

**BREVET D'INVENTION**

P.V. n° 83.903

N° 1.518.688

Classification internationale :

G 06 g

**Appareil multiplicateur ou diviseur analogique.** (Invention : Shmuel BEN-YAAKOV.)

Société dite : YISSUM RESEARCH DEVELOPMENT COMPANY résidant en Israël.

**Demandé le 17 novembre 1966, à 11<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>, à Paris.**

Délivré par arrêté du 19 février 1968.

(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 13 du 29 mars 1968.)

(Demande de brevet déposée aux États-Unis d'Amérique le 22 novembre 1965, sous le n° 508.918, au nom de M. Shmuel BEN-YAAKOV.)



La présente invention concerne des multiplieurs et diviseurs analogiques, utilisés par exemple pour le calcul analogique, les mesures, ou la régulation, et elle concerne plus particulièrement un circuit électronique fournissant un signal de sortie proportionnel au produit ou au quotient de ses deux signaux d'entrée.

Les multiplieurs et diviseurs analogiques classiques utilisent en général l'un des dispositifs suivants : des éléments non-linéaires, des organes de découpage temporel, des dispositifs à effet Hall, ou des multiplieurs à servomécanismes.

Les multiplieurs à servomécanismes, en particulier, utilisent une contre-réaction, et peuvent ainsi être très précis. Ce type de multiplieur présente toutefois de nombreux inconvénients. Son fonctionnement est lent, il comporte des organes mobiles qui limitent sa vie utile, et il est très difficile à miniaturiser en raison des pièces mécaniques qu'il comporte.

L'appareil selon la présente invention comporte les avantages du multiplieur à servomécanismes à contre-réaction, mais sa construction est plus simple et il ne comporte pas d'organes mobiles, ce qui augmente sa fiabilité et sa durée de vie utile.

D'autres avantages de cet appareil apparaîtront encore au cours de la description qui va maintenant être donnée, à titre de simple exemple non limitatif, et en se référant aux figures ci-annexées, de quelques-unes de ses formes possibles de réalisation.

La figure 1 est un schéma d'un multiplieur analogique selon l'invention, fournissant une tension de sortie proportionnelle au produit de ses deux tensions d'entrée X et Y, dans le cas où la tension X est toujours de même signe.

La figure 2 représente une variante de réalisation du multiplieur analogique selon la figure 1, mais sans restriction en ce qui concerne le signe de la tension d'entrée X.

La figure 3 représente une variante de réalisation du circuit selon la figure 2, modifié de façon à fonctionner en diviseur.

Le multiplieur selon la figure 1 comprend un amplificateur différentiel A ayant deux entrées destinées à recevoir respectivement des signaux positifs et négatifs. Cet amplificateur alimente une lampe L, qui éclaire simultanément deux cellules photoconductrices PC1 et PC2. A chacune de ces cellules est associé un diviseur de tension (I et II) constitué de ladite cellule et d'une résistance. Une tension constante  $V_0$  est appliquée au point C du diviseur de tension I. Les signaux analogiques sont introduits, sous forme de tensions  $V_x$  et  $V_y$ , aux points X et Y respectivement.

Les deux cellules photoconductrices sont formées du même matériau et ont donc la même courbe de réponse à la lumière. Il n'est pas nécessaire que les résistances des cellules pour un même éclairage soient égales, ni qu'elles reçoivent toutes deux le même éclairage. La seule condition nécessaire est que, pour un éclairage quelconque fourni par la lampe L, les résistances des cellules soient reliées par l'équation :

$$(1) \quad R_{pc2} = R_{pc1}$$

dans laquelle :

$R_{pc1}$  = Résistance de PC1 ;

$R_{pc2}$  = Résistance de PC2 ;

K = Constante.

Avant le fonctionnement, les résistances sont réglées de manière que :

$$(2) \quad R_2 = KR_1$$

K étant le même coefficient qu'en (1).

