts dans le cas de fabrication en grande série.

Le dispositif objet de l'invention peut être utilisé dans de nombreuses applications où il peut apporter des améliorations substantielles sur le plan simplicité, facilité de réalisation, coût, qualité de mesure, par rapport aux dispositifs actuellement connus.

Parmi quelques applications possibles utilisant des capteurs appropriés de technologie connue, nous citerons d'une façon non exhaustive et à titre d'exemples:

- butée de fin de course réglable à distance et permettant sans destruction ni déréglage un dépassement de la position de consigne ;
- butée de fin de course à 2 ou plusieurs contacts pour commander des actions comme changement de vitesse, freinage, arrêt ;
- dispositif de mesure de cote comme pied à coulisse ou palmer électronique digital ;
- dispositif de signalisation de la position d'un vérin pneumatique ou hydraulique ou électrique ;

- dispositif de mesure d'un déplacement de table et/ou organe de machine ;
- dispositif de la mesure de diamètre d'un arbre (ou d'un alésage), cet arbre (ou cet alésage) constituant l'armature fixe du capteur, l'autre armature étant une bague (ou un tampon) ;
- jauge de niveau pour liquides, pâtes, poudres, granulés conducteurs ou isolants ;
- dispositif de mesure d'humidité dans un diélectrique, ce diélectrique pouvant être comme cas particulier de l'air ;
- dispositif de mesure des composants capacitifs ;
- mesures angulaires en utilisant un condensateur variable rotatif du type usuel en radiotechnique ;
- mesure de température avec sonde résistive ;
- mesure de contraintes dans des pièces mécaniques à l'aide de jauges résistives ;

REVENDICATIONS

I - Dispositif de mesure à sortie numérique pour capteur capacitif avec ou sans contact, comportant d'une part un capteur capacitif en série avec une résistance fixe, d'autre part un circuit pour déterminer la valeur de la capacité du capteur caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de charge et décharge de la capacité à travers la résistance fixe, ainsi que des moyens de mesure de la constante de temps RC de décharge du circuit (R)(C) par détermination de la durée que met la capacité pour se décharger d'une tension V_1 à une tension V_2.

2 - Dispositif de mesure à sortie numérique pour capteur résistif comportant d'une part un capteur résistif en série avec un condensateur de valeur fixe, et d'autre part un circuit pour déterminer la valeur de la résistance du capteur caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de charge et de décharge de la capacité fixe à travers la résistance variable du capteur, ainsi que des moyens de mesure de la constante de temps RC de décharge du circuit (R)(C) par détermination de la durée que met la capacité pour se décharger d'une tension V_1 à une tension V_2.

3 - Dispositif selon la revendication I ou 2 caractérisé en ce que la constante de temps dudit circuit RC est mesurée par cumul des impulsions en sortie (II) de la porte (8) sur m cycles de décharge, la valeur du nombre m étant déterminée par le circuit séquenceur (3).

4 - Dispositif selon la revendication I ou 2 caractérisé en ce que la constante de temps du circuit RC est mesurée par le franchissement de deux seuils de tension V_1 et V_2, la tension V_2 étant générée par un pont résistif fixe (I7)(I8) à partir de la tension continue V_1, la tension V_1 étant égale ou légèrement inférieure à la tension de charge de C.

5 - Dispositif selon la revendication I ou 2 caractérisé en ce que le créneau de mesure de la durée de décharge entre les seuils de tension V_1 et V_2 est généré par deux comparateurs identiques (5) et (6).

6 - Dispositif de mesure à sortie numérique selon la revendication I ou 2, caractérisé en ce que le circuit de charge et de décharge de l'ensemble RC est réalisé par une porte électronique (I5) qui est commandée par un circuit séquenceur externe (3), ladite porte mettant alternativement une borne de la résistance en relation avec la tension d'alimentation pour la charge du circuit RC et en relation avec la masse pour la décharge du circuit RC.

7 - Dispositif selon la revendication I ou 2 caractérisé en ce que ledit circuit pour déterminer la valeur du capteur comporte un compteur électronique (I2) qui compte les impulsions à fréquence élevée F fournie par un oscillateur stable (I0) pendant le créneau de mesure et qui comporte un système de positionnement origine pour la mesure (I4), ainsi que, optionnellement, un système de présélection d'un ou plusieurs points de consigne.

