

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

2 484 110

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 12381

(54) Procédé et dispositif pour la dérivation d'un signal électrique analogique.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 06 G 7/186; G 01 P 3/42; G 05 D 13/62.

(22) Date de dépôt..... 4 juin 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 50 du 11-12-1981.

(71) Déposant : Société anonyme dite : SOCIETE NATIONALE INDUSTRIELLE AEROSPATIALE,
résidant en France.

(72) Invention de : Pierre Ricaud.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Propri Conseils,
23, rue de Leningrad, 75008 Paris.

La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour l'obtention de la dérivée d'un signal électrique analogique variant lentement en fonction d'un paramètre.

- 5 Dans la présente description et comme on le verra par la suite, l'adverbe "lentement" est à rapprocher de la vitesse de traitement des éléments électroniques composant le dispositif selon l'invention.

L'invention s'applique tout particulièrement, quoique 10 non exclusivement, au calcul très précis des vitesses verticales de cabines d'avion, en vue de réaliser leur régulation en variation de pression, ou après correction, en vitesse ascensionnelle ou descensionnelle.

Le dispositif selon l'invention convient donc notamment 15 au traitement des signaux issus de capteurs de pression barométrique, c'est-à-dire de transducteurs pression-signal électrique analogique.

Il constitue donc plus précisément un variomètre de haute précision.

- 20 Dans la technique actuelle sont connus des dispositifs variométriques pneumatiques et électroniques.

Les premiers ne fournissent pas d'information exploitable pour des variations lentes de pression et sont surtout utilisés comme indicateurs de vol, notamment 25 dans les aéronefs de conception simple.

Les seconds utilisent des transducteurs pression-signal électrique analogique et ledit signal est dérivé à l'aide d'un circuit R.C. et d'un amplificateur pour fournir un signal de vitesse verticale. La

précision du signal fourni est insuffisante pour indiquer des variations lentes destinées à être exploitées pour la régulation de pression interne d'une cabine d'aéronef pressurisée .

5 La présente invention pallie ces inconvénients grâce à une combinaison de technologie numérique et de technologie analogique permettant d'obtenir une résolution très élevée.

A cette fin, selon l'invention, le procédé pour l'obtention de la dérivée d'un signal électrique analogique P variant lentement en fonction d'une variable t , est remarquable en ce que l'on convertit une première valeur analogique P_1 que prend ledit signal P pour une première valeur t_1 de la variable t en une première valeur numérique que l'on mémorise durablement et que l'on reconvertit en permanence et au moins partiellement en une valeur analogique P_{12} , et l'on forme une première différence analogique $\delta P = P_1 - P_{12}$, qui est ensuite convertie en une seconde valeur numérique que l'on mémorise également, 15 après quoi, on compare une seconde valeur analogique P_2 que prend ledit signal P pour une seconde valeur t_2 de la variable t et ladite valeur analogique P_{12} , pour former une seconde différence analogique $P_2 - P_{12}$ que l'on convertit en une troisième valeur numérique, puis on soustrait ladite seconde valeur numérique de cette troisième valeur numérique, de façon à former la valeur numérique 20 d'une troisième différence $\Delta P = P_2 - P_1$ et l'on divise la valeur numérique de cette troisième différence par la valeur numérique de la différence $\Delta t = t_2 - t_1$ des valeurs 25 t_2 et t_1 de ladite variable t .

On obtient ainsi, sous forme numérique, le rapport

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} .$$

Avantageusement, afin d'obtenir une résolution élevée, la formation desdites première et seconde différences analogiques s'accompagne d'une amplification de gain élevé.

- 5 Etant donné que la valeur analogique reconvertisse P_{12} s'élimine d'elle-même dans le calcul, il n'est pas indispensable qu'elle soit absolument égale à P_1 .

- Dans ces conditions, il est suffisant que la valeur analogique P_{12} soit obtenue par conversion numérique-analogique des bits de poids le plus élevé dudit premier code numérique représentatif de la valeur analogique P_1 .

- Comme on le verra par la suite, la première différence $\delta P = P_1 - P_{12}$ correspond pratiquement à l'erreur introduite par le dispositif de mise en oeuvre de l'invention
15 dans la valeur de P par la double conversion et la mise en mémoire intermédiaire.

Bien entendu, la suite des différentes opérations peut être répétée en permanence, pour donner de façon continue le rapport $\frac{\Delta P}{\Delta t}$.