L'amplificateur A, la lampe L, et le diviseur de tension I constituent une boucle de contre-réaction. Il est bien connu, d'après la théorie de la contre-réaction, que la tension au point X' est égale à la tension au point X, avec une précision qui dépend du gain de l'amplificateur. Si ce gain est suffisant, on a donc :

$$(3) \quad V_x = V_{x'}$$

$V_x$  = tension au point X ;

$V_{x'}$  = tension au point X'.

mais :

$$(4) \quad V_x = V_{x'} = \frac{V_c R_{pe1}}{R_{pe1} + R_1}$$

$V_c$  = tension au point C,  
et par conséquent :

$$(5) \quad \frac{V_x}{V_c} = \frac{R_{pe1}}{R_{pe1} + R_1}$$

Du fait du diviseur de tension II, la tension à la sortie est :

$$(6) \quad V_{\text{sortie}} = \frac{V_y R_{pe2}}{R_{pe2} + R_2}$$

En utilisant (1) et (2), on peut écrire :

$$(7) \quad V_{\text{sortie}} = \frac{V_x R_{pe1}}{R_{pe1} + R_1}$$

et en utilisant (5), on obtient :

$$(8) \quad V_{\text{sortie}} = \frac{V_x V_y}{V_c}$$

ce qui est le résultat désiré.

Dans le circuit qui vient d'être décrit, il faut toutefois que  $V_x$  ait un signe constant, positif (ou nul) si la tension en C est positive, et négatif (ou nul) si la tension en C est négative.

La figure 2 représente schématiquement un multiplicateur qui n'est pas soumis à cette restriction.

Ce multiplicateur comprend un amplificateur inverseur B ayant un gain égal à l'unité, et qui permet d'appliquer les tensions  $V_y$  et  $-V_y$  dans le diviseur de tension II. Des tensions constantes égales, mais de signes opposés, sont appliquées aux deux extrémités du diviseur de tension I. Le même calcul que ci-dessus montre que la tension de sortie de ce multiplicateur est proportionnelle au produit des deux tensions d'entrée  $V_x$  et  $V_y$ .

Son avantage est toutefois que la tension au point X', et donc au point X, peut être comprise dans l'intervalle :

$$(9) \quad -V_c < V_x < V_c$$

La précision du multiplicateur dépend principalement de la possibilité de maintenir la relation (1), ce qui est parfaitement réalisable en utilisant des cellules photoconductrices convenablement appariées.

On peut donner au multiplieur une plage de fonctionnement dynamique étendue, parce qu'on

peut faire varier très facilement l'ordre de grandeur de la résistance de la cellule photoconductrice.

La réponse de fréquence du canal X est limitée principalement par la réponse de fréquence de la lampe L et des cellules, et on peut l'améliorer en choisissant de tels composants ayant une réponse de fréquence élevée. On peut utiliser plusieurs types de cellules photoconductrices, pour couvrir une gamme de fréquence allant jusqu'à plusieurs mégahertz.

Bien entendu, on pourrait utiliser, au lieu d'une lampe, toute autre source lumineuse dont l'intensité puisse être commandée par l'amplificateur : une source optique GaAs, par exemple, donnera une courbe de réponse atteignant des fréquences plus élevées.

La stabilité du multiplicateur dépend de la stabilité de l'amplificateur et du maintien de l'appariage des cellules en fonction de la température ; on peut donc l'améliorer par le choix d'un amplificateur de haute stabilité et par un appariage convenable des cellules.

On a réalisé un multiplicateur ou diviseur selon l'invention, en utilisant une paire de cellules au cadmium-sélénium et un amplificateur ayant un gain de tension de 5 000, et on a obtenu les résultats suivants :

Plage dynamique : 40 décibels ;

Précision dans cette plage :  $\pm 1$  % ;

Réponse de fréquence : 8,5 hertz ;

Bruit : 50 millivolts.

