

**BREVET D'INVENTION**

P.V. n° 998.445

N° 1.426.248

Classification internationale : G 01 b — G 08 f

**Dispositif à ultra-sons pour mesurer l'épaisseur des objets.** (Invention : ROGER CHAR-  
BONNIER et Clément PICOT.)

Société dite : ROCHAR ÉLECTRONIQUE résidant en France (Seine).



**Demandé le 14 décembre 1964, à 14<sup>h</sup> 3<sup>m</sup>, à Paris.**

Délivré par arrêté du 20 décembre 1965.

(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 5 de 1966.)

(Brevet d'invention dont la délivrance a été ajournée en exécution de l'article 11, § 7,  
de la loi du 5 juillet 1844 modifiée par la loi du 7 avril 1902.)

L'invention se rapporte à un dispositif à ultra-sons pour mesurer l'épaisseur des objets.

Deux méthodes principales sont utilisées pour réaliser un tel dispositif : par résonance et par réflexion.

La méthode par résonance a le grand avantage de permettre la mesure des épaisseurs inférieures au millimètre, mais par contre elle présente de nombreux inconvénients. Tout d'abord le matériau qui constitue l'objet à mesurer ne doit pas être trop absorbant pour qu'un phénomène de résonance puisse être créé entre les faces en regard, lesquelles faces doivent être suffisamment planes et parallèles. Comme des résonances multiples peuvent se produire, des difficultés particulières d'interprétation se présentent qui imposent un appareillage complexe de mise en œuvre dont l'utilisation est souvent difficile.

La méthode par réflexion est très employée, mais son utilisation est limitée à la mesure des épaisseurs supérieures à deux millimètres. Ceci vient de la difficulté qu'il y a à réaliser des impulsions ultra-sonores de largeur faible devant la durée de leur temps de transit dans le matériau. La fréquence maximale des vibrations acoustiques utilisées est de 15 mégacycles environ et dans ce cas la durée de l'impulsion émise est approximativement de 0,5 microseconde. La mesure du temps qui sépare deux échos de fond successifs, c'est-à-dire deux échos produits par la face de l'objet opposée à celle en contact avec le transducteur, est proportionnelle à l'épaisseur dudit objet. Dans le cas de l'acier, une épaisseur d'un millimètre donne deux échos distants de 0,3 microseconde.

Dans ce type d'appareils, l'épaisseur peut être lue de trois façons : sur un tube cathodique, sur un tambour gradué ou sur un appareil à aiguille. Un étalonnage pour chaque type de matériau et plusieurs réglages préalables sont

nécessaires avant tout mesure. En outre, et notamment dans le cas des appareils à tube cathodique, la lecture du résultat est relativement malaisée et imprécise.

L'objet de l'invention est de réaliser un appareil à ultra-sons pour mesurer l'épaisseur des objets dans lequel l'affichage du résultat est présenté sous forme numérique.

Selon l'invention, un dispositif à ultra-sons pour mesurer l'épaisseur des objets, du type comportant un transducteur piézo-électrique adapté à être mis en contact acoustique avec les objets à mesurer, ledit transducteur étant relié à un circuit d'émission et à un circuit de réception constitué notamment par un amplificateur et par des moyens de sélectionner deux échos de fond déterminés et de mesurer le temps qui les sépare, est caractérisé en ce que lesdits moyens comprennent un circuit apte à délivrer une impulsion de mesure d'une durée égale audit temps et à appliquer ladite impulsion à l'entrée d'un étage multiplicateur de durée à coefficient de multiplication réglable dont la sortie est reliée à l'entrée d'un chronomètre, ledit coefficient de multiplication étant proportionnel à la vitesse de propagation des ondes acoustiques dans le matériau constituant l'objet à étudier.

