



SCHWEIZERISCHE EidGENOSSENSCHAFT

EidGENÖSSISCHES AMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Klassierung: 42 m<sup>4</sup>, 7/16

Int. Cl.: G 06 g 7/16

Gesuchsnummer: 16088/66

Anmeldungsdatum: 8. November 1966, 17¼ Uhr

Priorität: USA, 22. November 1965  
(508918)

Patent erteilt: 30. November 1967

Patentschrift veröffentlicht: 29. März 1968

M

## HAUPTPATENT

Yissum Research Development Co., Jerusalem (Israel)

## Analog-Rechenvorrichtung zum Multiplizieren und/oder Dividieren

Shmuel Ben-Yaakov, Jerusalem (Israel), ist als Erfinder genannt worden

1

Die Erfindung betrifft eine Analog-Rechenvorrichtung zum Bilden des Produktes und/oder des Quotienten von mindestens zwei Eingangssignalen, welche gekennzeichnet ist durch eine Lichtquelle, einen Verstärker zur Betätigung der Lichtquelle sowie zwei mit der Lichtquelle zusammenwirkende lichtempfindliche Elemente, wobei das erste lichtempfindliche Element, der Verstärker und die Lichtquelle in einem Rückkopplungskreis geschaltet sind.

Bekannte Analog-Rechenvorrichtungen zum Multiplizieren und zum Dividieren verwenden im allgemeinen entweder nichtlineare Elemente, Zeitteilung, Elemente zur Ausnützung des Halleffektes oder Servoverstärker.

Von diesen Elementen verwenden Servoverstärker eine negative Rückkopplung und können aus diesem Grunde sehr genau sein. Diese Art von Verstärkern hat allerdings gewisse Nachteile. Die Arbeitsweise der Verstärker ist langsam, sie verwenden bewegliche Teile, welche deren Lebensdauer beschränken, und es ist bei ihnen ein miniaturisierter Aufbau schwierig wegen der verwendeten Mechanismen.

Die Rechenvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung hat die Vorteile der bekannten Servoverstärker, indem sie die Verwendung einer Rückkopplung ermöglicht, hat jedoch gegenüber den bekannten Servoverstärkern zusätzliche Vorteile. Die erfindungsgemäße Rechenvorrichtung ist in ihrem Aufbau einfacher und braucht keine beweglichen Teile, wodurch ihre Zuverlässigkeit und Lebensdauer erhöht wird.

Ausführungsbeispiele der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung im Zusammenhang mit der beiliegenden Zeichnung. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 ein Schaltdiagramm einer Ausführung der vorliegenden Erfindung, und zwar eines Analog-Verstärkers für die Bildung einer Ausgangsspannung, die dem Produkt der Spannungen zweier Eingangssignale X und Y proportional ist, wobei das Signal X immer das gleiche Vorzeichen behält,

2

Fig. 2 eine andere Ausführung des Analog-Verstärkers nach der Fig. 1, jedoch ohne die Beschränkung bezüglich des Vorzeichens des Signales X am Eingang,

Fig. 3 eine andere Ausführung der Schaltung nach der Fig. 2, jedoch ausgeführt als eine Dividiervorrichtung.

Die Multiplizier-Vorrichtung nach der Fig. 1 enthält einen Differential-Verstärker A mit einem positiven und einem negativen Eingang. Der Verstärker liefert seine Leistung einer Lampe L. Die Lampe beleuchtet gleichzeitig zwei photoelektrische Zellen PC1 und PC2. Jede der Zellen bildet einen Teil eines Spannungsteilers, welcher aus einer der Zellen und einem Widerstand besteht. An der Stelle C ist an den Spannungsteiler I eine konstante Spannung Vc angelegt. Die analogen Signale werden in der Form von Spannungen Vx und Vy an den Stellen X und Y zugeführt.

Die beiden Photozellen bestehen aus dem gleichen Material und reagieren daher auf Licht in der gleichen Weise. Der Widerstand der beiden Zellen braucht bei gleicher Belichtung nicht gleich zu sein, und sie brauchen auch nicht durch die Lampe bei der dargestellten Schaltung in gleicher Weise beleuchtet zu werden. Die einzige notwendige Bedingung besteht darin, dass bei einer beliebigen Belichtung durch die Lampe L der Widerstand der Zellen der Gleichung entspricht.