- 20 L'invention peut être mise en oeuvre pour l'obtention de la dérivée de n'importe quel signal électrique analogique P , fonction de n'importe quelle variable t . Toutefois, dans une application particulièrement intéressante de l'invention, mentionnée ci-dessus, il est
25 avantageux que le signal électrique analogique P soit représentatif de la pression à l'extérieur ou à l'intérieur d'un aéronef en fonction de l'altitude de ce dernier, cette altitude étant elle-même une fonction du temps t .
- 30 Un dispositif pour la mise en oeuvre de l'invention est

associé à un générateur du signal électrique analogique P et comporte avantageusement un multiplexeur à deux entrées et à sortie unique pourvu de moyens de liaison commandée entre chacune desdites entrées et 5 ladite sortie, l'une desdites entrées du multiplexeur recevant le signal P dudit générateur ; un comparateur dont la sortie est reliée à l'autre entrée dudit multiplexeur et dont une entrée reçoit également le signal P provenant du générateur ; un convertisseur analogique-numérique dont l'entrée est reliée à la sortie dudit multiplexeur ; une première mémoire destinée à recevoir 10 dudit convertisseur analogique-numérique au moins une partie de la première valeur numérique représentative de la valeur analogique P_1 ; un convertisseur numérique-analogique qui est en liaison permanente avec ladite première mémoire et dont la sortie est réunie à l'autre entrée dudit 15 comparateur ; une seconde mémoire destinée à recevoir dudit convertisseur analogique-numérique ladite seconde valeur numérique représentative de ladite première différence $\delta P = P_1 - P_{12}$ et des moyens de commande , 20 d'horloge et de calcul destinés à commander de façon sélective lesdits moyens de liaison commandée du multiplexeur, à diriger ladite première valeur numérique vers ladite première mémoire, à diriger ladite seconde valeur numérique vers ladite seconde mémoire, à soustraire 25 ladite seconde valeur numérique de la troisième pour former la valeur numérique de la troisième différence $\Delta P = P_2 - P_1$, à former la valeur numérique de la différence $\Delta t = t_2 - t_1$ et à diviser les valeurs numériques de ΔP et Δt .

Ledit comparateur est avantageusement formé par un 30 amplificateur différentiel à gain élevé, déterminé par la valeur de deux résistances dont l'une est montée entre l'entrée, reliée au convertisseur numérique-analogique ,et la sortie dudit amplificateur différentiel, tandis que l'autre desdites résistances est montée 35 dans la liaison entre ledit convertisseur numérique-

analogique et ledit amplificateur différentiel.

Les figures du dessin annexé feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée.

La figure 1 est un schéma temporel destiné à illustrer
5 le fonctionnement du dispositif selon l'invention.

La figure 2 est le schéma synoptique d'un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention.

Le dispositif selon l'invention, montré par la figure 2,
comporte un capteur-transducteur 1, susceptible de
10 délivrer un signal électrique analogique P, représentatif
d'une pression, par exemple une pression atmosphérique
variant en fonction de l'altitude de 0 à 3000 m. Le
signal P varie par exemple de 10 millivolts par millibar
et, par exemple, la pression varie de un millibar par
15 seconde.

Le dispositif de la figure 2 est par exemple monté à
bord d'un aéronef. Ainsi, lorsque à l'instant t_1 ,
l'aéronef se trouve à une certaine altitude A_1 , le
signal P fourni par le capteur 1 présente la valeur P_1 ,
20 tandis qu'à l'instant t_2 , lorsque l'aéronef se trouve
à une autre altitude A_2 , le signal P prend une valeur
différente P_2 . Ceci est montré sur la figure 1, qui
illustre la variation du signal P en fonction du temps t .

La sortie du capteur 1 est reliée en parallèle, d'une
25 part, à une première entrée 2a d'un circuit multiplexeur
2 et, d'autre part, à l'entrée positive d'un amplificateur
différentiel 3, dont le gain est par exemple égal
à 256, soit 2^8 . Sur la figure 2, le multiplexeur 2 est
schématisé comme comportant deux interrupteurs 2c et 2d
30 en parallèle l'un sur l'autre et respectivement en série
entre deux entrées 2a et 2b du multiplexeur 2 et la

sortie unique 2e de celui-ci.

La sortie de l'amplificateur différentiel 3 est reliée à l'entrée 2b du multiplexeur 2, tandis que la sortie 2e de ce dernier est réunie à un convertisseur analogique-numérique 4, par exemple à 12 bits, dont la sortie est connectée par une liaison 5a à un microprocesseur 5.