Selon une caractéristique particulière du dispositif selon l'invention, la valeur exacte du coefficient de multiplication affecté à l'impulsion de mesure est déterminée d'une manière expérimentale au moyen d'une mesure préalable, réalisée sur un échantillon d'épaisseur connue et de nature identique à celle de l'objet à étudier, ledit coefficient étant réglé pour que ladite mesure se traduise par l'affichage de ladite épaisseur sur les indicateurs numériques du chronomètre.

Grâce à cette disposition, on obtient donc l'affichage de l'épaisseur de l'objet sous une

forme particulièrement commode à exploiter.

Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, le dispositif à ultra-sons pour mesurer l'épaisseur des objets comporte en outre un indicateur de bon fonctionnement, lequel comprend un groupe de circuits adaptés à sélectionner trois échos de fond successifs et à délivrer une impulsion de mesure de durée égale au temps qui sépare le premier du troisième écho et une impulsion de contrôle de durée égale au temps qui sépare le second du troisième écho, ladite impulsion de mesure est appliquée à un premier multiplicateur de durée de coefficient égal à  $(x+1)$ , cependant que ladite impulsion de contrôle est appliquée à un second circuit multiplicateur de durée de coefficient égal à  $(2x+1)$ , les fronts arrière des impulsions délivrées par lesdits circuits multiplicateurs constituent suivant l'ordre de leur instant d'apparition une première et une seconde impulsions de référence; le premier écho sélectionné et la première impulsion de référence sont appliqués à l'entrée d'un circuit binaire adapté à délivrer un signal de sortie de durée égale au temps qui sépare lesdits premier écho et première impulsion, ledit circuit binaire étant suivi d'un troisième circuit multiplicateur de durée de coefficient égal à  $(\alpha+1)$ , le front arrière de l'impulsion délivrée par ledit troisième circuit multiplicateur de durée constitue une troisième impulsion de référence; lesdites seconde et troisième impulsions de référence sont appliquées à un circuit logique de comparaison d'événements, lequel est adapté à délivrer un signal de sortie sensible à l'opérateur dans le seul cas où ladite seconde impulsion de référence est postérieure à ladite troisième impulsion de référence, ce qui correspond à un mauvais fonctionnement du dispositif.

Selon une caractéristique complémentaire de l'indicateur de bon fonctionnement du dispositif à ultra-sons selon l'invention, la troisième impulsion de référence est appliquée à l'entrée d'un circuit de retard avant d'être transmises à l'entrée du circuit de comparaison d'événements.

Grâce à ces dispositions l'opérateur dispose en permanence d'une information relative à la qualité de la mesure effectuée (cette information sera avantageusement constituée par l'allumage d'un néon en cas de mauvais fonctionnement).

Le dispositif indicateur de bon fonctionnement réalise en effet, à chaque cycle, une comparaison entre les durées relatives des impulsions de mesure et de contrôle obtenues à partir de trois échos de fond successifs sélectionnés, de manière à vérifier que l'impulsion de contrôle a une durée moitié, à un coefficient d'erreur près, de la durée de l'impulsion de mesure. Ces échos sont, en première approxima-

tion distants les uns des autres d'un même temps  $\Delta t$ , mais en fait si l'on appelle  $\Delta t$  le temps qui sépare le premier du second écho, il faut pour des raisons multiples appeler  $(l + \varepsilon) \Delta t$  le temps qui sépare le second du troisième écho,  $\varepsilon$  pouvant être positif ou négatif. Pour qu'une mesure soit réputée bonne, il faut que la valeur absolue de  $\varepsilon$  soit inférieure à  $2\alpha$ , ce qui est déterminé par le circuit comparateur d'événements lequel établit si les deux premières impulsions de référence séparées l'une de l'autre par un temps égal à  $x \cdot \varepsilon \cdot \Delta t$  encadrent ou n'encadrent pas la troisième impulsion de référence séparée de ladite première impulsion de référence par un temps sensiblement égal à  $2x \cdot \alpha \cdot \Delta t$ .