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

wobei

R<sub>pc1</sub> = Widerstand der Photozelle PC1R<sub>pc2</sub> = Widerstand der Photozelle PC2

K = Konstante.

Vor der Arbeit werden die Widerstände so eingestellt, dass

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

wobei der Wert von K gleich ist wie in (1).

Der Verstärker A, die Lampe L und der Spannungsteiler I bilden einen negativen Rückkopplungskreis. Es

ist aus der Theorie der Rückkopplung wohl bekannt, dass die Spannung an der Stelle X' der Spannung an der Stelle X folgt. Die Genauigkeit, mit welcher diese folgt, ist vom Verstärkungsfaktor des Verstärkers abhängig. Dieser Verstärkungsfaktor kann so hoch gemacht werden, dass die gewünschte Genauigkeit erhalten wird. Es gilt somit:

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

wobei  $V_x$  = Spannung an der Stelle X  
 $V_{x'}$  = Spannung an der Stelle X'.

Es ist jedoch:

$$V_x = V_{x'} = \frac{V_c R_{pc1}}{R_{pc1} + R_1} \quad (4)$$

wobei  $V_c$  = Spannung an der Stelle C

und man erhält daher:

$$\frac{V_x}{V_c} = \frac{R_{pc1}}{R_{pc1} + R_1} \quad (5)$$

Zufolge des Spannungsteilers II ist die Spannung am Ausgang:

$$V_{aus} = \frac{V_y R_{pc2}}{R_{pc2} + R_2} \quad (6)$$

Unter Verwendung der Gleichung (1) und (2) kann geschrieben werden:

$$V_{aus} = \frac{V_y R_{pc1}}{R_{pc1} + R_1} \quad (7)$$

durch die Verwendung der Gleichung (5) erhält man

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

was das gewünschte Resultat darstellt.

In diesem Kreise kann allerdings der Wert von  $V_x$  nur ein Vorzeichen aufweisen, und zwar positiv (oder Null), wenn die Spannung an der Stelle C positiv ist und negativ (oder Null), wenn die Spannung an der Stelle C negativ ist.

In der Fig. 2 ist ein Verstärker dargestellt, welcher keine Beschränkung bezüglich des Vorzeichens des Signales  $V_x$  aufweist.

Diese Schaltung enthält einen Phasenumkehr-Verstärker B mit einem Verstärkungsfaktor Eins. Durch die Verwendung des Verstärkers B werden dem Spannungsteiler II zwei Signale  $V_y$  und  $-V_y$  zugeführt. An die beiden Enden des Spannungsteilers I sind konstante Spannungen mit der gleichen Grösse jedoch mit umgekehrter Polarität angelegt. Die gleichen Gründe wie beim vorherigen Beispiel führen zum Schlusse, dass die Ausgangsspannung dieses Verstärkers ebenfalls dem Produkt der beiden Eingangsspannungen  $V_x$  und  $V_y$  proportional ist.

Diese Schaltung hat dabei den Vorteil, dass die Spannungen an der Stelle X' und somit auch an der Stelle X sich im Bereich befinden können:

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

Die Genauigkeit des Verstärkers ist hauptsächlich von der Möglichkeit der Einhaltung der Gleichung (1) abhängig. Es werden in der Gegenwart aneinander

angepasste Paare von Photozellen hergestellt und die Anpassung im Rahmen einer gegebenen Genauigkeit ist nur die Sache einer geeigneten Auswahl.

Der dynamische Bereich des Verstärkers kann gross gemacht werden, da der Widerstand der Photozelle auf eine sehr einfache Weise über einige Grössenordnungen verändert werden kann.

Der Frequenzbereich des Kanales X ist hauptsächlich durch den Frequenzbereich der Lampe L und der Photozellen begrenzt und kann dadurch verbessert werden, dass Teile verwendet werden, die bei höheren Frequenzen arbeiten können. Es können verschiedene Typen von Photozellen verwendet werden, bis in den Bereich von Megahertz.

