

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
3. April 2003 (03.04.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/027613 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01D 5/20**, 3/028

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/03507

(22) Internationales Anmeldedatum:  
19. September 2002 (19.09.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
101 46 287.5 19. September 2001 (19.09.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Königsbacher Strasse 15, 94496 Ortenburg (DE).

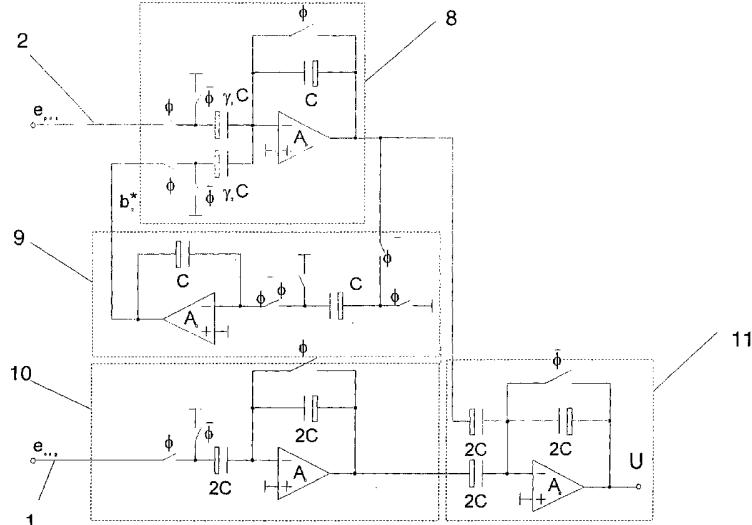
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KLEINE, Ulrich** [DE/DE]; Steigerweg 5, 38350 Helmstedt (DE). **ROEWER, Falk** [DE/DE]; Kleiststrasse 4, 39108 Magdeburg (DE). **SALZWEDDEL, Klaus** [DE/DE]; Kroatenweg 31, 39116 Magdeburg (DE). **MEDNIKOV, Felix** [RU/DE]; Vorderhainberg 9, 94496 Ortenburg (DE). **SELLEN, Martin** [DE/DE]; Moosham 17, 94496 Ortenburg (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CIRCUIT FOR MEASURING DISTANCES TRAVELED

(54) Bezeichnung: SCHALTUNG ZUR MESSUNG VON WEGSTRECKEN



WO 03/027613 A1

(57) Abstract: The invention relates to a circuit for measuring distances travelled, comprising at least two inputs (1, 2), at least one measuring coil (3) and at least one signal source. According to the invention, at least two input signals ( $e_{pos}$ ,  $e_{neg}$ ) can be generated by means of said signal source, the inputs (1, 2) can be controlled by means of the input signals ( $e_{pos}$ ,  $e_{neg}$ ) and the input signals ( $e_{pos}$ ,  $e_{neg}$ ) are applied to the inputs of the measuring coil (3) in a pre-processed state. In order for the circuit to be used in a minimum of available space, the input signals ( $e_{pos}$ ,  $e_{neg}$ ) of said circuit are applied to at least one preferably timed SC network and are used to generate a measuring signal and/or an output signal that is temperature-dependent. The invention also relates to a corresponding method.

(57) Zusammenfassung: Eine Schaltung zur Messung von Wegstrecken, mit mindestens zwei Eingängen (1, 2), mindestens einer Messspule (3) und mit mindestens einer Signalquelle, wobei mittels der Signalquelle mindestens zwei Eingangssignale ( $e_{pos}$ ,  $e_{neg}$ ) erzeugbar sind, wobei die Eingänge (1, 2) mittels der Eingangssignale ( $e_{pos}$ ,  $e_{neg}$ ) ansteuerbar sind und wobei die Eingangssignale ( $e_{pos}$ ,  $e_{neg}$ ),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(74) **Anwalt:** ULLRICH & NAUMANN; Luisenstrasse 14,  
69115 Heidelberg (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** JP, US.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

vorzugsweise vorverarbeitet, an den Eingängen der Messspule (3) anliegen, ist im Hinblick auf einen Einsatz der Schaltung auch bei geringem für die Schaltung vorhandenen Raum derart ausgestaltet, dass die Eingangssignale ( $e_{pos}$ ,  $e_{neg}$ ) an mindestens einem vorzugsweise getakteten SC-Netzwerk anliegen und zur Erzeugung eines Messsignals und/oder eines vom Temperatureinfluss abhängigen Ausgangssignals dienen. Des Weiteren ist ein entsprechendes Verfahren angegeben.

## **„Schaltung zur Messung von Wegstrecken“**

Die Erfindung betrifft eine Schaltung zur Messung von Wegstrecken, mit mindestens zwei Eingängen, mindestens einer Messspule und mit mindestens einer Signalquelle, wobei mittels der Signalquelle mindestens zwei Eingangssignale erzeugbar sind, wobei die Eingänge mittels der Eingangssignale ansteuerbar sind und wobei die Eingangssignale, vorzugsweise vorverarbeitet, an den Eingängen der Messspule anliegen. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Messung von Wegstrecken, insbesondere zum Betreiben einer Schaltung zur Messung von Wegstrecken, mit mindestens zwei Eingängen, mindestens einer Messspule und mit mindestens einer Signalquelle, wobei mittels der Signalquelle mindestens zwei Eingangssignale erzeugt werden, wobei die Eingänge mittels der Eingangssignale angesteuert sind und wobei die Eingangssignale, vorzugsweise vorverarbeitet, an den Eingänge der Messspule anliegen,