De plus comme la troisième impulsion de référence est retardée d'un temps  $\tau$  avant d'être transmise au circuit comparateur d'événements, ledit circuit comparateur détermine en fait si  $|\varepsilon \cdot \Delta t| < \tau/x + 2\alpha \cdot \Delta t$ , c'est-à-dire si l'erreur éventuellement commise au cours de la mesure est inférieure à la somme d'une erreur absolue  $\tau/x$  et d'une erreur relative  $2\alpha \cdot \Delta t$ .

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront d'ailleurs d'une manière plus précises à la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif en référence aux dessins annexés dans lesquels la figure 1 représente le schéma du dispositif selon l'invention et la figure 2 des signaux prélevés en divers points du schéma de la figure 1.

Selon la figure 1, 10 est une plaque dont on désire mesurer l'épaisseur et 12 un transducteur piézoélectrique en contact acoustique (par exemple au moyen d'une goutte d'huile) avec la plaque 10. Un émetteur 14, déclenché par une base de temps 16, est connecté au transducteur 12, lequel est par ailleurs relié à l'entrée d'un amplificateur de réception 18 suivi d'un circuit de détection et de filtrage 20 et d'un circuit trigger 22. A la suite du circuit 22 est placée une porte 24 possédant une électrode de commande de fermeture 25 et une sortie connectée à l'entrée d'une série de trois bascules bistables 26, 28 et 30, lesquelles possèdent chacune une électrode de remise à zéro (27, 29, 31) connectée à la sortie de la base de temps 16. La sortie de la bascule 26 et la sortie  $l$  ( $S_{28}$  sur la fig. 2) de la bascule 28 sont toutes deux appliquées à l'entrée d'un circuit logique ET 32. La sortie de la bascule 30 est connectée à l'électrode 25 de la porte 24. La sortie  $l$  de la bascule 28 est également connectée à l'entrée d'un circuit multiplicateur de durée 34 du type décrit dans la demande de brevet intitulée « Procédé et circuit de calcul analogique » déposée ce jour par la Société demanderesse. Le coefficient de multiplication de durée du circuit 34 est de  $(x + 1)$ ,  $x$  pouvant varier

entre 25 et 75 environ. La sortie  $S_{32}$  (fig. 2) du circuit 32 est appliquée à un autre circuit multiplicateur de durée 36, lequel est un coefficient de multiplication égal à  $(2x + 1)$ . Les circuits 34 et 36 sont connectés à la sortie d'un même dispositif 38 de réglage de courant, les variations dudit courant déterminant la valeur du paramètre  $x$  qui intervient dans les coefficients multiplicateurs de durée des circuits 34 et 36. La sortie du circuit 34 est appliquée à l'entrée d'un oscillateur déclenché 40, lequel est branché sur un compteur décimal 42 à trois chiffres. Dans le cas particulier de la figure, le compteur décimal 42 est adapté à afficher, au dixième de millimètre près, des épaisseurs pouvant aller jusqu'à 99,9 millimètres.

Les signaux de sortie  $S_{34}$  et  $S_{36}$  (fig. 2) des circuits multiplicateurs 34 et 36 sont respectivement appliqués à des circuits différentiateurs 44 et 48, adaptés à délivrer une impulsion négative à l'instant d'apparition des fronts arrière des signaux produits par les circuits multiplicateurs 34 et 36. Les impulsions de sortie des circuits différentiateurs 44 et 48 sont appliquées à l'entrée d'un circuit logique OU 46 dont la sortie est connectée à l'électrode de remise à l'état passif d'une bascule bistable 50, l'électrode de mise à l'état actif de ladite bascule étant réunie à travers un circuit différentiateur 52 identique aux circuits 44 et 48, à la sortie 1 de la bascule 28. L'impulsion  $S_{50}$  (fig. 2) délivrée par la bascule bistable 50 est appliquée à un troisième étage multiplicateur de durée dont le coefficient de multiplication égale  $(0,01 + 1)$ . La sortie  $S_{34}$  (fig. 2) de l'étage 54 est appliquée à un circuit différentiateur 56 identique à 44, lequel délivre une impulsion  $S_{56}$  et est réuni à un circuit de retard 58 introduisant un délai de une microseconde. La sortie  $S_{58}$  du circuit à retard 58 est appliquée à l'entrée de mise à l'état actif d'une bascule bistable 60 dont l'entrée 61 de remise à l'état passif est connectée à la sortie de la base de temps 16. La sortie de la bascule 60 est appliquée à l'électrode de commande d'ouverture d'une porte 62 dont l'entrée est connectée à la sortie du circuit logique OU 46. La sortie de la porte 62 est appliquée à l'entrée de mise à l'état actif d'une bascule bistable 64, laquelle comporte une entrée 65 de remise à l'état passif réunie à la sortie de la base de temps 16. La bascule bistable 64 est adaptée, lorsqu'elle est à l'état actif, à allumer un néon 66.