Obwohl die Lampe als die Lichtquelle beschrieben wurde, versteht es sich, dass die Lampe durch eine beliebige Lichtquelle ersetzt werden kann, welche die Eigenschaft aufweist, dass ihre Lichtintensität durch den Verstärker gesteuert werden kann. So kann z. B. durch Verwendung einer optischen Quelle des Typs GaAs die Möglichkeit einer Arbeit bei höheren Frequenzen erzielt werden.

Die Stabilität des Verstärkers ist einerseits von der Stabilität des Verstärkers selbst sowie von der Temperatur-Empfindlichkeit der Photozellen abhängig und kann dadurch verbessert werden, dass ein Verstärker mit hoher Stabilität gewählt wird und dass die Zellen entsprechend aneinander angepasst werden.

Der erfindungsgemässe Kreis wurde unter Verwendung eines Paares von CdSe-Zellen, einer Kontrolllampe Nr. 40 und eines Verstärkers mit einem Verstärkungsfaktor von 5000 geprüft. Es wurden die folgenden Resultate erhalten:

Dynamischer Bereich: 40 db.  
 Genauigkeit im obigen Bereich:  $\pm 1\%$   
 Frequenz: 8,5 Hz  
 Geräuschpegel: 50 MV.

Es versteht sich, dass sich diese Resultate nur auf ein bestimmtes Beispiel und nicht auf die bestmögliche Ausführung eines Verstärkers beziehen. Diese Resultate können noch weiter verbessert werden.

Die gleiche Schaltung kann auch zum Dividieren verwendet werden. In der Fig. 3 wurden die Stellen C und Y vertauscht. Es können daher die angegebenen Gleichungen verwendet werden, wobei  $V_y$  durch  $V_c$  und umgekehrt ersetzt ist. Die Gleichung (8) kann in der folgenden Form umgeschrieben werden

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

das bedeutet, dass das Ausgangssignal in diesem Zusammenhang dem Quotient von  $V_x$  zu  $V_y$  proportional ist.

Es versteht sich, dass, obwohl ein Spannungsteiler verwendet wurde, und die Schaltung auf der Grundlage von Spannungen arbeitet, die gleichen Resultate erzielt werden, wenn die Schaltung auf der Grundlage von Strömen betrieben wird.

#### PATENTANSPRUCH

Analog-Rechenvorrichtung zum Bilden des Produktes und/oder des Quotienten von mindestens zwei Eingangssignalen, gekennzeichnet durch eine Lichtquelle (L), einen Verstärker (A) zur Betätigung der Lichtquelle

(L) sowie zwei mit der Lichtquelle zusammenwirkende lichtempfindliche Elemente (PC1, PC2), wobei das erste lichtempfindliche Element (PC1), der Verstärker (A) und die Lichtquelle (L) in einem Rückkopplungskreis geschaltet sind.

#### UNTERANSPRÜCHE

1. Rechenvorrichtung nach Patentanspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Verstärker (A) ein Differentialverstärker ist.

2. Rechenvorrichtung nach Patentanspruch, gekennzeichnet durch ein erstes Impedanzglied ( $R_1$ ), welches in Serie mit dem ersten lichtempfindlichen Element (PC1) geschaltet ist und einen ersten Spannungsteiler (I) bildet, ein zweites Impedanzglied ( $R_2$ ), welches mit einem zweiten lichtempfindlichen Element (PC2) in Serie geschaltet ist und einen zweiten Spannungsteiler (II) bildet, einen Eingang (X) des Verstärkers (A), welcher an die Signalleitung für das erste Eingangssignal der Vorrichtung angeschlossen ist, und einen zweiten Eingang (X') des Verstärkers, welcher sich im Rückkopplungskreis befindet und an einer Zwischenstelle des ersten Spannungsteilers (I) angeordnet ist, sowie einen Ausgang der Vorrichtung, welcher die Kombination ( $V_{aus}$ ) der Eingangssignale der Vorrichtung führt und an eine Zwischenstelle des zweiten Spannungsteilers (II) angeschlossen ist.