Par des liaisons 5b et 5c, le microprocesseur 5 est apte à commander les interrupteurs 2c et 2d.

Par d'autres liaisons 5d et 5e, le microprocesseur 5 est en liaison avec une mémoire 6.

De plus, une autre mémoire 7 est reliée au microprocesseur 5 par une liaison 5f. La sortie de la mémoire 7 est reliée à un convertisseur numérique-analogique, par exemple à 8 bits, dont la sortie est reliée à l'entrée négative de l'amplificateur différentiel 3 par une résistance 9.

Par ailleurs, une résistance 10 est montée entre la sortie et l'entrée négative de l'amplificateur différentiel 3. Ainsi, les résistances 9 et 10 permettent de déterminer le gain de l'amplificateur différentiel 3.

Le processus de fonctionnement du dispositif selon l'invention comprends trois séquences successives et respectivement répétitives, commandées par les moyens d'horloge et de comptage du microprocesseur 5.

La première séquence de fonctionnement se produit à l'instant t_1 , et, à ce moment, le microprocesseur ferme l'interrupteur 2c et ouvre l'interrupteur 2d (grâce aux liaisons 5b et 5c), de sorte que la valeur P_1 est transférée directement au convertisseur 4, qui le numérise avec une résolution de 12 bits et transmet au microprocesseur 5 la valeur numérique correspondante.

Ce microprocesseur sélectionne les huit bits de poids le plus élevé de cette valeur numérique à 12 bits représentative de la valeur P_1 et les transfère, par la liaison 5f, dans la mémoire 7, où ils restent emmagasinés jusqu'à 5 la fin du processus.

Le convertisseur numérique-analogique 8 transforme ces huit bits en une valeur analogique P_{12} , appliquée sur l'entrée négative de l'amplificateur différentiel 3, par l'intermédiaire de la résistance 9. Grâce à la 10 mémoire 7, la valeur analogique P_{12} reste en permanence jusqu'à la fin du processus, sur la sortie du convertisseur 8.

Cette première séquence est suffisamment rapide et la variation du signal P est suffisamment lente pour que 15 l'on puisse considérer que, pendant son déroulement ledit signal P n'a pas évolué, c'est-à-dire qu'à l'instant t_{11} auquel cette première séquence se termine, la valeur P_{11} correspondante est pratiquement égale à P_1 . De ce fait, le signal de différence δP qui apparaît 20 à l'instant t_{11} à la sortie de l'amplificateur 3 et qui est égal à $\delta P = P_{11} - P_{12}$, est pratiquement égale à

$$\delta P = P_1 - P_{12}.$$

Dans ces conditions, δP représente l'erreur introduite 25 par le dispositif sur la valeur P_1 et due à la double conversion (par les convertisseurs 4 et 8) et par la mise en mémoire intermédiaire (dans la mémoire 7).

Dans la seconde séquence du processus (à l'instant t_{11}), 30 le microprocesseur 5 ouvre l'interrupteur 2c et ferme l'interrupteur 2d, de sorte que le signal de différence δP est transmis au convertisseur 4 qui le numérise, après quoi ledit microprocesseur 5 entre dans la mémoire 6 (par la liaison 5d) la valeur à 12 bits représentative

de δP . Ensuite, le microprocesseur 5 ouvre l'interrupteur 2d, l'interrupteur 2c restant également ouvert.

Les interrupteurs 2d et 2c sont ainsi maintenus ouverts pendant un espace de temps Δt , par exemple égal à 1 seconde, menant à l'instant t_2 .

A la fin de l'espace de temps Δt , c'est-à-dire à l'instant t_2 , commence la troisième séquence, le microprocesseur 5 fermant alors l'interrupteur 2d. A l'instant t_2 , l'entrée positive de l'amplificateur différentiel 3 reçoit, du capteur 1, la valeur P_2 , tandis que l'entrée négative dudit amplificateur reçoit toujours la valeur P_{12} du convertisseur 8. A la sortie de l'amplificateur différentiel 3 apparaît donc la différence $P_2 - P_{12}$, qui est numérisée par le convertisseur 4, puis transmise au microprocesseur 5.