Le circuit base de temps 16 délivre des impulsions dont la fréquence est de quelques dizaines de cycles par seconde. A chaque impulsion fournie par la base de temps 16, l'émetteur 14 applique au transducteur piézoélectrique 12 une impulsion de tension de plusieurs dizaines de volts dont la durée est d'une

microseconde environ. A la suite de cette excitation, le transducteur piézoélectrique 12 oscille sur sa fréquence propre (choisie de 5 à 15 mégacycles en fonction inverse des épaisseurs à mesurer). Le transducteur 12 étant généralement équipé d'un amortisseur en matériau hétérogène (poudre dense noyée dans un plastique thermodurcissable), les oscillations libres du transducteur durent au plus quelques cycles. Une brève impulsion acoustique est appliquée à la plaque 10, et une série d'échos divers (de surface et de fond) est ensuite reçue par le transducteur 12 et transmise à l'amplificateur de réception 18. Après détection et filtrage par l'étage 20, on obtient un signal  $S_{20}$  représenté à la figure 2 :  $t_0$  étant l'impulsion d'émission,  $t_1$  un écho de surface,  $t_3$  à  $t_5$  une série d'échos de fond et  $t_6$  un autre écho de surface, etc. Comme seuls les échos de fond sont intéressants pour effectuer la mesure d'épaisseurs, l'écho  $t_1$  doit être négligé.

A l'instant d'émission, la base de temps 16 fournit aux bascules 26, 28 et 30 une impulsion de remise à zéro qui a pour effet de placer lesdites bascules dans un état passif. Dans ces conditions la porte 24, qui est fermée lorsque la bascule 30 est à l'état actif, se trouve ouverte.

L'ensemble des bascules 26, 28 et 30 constitue un étage diviseur binaire. La première impulsion qui est appliquée audit étage est l'impulsion  $t_1$ , puisque en synchronisme avec l'impulsion  $t_0$ , les bascules 26, 28, 30 ont été remises à l'état passif. La bascule 28 se trouve donc à l'état actif pendant le temps qui sépare les impulsions  $t_2$  et  $t_4$ . Le signal  $S_{28}$  (fig. 2) illustre cet état.

A la sortie du circuit logique ET 32 apparaît l'impulsion  $S_{32}$  dont la durée est égale au temps qui sépare les impulsions  $t_1$  et  $t_3$ . Lorsque l'impulsion  $t_4$  est appliquée aux bascules 26, 28 et 30, les bascules 26 et 28 repassent à l'état passif cependant que la bascule 30 passe à l'état actif, ce qui provoque la fermeture de la porte 24. Dans ces conditions, les différents échos reçus par le transducteur 12 après écho  $t_4$  ne sont pas transmis aux circuits de calcul.