8 - Dispositif selon la revendication 7 caractérisé en ce que lesdits systèmes de positionnement de l'origine des mesures et éventuellement de présélection d'un ou plusieurs points de consigne, peuvent être situés à une distance assez grande du capteur et de son électronique de façon à permettre les réglages en toute sécurité et sans avoir accès au capteur lui-même.

9 - Dispositif selon la revendication 7 caractérisé en ce que ledit compteur électronique (I2) donne le résultat de la mesure sur un afficheur.

I0 - Dispositif selon la revendication I ou 2 caractérisé en ce que ledit circuit pour déterminer la valeur du capteur R ou C est lié à un ordinateur (ou à un microprocesseur ou à un automate programmable) qui commande la mise à l'état initial du compteur (I2) par la liaison (33), le cycle de charge-décharge par la liaison (27), la position digitale de l'origine des mesures par le bus (35), et qui lit le résultat de la mesure par le bus (34) et calcule le dépassement ou non de points de consigne mémorisés ou calculés.

II - Dispositif selon la revendication I ou 2 caractérisé en ce que ledit circuit utilisé pour la détermination de la valeur du capteur R ou C peut être intégré en par-

tie soit sous forme de circuit hybride, soit sous forme de circuit monolithique à grande densité d'intégration.

I2 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications I à II caractérisé en ce qu'il permet avec des capteurs capacitifs ou résistifs de mesurer des déplacements linéaires, ou des positions.

I3 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications I à II caractérisé en ce qu'il permet avec des capteurs capacitifs ou résistifs de mesurer des niveaux de liquides, de produits pâteux, de produits pulvérulents ou de granulés.

I4 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à II caractérisé en ce qu'il permet avec des sondes résistives de mesurer des températures.

I5 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications I à II caractérisé en ce qu'il permet avec des capteurs capacitifs ou résistifs de mesurer l'hygrométrie.

I6 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications I à II caractérisé en ce qu'il permet avec des condensateurs variables rotatifs ou avec des potentiomètres rotatifs de mesurer des déplacements angulaires.

I7 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à II caractérisé en ce qu'il permet avec des jauges de contrainte à variation de résistance de mesurer les déformations et containtes de pièces mécaniques.

I8 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications I à II caractérisé en ce qu'il permet de mesurer des composants électroniques comme les résistances et les capacités.

I9 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications I à II caractérisé en ce qu'ilpermet de mesurer des cotes de pièces, d'alésages et/ou d'arbres.

20 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications I2 à I7 caractérisé en ce qu'il permet de mesurer de manière indirecte des grandeurs physiques comme par exemple le poids,la force,le couple,la pression,l'accélération, la vitesse,le débit,la densité, ces grandeurs étant con-

verties par un mécanisme approprié en déplacement, déformation, variation de niveau, contrainte, variation de constante diélectrique.