Ce dernier appelle alors le signal de différence δP de la mémoire 6 (par la liaison 5e) et retranche celui-ci de la différence $P_2 - P_{12}$, de sorte qu'il forme la valeur

$$P_2 - P_{12} - \delta P = P_2 - P_{12} - (P_1 - P_{12}) = P_2 - P_1 = \Delta P.$$

Ainsi, à sa sortie 5g, le microprocesseur peut fournir le rapport $\frac{\Delta P}{\Delta t}$, c'est-à-dire la vitesse de variation de la pression P en fonction du temps t .

Après un délai de lecture du signal $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ à la sortie 5g, les mémoires 6 et 7 et les convertisseurs 4 et 8 sont remis à zéro. L'interrupteur 2d est ouvert et l'interrupteur 2c est fermé et un nouveau cycle peut recommencer.

On remarquera que, quoique n'utilisant qu'un convertisseur analogique-numérique de 12 bits, on obtient sur

le rapport $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ une résolution relative de 20 bits, si les dérives cumulées de l'amplificateur différentiel 3 et du convertisseur numérique-analogique 8 sont inférieures pendant Δt à la valeur du 20ème bit de l'amplitude maximale numérisée de P , ce qui est parfaitement possible. Cette résolution relative est due à l'amplification par 2^8 (=256) des signaux de différence, par rapport à la mesure directe de P .

En effet, la variation de pression maximale étant de l'ordre de 1 millibar par seconde, ΔP sera toujours inférieur à la 256^{ème} partie de P , compte tenu du fait que Δt est de l'ordre de 1 seconde. On aura donc, après Δt , à l'entrée de l'amplificateur 3, deux signaux dont la différence est inférieure ou de l'ordre de $\frac{P}{256}$, avec une résolution de 8 bits pour le signal appliqué à l'entrée négative, donc avec une signification sur la 256^{ème} partie dudit signal.

Or, la multiplication par 256 (2^8) de cette différence, effectuée par l'amplificateur 3, ramène la valeur analogique du signal de différence au niveau de la valeur du signal analogique représentatif de P et issue du détecteur 1.

Sur cette différence analogique, on obtient une signification sur la 4096^{ème} partie, du fait de la conversion analogique-numérique à 12 bits effectuée par le convertisseur 4, ladite conversion étant rendue possible sur toute l'échelle dudit convertisseur, par l'amplification par 256. On obtient donc une signification sur la $256 \times 4096 = 1.048.576$ ^{ème} partie (2^{20}) de P , c'est-à-dire une signification sur la variation ΔP correspondant au vingtième bit de P , avec un décalage sensiblement fixe ou erreur fixe (qui de toute façon est prise en compte pour former le signal d'erreur du circuit) portant notamment sur les quatre bits de poids le plus faible de la conversion numérique-analogique de la première séquence du procédé selon l'invention.

R E V E N D I C A T I O N S

- 1.- Procédé pour l'obtention de la dérivée d'un signal électrique analogique P variant lentement en fonction d'une variable t , caractérisé en ce que l'on convertit une première valeur analogique P_1 que prend le signal P pour une première valeur t_1 de la variable t en une première valeur numérique que l'on mémorise durablement et que l'on reconvertis en permanence et au moins partiellement en une valeur analogique P_{12} et l'on forme une première différence analogique $\delta P = P_1 - P_{12}$, qui est ensuite convertie en une seconde valeur numérique que l'on mémorise également, après quoi on compare une seconde valeur analogique P_2 que prend ledit signal P pour une seconde valeur t_2 de la variable t et ladite valeur analogique P_{12} , pour former une seconde différence analogique $P_2 - P_{12}$ que l'on convertit en une troisième valeur numérique, puis on soustrait ladite seconde valeur numérique de cette troisième valeur numérique, de façon à former la valeur numérique d'une troisième différence $\Delta P = P_2 - P_1$ et l'on divise la valeur numérique de cette troisième différence par la valeur numérique de la différence $\Delta t = t_2 - t_1$ des valeurs t_2 et t_1 de ladite variable t .
- 2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la formation desdites première et seconde différences analogiques s'accompagne d'une amplification de gain élevé.
- 3.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la valeur analogique P_{12} est obtenue par conversion numérique-analogique des bits de poids le plus élevé de ladite première valeur numérique représentative de la valeur analogique P_1 .

4.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la suite des différentes opérations est répétée en permanence, pour donner de façon continue le rapport $\frac{\Delta P}{\Delta t}$.