On appelle  $\Delta t$  le temps qui sépare les échos  $t_3$  et  $t_2$ , et  $(1 + \frac{1}{2}) \Delta t$ , le temps qui sépare les échos  $t_4$  et  $t_3$ . En conséquence, le signal  $S_{28}$  a une durée de  $(2 + \varepsilon) \Delta t$  et  $S_{32}$  une durée de  $(1 + \varepsilon) \Delta t$ . Les signaux  $S_{28}$  et  $S_{32}$  sont appliqués à des circuits multiplicateurs de durée. Ainsi qu'il est décrit dans la demande de brevet « Procédé et circuit de calcul analogique » déposé ce jour par la Société demanderesse, un circuit multiplicateur de durée comporte essentiellement un condensateur que l'on charge pendant la durée  $t$  de l'impulsion d'entrée au moyen d'un premier courant déterminé  $a$  et que l'on décharge ensuite pendant un temps  $T$ , au moyen d'un second courant  $b$ ,

jusqu'à ce que ledit condensateur retrouve son état initial. Pendant le temps de charge et de décharge du condensateur, un circuit détecteur de niveau à sortie logique prend un état déterminé dont la durée  $(t + T)$  s'exprime également par :  $t(1 + a/b)$ .

Dans le cas particulier des circuits multiplicateurs 34 et 36 employés dans le dispositif selon l'invention, les courants  $a_1$  et  $a_2$  de charge des condensateurs du circuit 34 et du circuit 36 ont une valeur constante et  $a_2 = 2a_1$ , cependant que les courants  $b_1$  et  $b_2$  de décharge desdits condensateurs sont variables et que  $b_1 = b_2$ . On comprend donc, qu'à l'aide du dispositif de réglage de courant 38, on puisse en permanence faire varier le courant  $b$  et donner au coefficient de multiplication des circuits 34 et 36 des valeurs respectivement égales à  $(x + 1)$  et  $(2x + 1)$ .

En donnant au coefficient  $(1 + x)$  de multiplication de l'étage multiplicateur 34, une valeur proportionnelle à la vitesse de propagation des ondes acoustiques de compression (les seules généralement à considérer du fait du couplage habituel transducteur-objet au moyen d'un intermédiaire liquide) dans le matériau constituant la plaque 10, on obtient donc à la sortie dudit étage 34 une impulsion de durée proportionnelle à la seule épaisseur de ladite plaque. L'oscillateur déclenché 40 auquel est appliquée l'impulsion  $S_{34}$  délivre donc au compteur 42 un nombre d'impulsions exactement proportionnel à l'épaisseur à mesurer. A l'aide d'un échantillon d'épaisseur connue avec précision et de nature identique à celle de la plaque 10, il est aisé en agissant sur la commande de courant 38 (un simple potentiomètre) de faire varier le coefficient  $(1 + x)$  jusqu'à ce que ladite épaisseur soit affichée par le compteur 42. La mesure de l'épaisseur de la plaque 10 est alors immédiate.

A la sortie des circuits différentiateurs 44 et 48 apparaissent les deux premières impulsions de référence  $S_{46}$  synchrones des fronts arrière des signaux délivrés par les étages multiplicateurs 34 et 36, lesquelles impulsions sont distantes l'une de l'autre d'un temps égal à :

$$(x + 1)(2 + \varepsilon)\Delta t - [\Delta t + (2x + 1)(1 + \varepsilon)\Delta t] \text{ soit } |x.\varepsilon.\Delta t|.$$

La bascule 50 qui passe à l'état actif à l'instant d'apparition du premier écho de fond  $t_2$  repasse à l'état passif à l'instant d'apparition de la première impulsion de référence fournie par le circuit OU 46. La durée de cette impulsion  $S_{50}$  est égale à  $(x + 1)2\Delta t + \varepsilon.\Delta t$ .