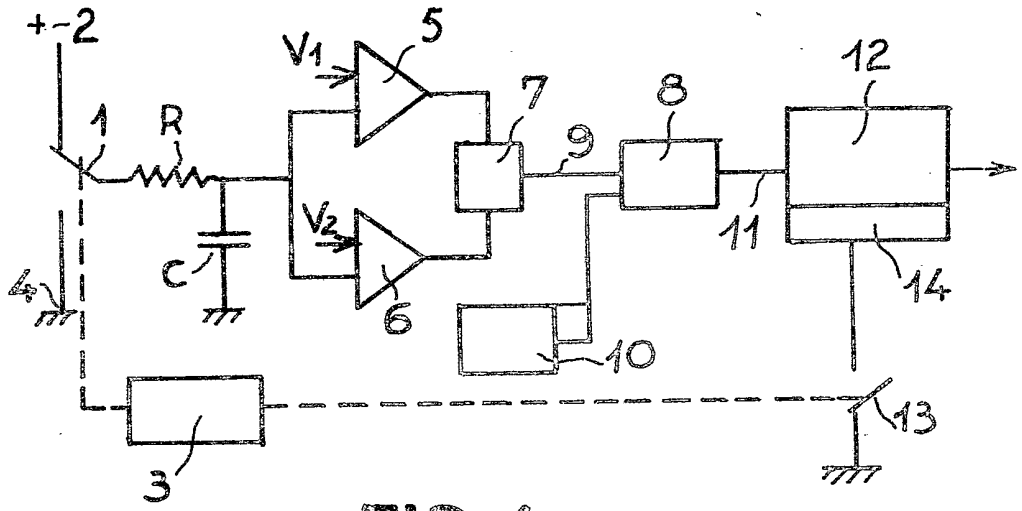

+-2
V1
5
12
1
R
7
8
9
V2
C
6
11
4
14
10
13
3

FIG. 1

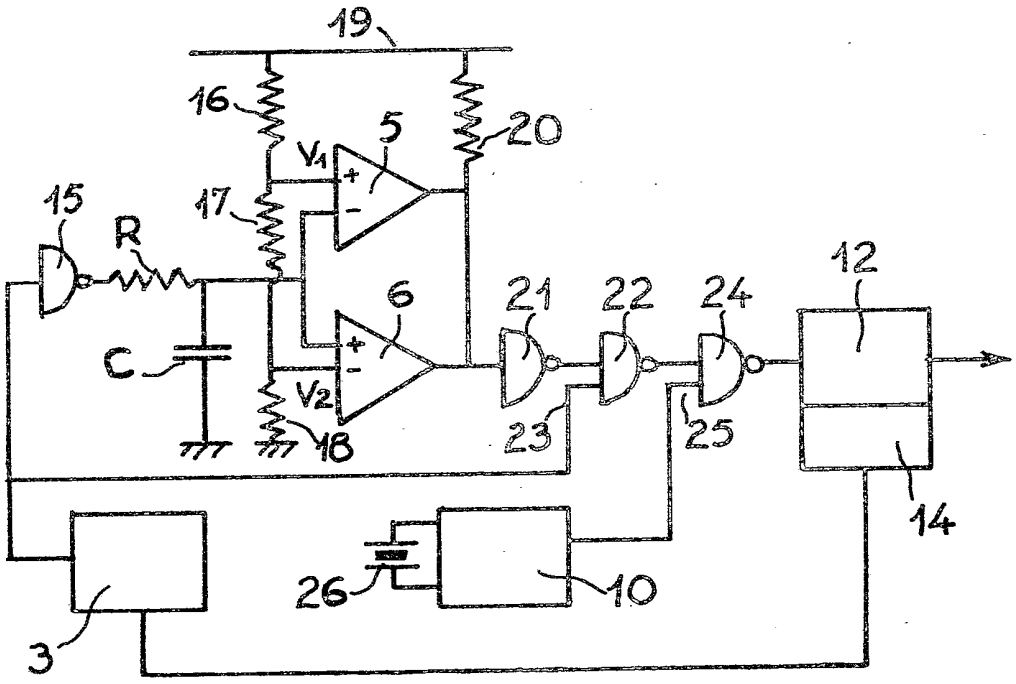

19
16
20
5
V1
15
17
R
12
6
21
22
24
C
V2
18
23
25
14
26
10
3

FIG. 2