5 5.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le signal électrique analogique P est représentatif de la pression à l'extérieur ou à l'intérieur d'un aéronef en fonction de l'altitude de ce dernier, cette altitude étant elle-même une fonction du temps t.

10 6.- Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé spécifié sous l'une quelconque des revendications 1 à 5, associé à un générateur (1) du signal électrique analogique P, caractérisé en ce qu'il comporte un multiplexeur (2) à deux entrées et à sortie unique pourvu de moyens (2c, 2d) de liaison commandée entre chacune desdites entrées (2a, 2b) et ladite sortie (2e), l'une desdites entrées (2a) du multiplexeur (2) recevant le signal P dudit générateur (1); un comparateur (3) dont la sortie est reliée à l'autre entrée (2b) dudit multiplexeur (2) et dont une entrée reçoit également le signal P provenant du générateur (1); un convertisseur analogique-numérique (4) dont l'entrée est reliée à la sortie (2e) dudit multiplexeur (2); une première mémoire (7) destinée à recevoir dudit convertisseur analogique-numérique (4) au moins une partie de la première valeur numérique représentative de la valeur analogique P_1 ; un convertisseur numérique-analogique (8) qui est en liaison permanente avec ladite première mémoire (7) et dont la sortie est réunie à l'autre entrée dudit comparateur (3); une seconde mémoire (6) destinée à recevoir dudit convertisseur analogique-numérique (4) ladite seconde valeur numérique représentative de ladite première différence $\delta P = P_1 - P_{12}$ et des moyens de commande, d'horloge et de calcul (5) destinés à commander de façon selective lesdits moyens de liaison commandée du multi--

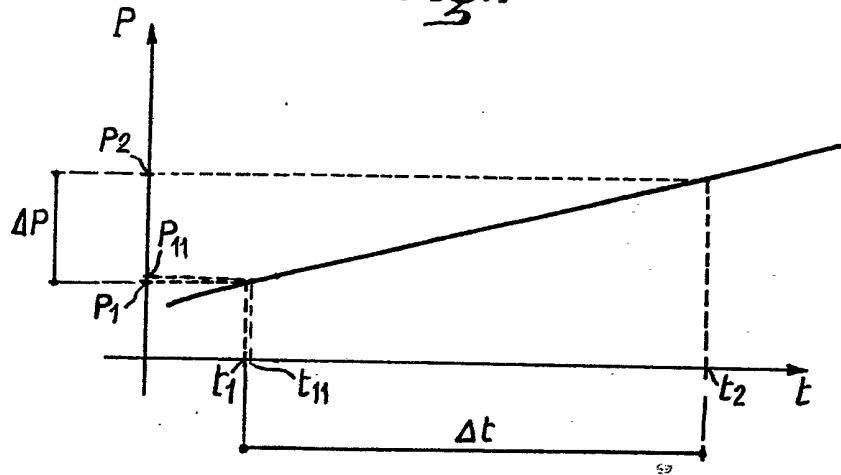
plexeur (2), à diriger ladite première valeur numérique vers ladite première mémoire (7), à diriger ladite seconde valeur numérique vers ladite seconde mémoire (6), à soustraire ladite seconde valeur numérique de la troisième pour former la valeur numérique de la troisième 5 différence $\Delta P = P_2 - P_1$, à former la valeur numérique de la différence $\Delta t = t_2 - t_1$ et à diviser les valeurs numériques de ΔP et Δt .

7.- Dispositif selon la revendication 6, caractérisé 10 en ce que ledit comparateur (3) est formé par un amplificateur différentiel à gain élevé, déterminé par la valeur de deux résistances (9,10) dont l'une (10) est montée entre l'entrée, reliée au convertisseur numérique-analogique (8), et la sortie dudit amplificateur différentiel 15 (3), tandis que l'autre (9) desdites résistances est montée dans la liaison entre ledit convertisseur numérique-analogique (8) et ledit amplificateur différentiel (3).

8.- Dispositif selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que le convertisseur analogique- 20 numérique (4) présente une plus grande résolution que le convertisseur numérique-analogique (8).

9.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que lesdits moyens de commande, d'horloge et de calcul sont constitués par un microprocesseur (5). 25

10.- Variomètre de précision, caractérisé en ce qu'il comporte, d'une part, un capteur de pression barométrique susceptible de convertir celle-ci en un signal électrique analogique et, d'autre part, un dispositif tel que spécifié sous l'une quelconque 30 des revendications 6 à 9.

Fig:1Fig:2