A la sortie de l'étage multiplicateur de durée 54, semblable à 34 et 36 avec  $b_3 = 100 a_3$  et donc avec un coefficient de multiplication égale à  $(1 + 0,01)$ , on obtient un signal  $S_{54}$  dont le front avant est synchrone du front avant du signal  $S_{50}$  mais dont la durée est sensible-

ment supérieure à  $0,01(x + 1)2\Delta t$  à celle dudit signal  $S_{50}$ . Le front arrière du signal  $S_{54}$  apparaît à la sortie du circuit différentiateur 56 sous forme d'une impulsion  $S_{56}$  qui constitue la troisième impulsion de référence.

Cette impulsion  $S_{56}$  n'est appliquée à l'entrée de la bascule 60 qu'après un retard  $\tau$  dont la valeur dans le cas présent est de 1 microseconde (ce qui correspond après une multiplication de l'ordre de 70, au temps de transit dans 0,1 millimètre d'acier).

En conséquence, la bascule  $S_{60}$  placée à l'état passif par l'impulsion de remise à zéro délivrée par la base de temps 16 à l'instant  $t_0$  de l'émission, passe à l'état actif à l'instant d'apparition de l'impulsion  $S_{58}$  fournie par le circuit de retard 58.

Dans ces conditions, la porte 62 se trouve fermée à l'instant précis où apparaît la seconde impulsion de référence  $S_{46}$ . C'est pourquoi, dans le cas particulier du cycle des signaux représentés à la figure 2, la bascule 64 demeure à l'état passif et le néon 66 reste éteint : ce qui indique que la mesure est correcte.

Par contre, si au cours d'un autre cycle la seconde impulsion de référence  $S_{46}$  apparaissait après l'impulsion  $S_{58}$ , elle serait transmise par la porte 62 à la bascule 64, laquelle provoquerait l'allumage du néon 66 jusqu'au cycle suivant. Ceci signifierait que la mesure effectuée au cours de ce cycle n'est pas bonne et que l'opérateur se doit de modifier la liaison transducteur-objet de manière que leur contact acoustique soit meilleur et que des échos parasites ne viennent plus perturber la mesure. L'indicateur de sécurité associé à l'appareil de mesure d'épaisseurs constitue donc une logique de comparaison qui établit que la mesure est bonne (et le néon 66 éteint) tant que :  $x.\varepsilon.\Delta t < 0,01(x + 1)2\Delta t + \tau$ , c'est-à-dire, en appelant  $\alpha$  le coefficient de majoration du multiplicateur de durée 54, tant que  $\varepsilon.\Delta t < 2\alpha.\Delta t + \tau/x$  ou encore tant que l'erreur  $\varepsilon.\Delta t$  sur la position du troisième écho utilisé pour la mesure n'est pas supérieure à la somme d'une erreur relative  $2\alpha.\Delta t$  et d'une erreur absolue  $\tau/x$ .

L'invention n'est bien entendu pas limitée à la forme de réalisation ci-dessus mais, au contraire, peut faire l'objet de diverses variantes notamment par le remplacement de chaque circuit électronique par un groupe de circuits ou un autre circuit sensiblement équivalents et à la disposition de l'homme de l'art.

#### RÉSUMÉ

1° Un dispositif à ultra-sons pour mesurer l'épaisseur des objets, du type comportant un transducteur piézoélectrique adapté à être mis en contact acoustique avec les objets à mesurer, ledit transducteur étant relié à un circuit d'émission et à un circuit de réception constitué

notamment par un amplificateur et par des moyens de sélectionner deux échos de fond déterminés et de mesurer le temps qui les sépare, caractérisé en ce que lesdits moyens comprennent un circuit adapté à délivrer une impulsion de mesure d'une durée égale audit temps et à appliquer ladite impulsion à l'entrée d'un étage multiplicateur de durée à coefficient de multiplication réglable dont la sortie est reliée à l'entrée d'un chronomètre, ledit coefficient de multiplication étant proportionnel à la vitesse de propagation des ondes acoustiques dans le matériau constituant l'objet à étudier.