Il est bien entendu que ces résultats se rapportent seulement à un exemple particulier et ne correspondent pas aux meilleures spécifications possibles des multiplicateurs selon l'invention.

Le même circuit peut être utilisé comme diviseur, comme le montre la figure 3, sur laquelle les points C et Y ont été intervertis. On peut donc utiliser les équations ci-dessus, en y remplaçant  $V_y$  par  $V_c$  et *vice versa*. L'équation (8) devient alors la suivante :

$$(10) \quad V_{\text{sortie}} = \frac{V_x}{V_y} \cdot V_c$$

ce qui montre que la tension de sortie est alors proportionnelle au rapport  $V_x/V_y$ .

Il est bien entendu que, bien que l'on ait décrit un circuit réalisant la division de tensions, on obtiendrait les mêmes résultats pour la division de courants.

Il est enfin précisé que l'invention n'est pas limitée aux réalisations décrites, et qu'on peut y apporter toutes variantes.

#### RÉSUMÉ

Appareil multiplicateur ou diviseur analogique, présentant, isolément ou en combinaison, les caractéristiques suivantes :

1° Il comporte une source lumineuse, un ampli-

ificateur commandant ladite source, et un premier et un deuxième élément sensibles à la lumière influencés par ladite source, le premier desdits éléments et la source lumineuse associée constituant une boucle de contre-réaction de l'amplificateur;

2° L'amplificateur est un amplificateur différentiel;

3° L'appareil comporte une première impédance connectée en série avec le premier élément sensible à la lumière et constituant avec lui un premier diviseur de tension, une deuxième impédance connectée en série avec le deuxième élément sensible à la lumière et constituant avec lui un deuxième diviseur de tension, une entrée de l'amplificateur recevant le premier signal d'entrée de l'appareil, et une autre entrée dudit amplificateur étant connectée à la boucle de contre-réaction en un point intermédiaire du premier diviseur de tension, le signal de sortie de l'appareil comprenant une combinaison des signaux d'entrée dudit appareil en un point intermédiaire du deuxième diviseur de tension;

4° Une source de tension constante est connectée en série avec l'un des diviseurs de tension,

et l'autre diviseur de tension est connecté en série avec le deuxième signal d'entrée;

5° Dans l'appareil selon 4°, un amplificateur inverseur est connecté en parallèle avec le deuxième diviseur de tension;

6° La source de tension constante est connectée en série avec le premier diviseur de tension, et le deuxième diviseur de tension est connecté en série avec le deuxième signal d'entrée;

7° Dans l'appareil selon 6°, un amplificateur inverseur est monté en parallèle avec le deuxième diviseur de tension;

8° Une source de tension constante est connectée en série avec le deuxième diviseur de tension, et le premier diviseur de tension est connecté en série avec le deuxième signal d'entrée;

9° Dans l'appareil selon 8°, un amplificateur inverseur est connecté en parallèle avec le premier diviseur de tension.

Société dite :

YISSUM RESEARCH DEVELOPMENT COMPANY

Par procuration :