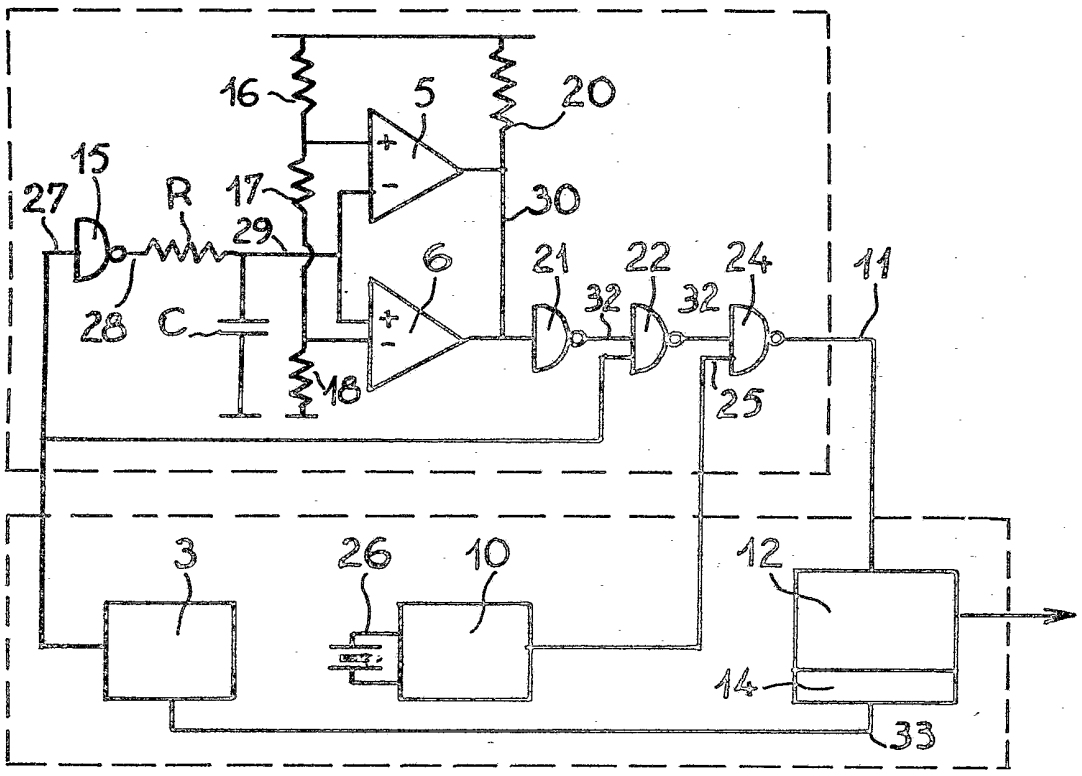

16
5
20
15
27
R
17
30
29
6
21
22
24
11
32
32
28
C
18
25
3
26
10
12
14
33

FIG. 3

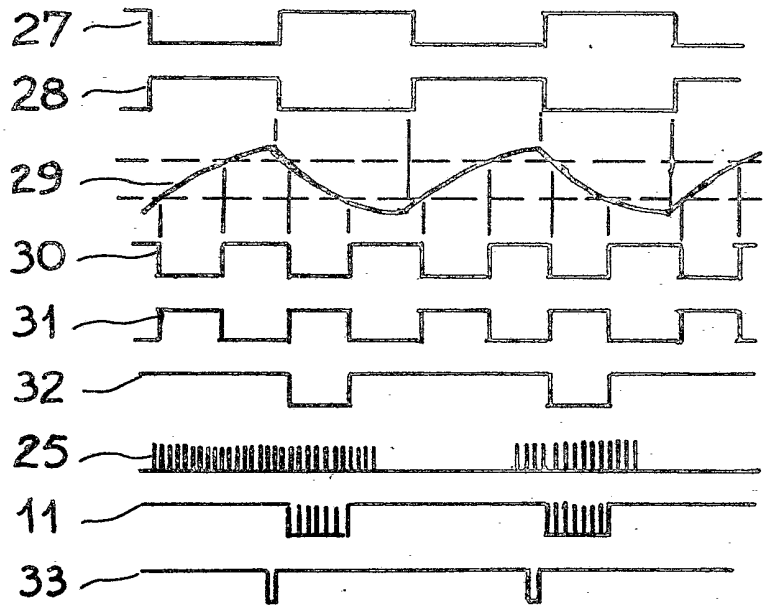

27
28
29
30
31
32
25
11
33

FIG. 4

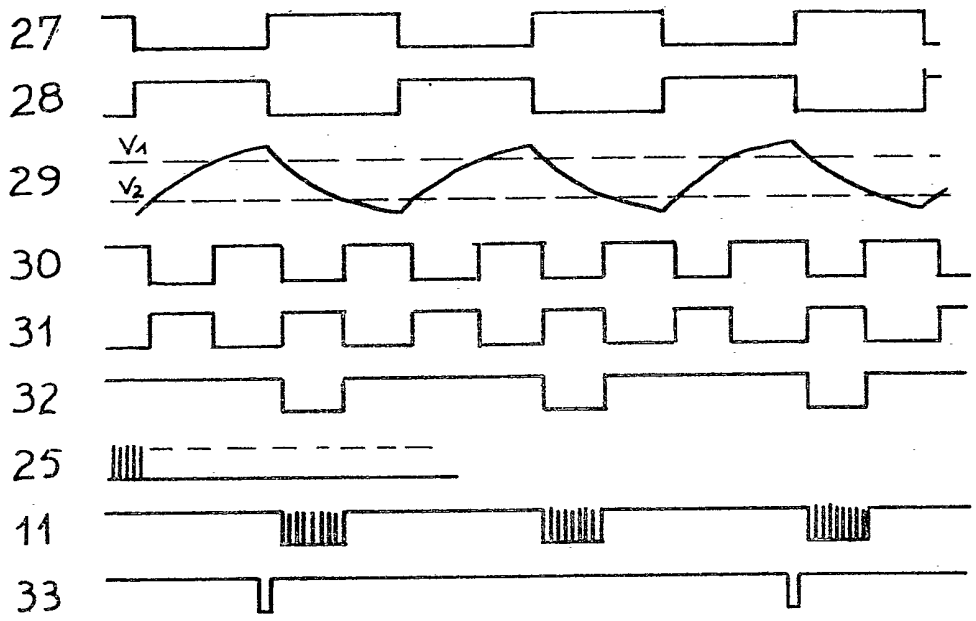