3. Rechenvorrichtung nach Unteranspruch 2, gekennzeichnet durch eine Quelle (C) eines konstanten

Signales (Vc), welche mit einem der Spannungsteiler (I) in Serie geschaltet ist, wobei der andere Spannungsteiler (II) mit der Signalleitung für das zweite Eingangssignal (Y) der Vorrichtung in Serie geschaltet ist.

5 4. Rechenvorrichtung nach Unteranspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Phasenumkehr-Verstärker (B) parallel zum zweiten Spannungsteiler geschaltet ist.

10 5. Rechenvorrichtung nach Unteranspruch 2, gekennzeichnet durch eine Quelle (C) eines konstanten Signales, welche in Serie mit dem ersten Spannungsteiler (I) geschaltet ist, wobei der zweite Spannungsteiler (II) mit der Signalleitung für das zweite Eingangssignal (Y) der Vorrichtung in Serie geschaltet ist.

15 6. Rechenvorrichtung nach Unteranspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass parallel zum zweiten Spannungsteiler ein Phasenumkehr-Verstärker (B) geschaltet ist.

20 7. Rechenvorrichtung nach Unteranspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in Serie mit dem ersten Spannungsteiler (I) eine Quelle eines konstanten Signales (C) geschaltet ist, wobei der zweite Spannungsteiler (II) mit der Signalleitung für das zweite Eingangssignal (Y) der Vorrichtung in Serie geschaltet ist.

25 8. Rechenvorrichtung nach Unteranspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass parallel zum ersten Spannungsteiler (I) ein Phasenumkehr-Verstärker (B) geschaltet ist.

Yissum Research Development Co.

Vertreter: Fritz Isler, Zürich

Fig.1

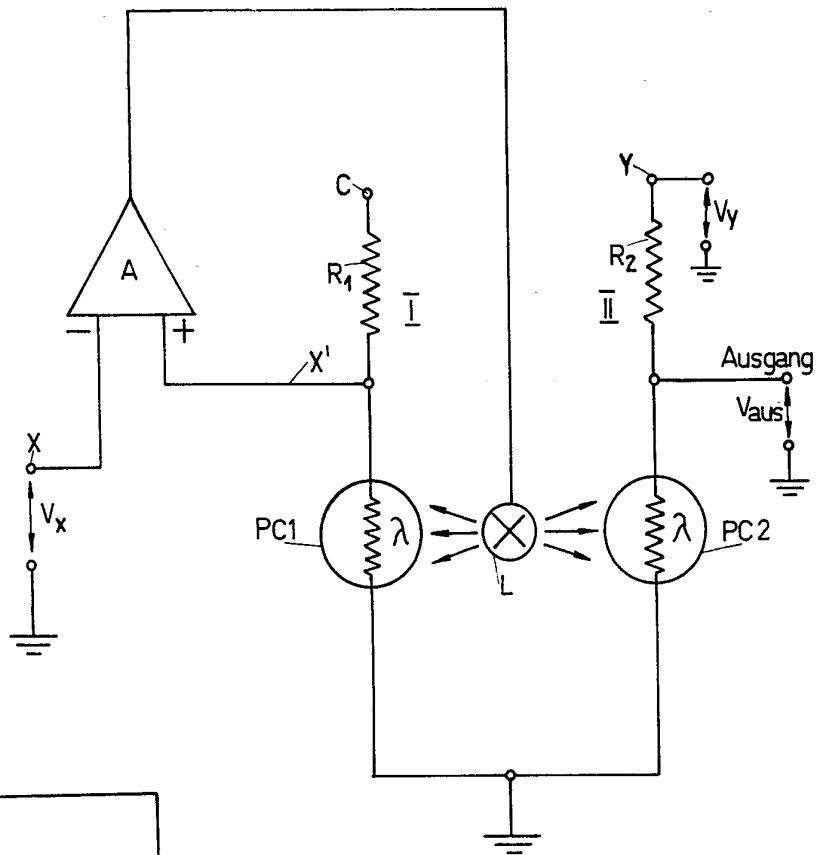


Fig.2