2° Un tel dispositif est remarquable en outre en ce qu'il comporte les points suivants pris séparément ou en combinaisons :

*a.* Un indicateur de bon fonctionnement lequel comprend un groupe de circuits adaptés à sélectionner trois échos de fond successifs et à délivrer une impulsion de mesure de durée égale au temps qui sépare le premier du troisième écho et une impulsion de contrôle de durée égale au temps qui sépare le second du troisième écho, ladite impulsion de mesure est appliquée à un premier circuit multiplicateur de durée de coefficient égal à  $(x + 1)$ , cependant que ladite impulsion de contrôle est appliquée à un second circuit multiplicateur de durée de coefficient égal à  $(2x + 1)$ , les fronts arrière des impulsions délivrées par lesdits cir-

cuits multiplicateurs constituent suivant l'ordre de leur instant d'apparition une première et une seconde impulsions de référence; le premier écho sélectionné et la première impulsion de référence sont appliqués à l'entrée d'un circuit binaire adapté à délivrer un signal de sortie de durée égale au temps qui sépare lesdits premier écho et première impulsion, ledit circuit binaire étant suivi d'un troisième circuit multiplicateur de durée de coefficient égal à  $(\alpha + 1)$ , le front arrière de l'impulsion délivrée par ledit troisième circuit multiplicateur de durée constitue une troisième impulsion de référence; lesdites seconde et troisième impulsions de référence sont appliquées à un circuit logique de comparaison d'événements, lequel est adapté à délivrer un signal de sortie sensible à l'opérateur dans le seul cas où ladite seconde impulsion de référence est postérieure à ladite troisième impulsion de référence, ce qui correspond à un mauvais fonctionnement du dispositif;

*b.* Un circuit de retard  $\tau$  est intercalé entre le circuit fournissant la troisième impulsion de référence et le circuit comparateur d'événements.