27
28
V1
29
V2
30
31
32
25
11
33

FIG.5

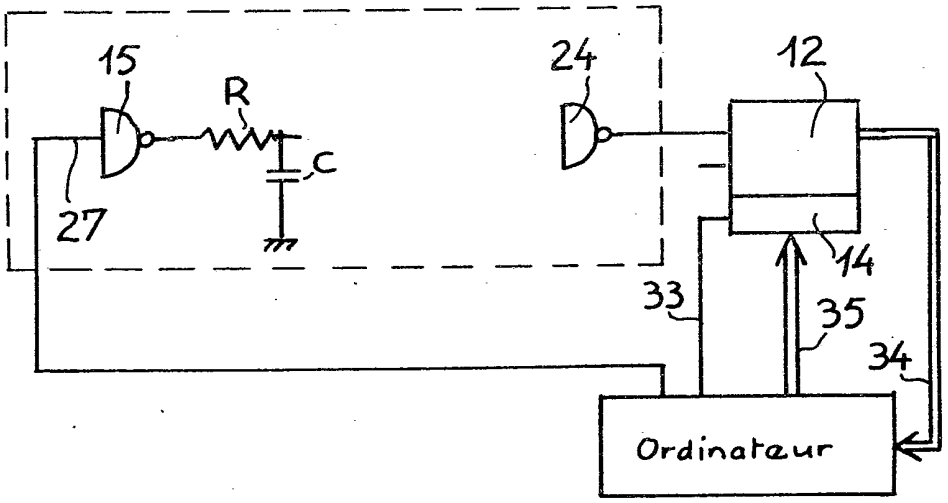

15
R
C
27
24
12
14
33
35
34
Ordinateur

FIG.6

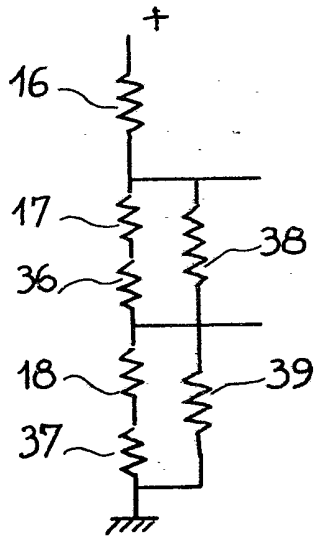


FIG.7

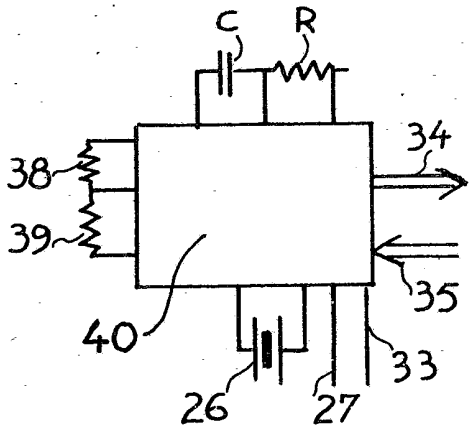


FIG.8