Guy KANN

Fig. 1

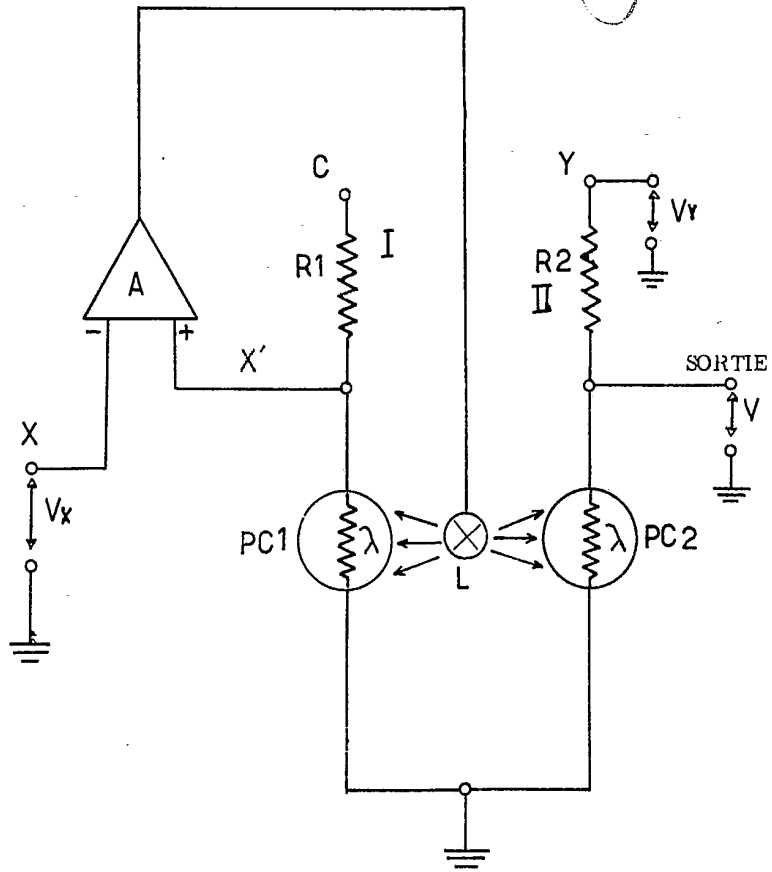
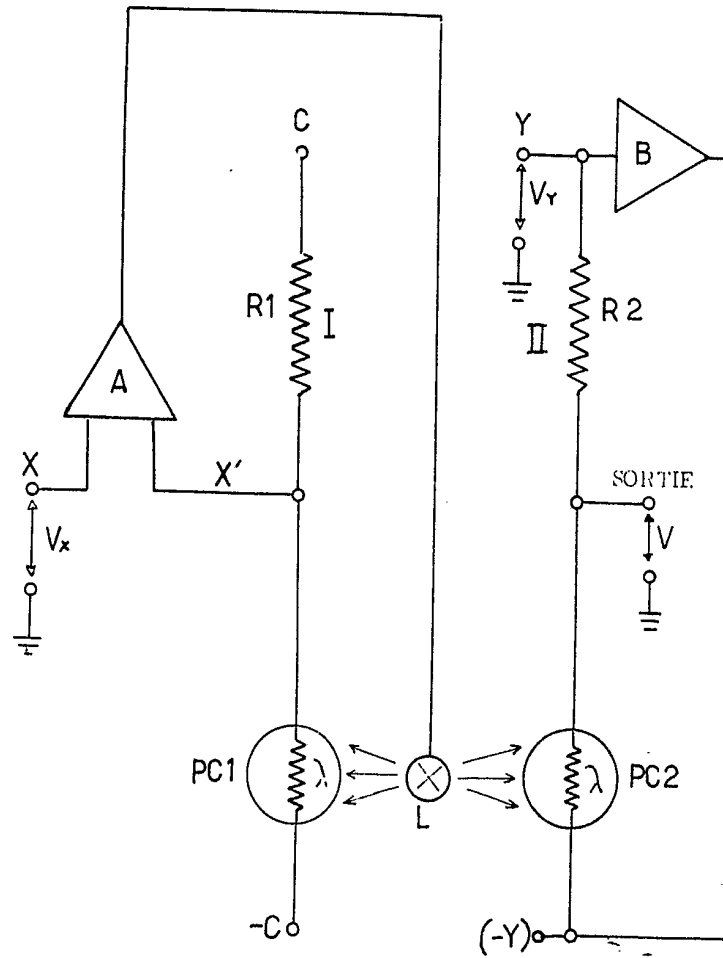


Fig. 2

D. U.  
D. S. A. Y



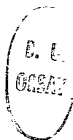


Fig. 3