Société dite :  
 ROCHAR ÉLECTRONIQUE  
 Par procuration :  
 A. CHARMEIL

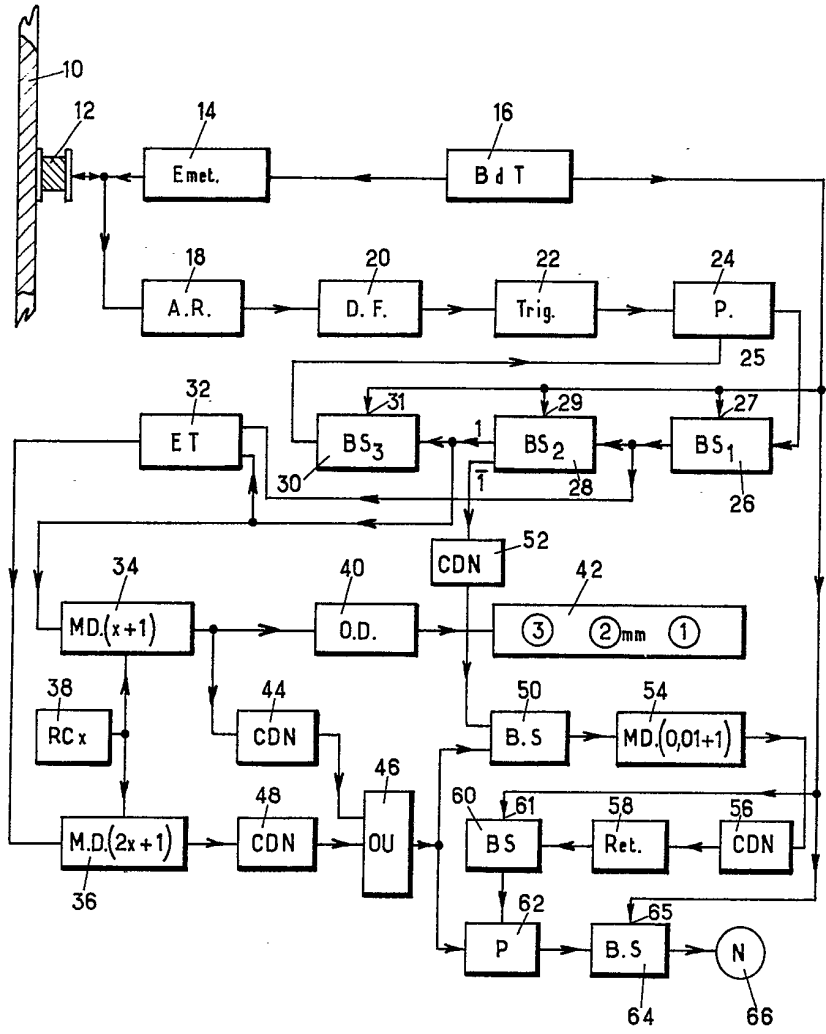


FIG. 1

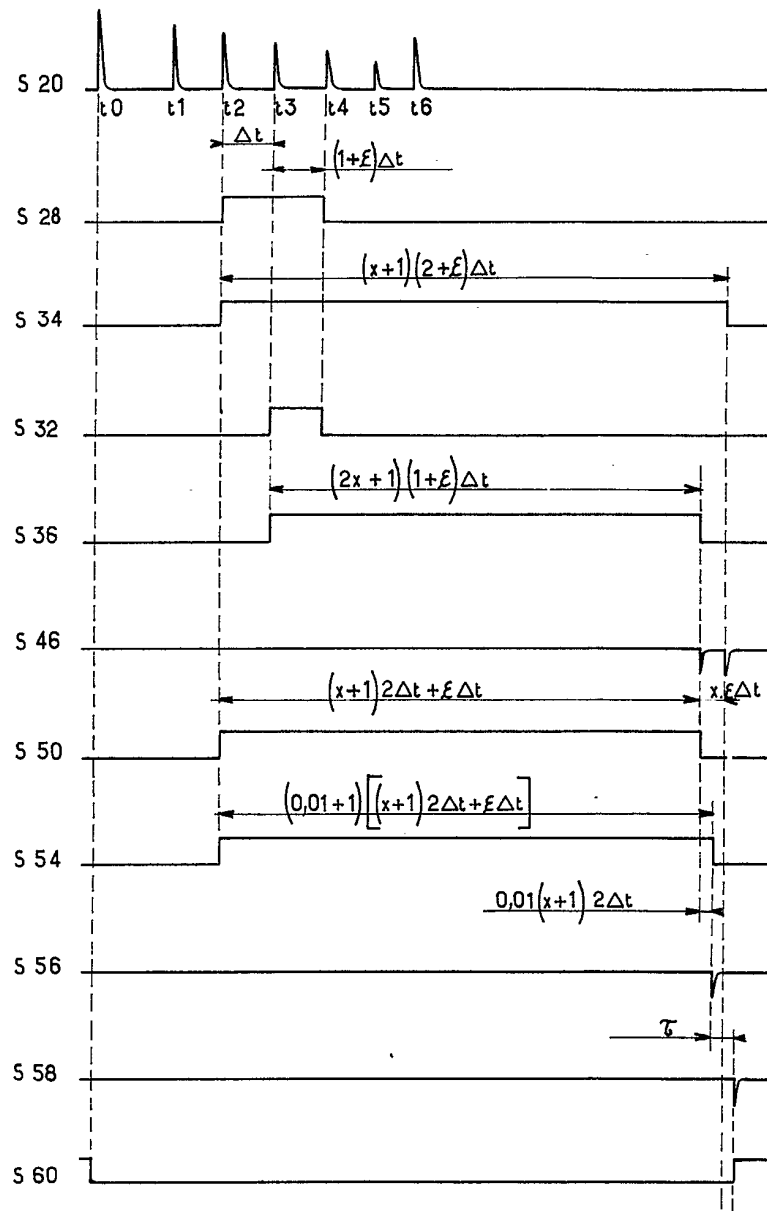


FIG. 2