Aus der Praxis sind verschiedene Schaltungen zur Messung von Wegstrecken bekannt, lediglich beispielhaft wird hierbei auf die DE 42 25 968 A1 verwiesen. Mit der dort offenbarten Schaltung werden mittels einer Messspule Wegstrecken berührungslos gemessen. Es handelt sich hierbei um einen induktiven Wegsensor, der mit relativ niedrigen Frequenzen im Bereich von 1 kHz bis 10 kHz betrieben wird. Um die Genauigkeit der Messung zu erhöhen, ist es bei dieser Schaltung notwendig, den Temperatureinfluss auf die Messgröße zu ermitteln. Dies erfolgt bei der bekannten Schaltung mittels einer diskreten Schaltung, die den Gleichspannungsanteil einer mit Wechselspannungen angeregten Schaltung erfasst. Die Schaltung weist zwei Eingänge auf, die mit zwei von einer Signalquelle erzeugten Eingangssignalen gegenphasig angesteuert werden. Die den Eingängen nachfolgenden Operationsverstärker arbeiten mit ihren Widerständen als Spannungs-/Strom-Wandler, wobei der Strom von beiden Seiten in die Messspule eingekoppelt wird.

Im Normalbetrieb – Messbetrieb – wird die Schaltung mit zwei gegenphasigen Wechselspannungen angesteuert. Zur Bestimmung des Temperaturverhaltens wird den Wechselspannungen ein DC-Offset-Spannungssignal – Gleichspannungsanteil – überlagert. Da der eingespeiste Strom schaltungsbedingt an beiden

Enden der Messspule gleich sein muss, stellen sich über den der Messspule zugeordneten Widerständen, die zudem jeweils einer Operationsverstärkerschaltung zugeordnet sind, unterschiedliche Spannungen ein, die durch den Offset der Wechselspannungen und der Messspule sowie der temperaturabhängige Anteile bedingt sind. Die temperaturabhängige Ausgangsspannung – Gleichspannung – wird mit einem weiteren Operationsverstärker bestimmt.

Wendet man das Superpositionsprinzip an, so erkennt man, dass der untere Eingang der Schaltung ein Tiefpassverhalten und der obere Eingang der Schaltung ein Bandpassverhalten aufweist. Für ideale gegenphasige Eingangssignale ist die Gesamtübertragungsfunktion somit eine Tiefpassfunktion, welche durch eine weitere Kapazität geglättet wird. Der Tiefpass entsteht durch die Differenz eines Hochpasses und eines mit ihm gematchten Verstärkungspfads.

Da der Offset in erster Näherung umgekehrt proportional zur Temperatur ist

$$U = U_0 \frac{K}{R_0 (1 + \alpha T)}, \quad (1)$$

können somit die Temperatur bestimmt und temperaturbedingte Messfehler korrigiert werden. Diese Messungen werden jedoch nur selten in die normalen Messungen mit den rein wechselspannungsmäßigen Eingangssignalen eingeschoben. Während der Messung mit rein wechselspannungsmäßigen Eingangssignalen kann auch ein Gleichspannungsanteil ermittelt werden, der dazu dient, die Temperaturdrift der Messspule zu erfassen und zu korrigieren.

Die bekannte Schaltung ist insbesondere dahingehend problematisch, dass die auftretenden Zeitkonstanten der Filterung sehr groß sind und die bekannte Schaltung aufgrund ihres Aufbaus verhältnismäßig groß ausgestaltet ist und deshalb nicht für einen Einsatz geeignet ist, bei dem nur ein sehr geringer Raum für die Schaltung vorhanden ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Schaltung sowie ein Verfahren zur Messung von Wegstrecken der eingangs genannten Art anzugeben, durch die/das ein Einsatz der Schaltung auch bei geringem für die Schaltung vorhandenen Raum ermöglicht wird.

Erfindungsgemäß wird die voranstehende Aufgabe durch eine Schaltung zur Messung von Wegstrecken mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Danach ist die in Rede stehende Schaltung derart ausgestaltet und weitergebildet, dass die Eingangssignale an mindestens einem vorzugsweise getakteten SC-Netzwerk anliegen und zur Erzeugung eines Messsignals und/oder eines vom Temperatureinfluss abhängigen Ausgangssignals dienen.

Des Weiteren ist die obige Aufgabe im Hinblick auf ein Verfahren zur Messung von Wegstrecken durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 24 gelöst. Danach ist ein Verfahren zur Messung von Wegstrecken der eingangs genannten Art derart ausgestaltet, dass die Eingangssignale an mindestens einem vorzugsweise getakteten SC-Netzwerk anliegen und zur Erzeugung eines Messsignals und/oder eines vom Temperatureinfluss abhängigen Ausgangssignals dienen.

In erfindungsgemäßer Weise ist erkannt worden, dass man in Abkehr zu der bisherigen Praxis eine Miniaturisierung der bisherigen Schaltung erreichen muss, um eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten der Schaltung zu ermöglichen. Dies wird dadurch erreicht, dass die Schaltung derart ausgestaltet wird, dass sie als integrierte Schaltung aufgebaut werden kann und die Integration in einen ASIC bei vergleichbarer Übertragungsfunktion der bekannten Schaltung ermöglicht wird. Dies wird durch den Einsatz eines SC-Netzwerks – Schalter-Kondensator-Netzwerks – erreicht, das ein gutes Matchingverhalten aufweist und es erlaubt, die Schaltung besonders einfach zu integrieren und somit zu miniaturisieren, wodurch die Schaltung auch bei sehr geringem Raum und somit universell einsetzbar wird und der Preis der Schaltung gering gehalten werden kann.

Die Hochpassschaltung wird hierbei durch ein äquivalentes passives doppelresistives Referenznetzwerk ersetzt, das einen Spannungsteiler und eine Induktivität

umfasst, die parallel zu einem der Widerstände des Spannungsteilers geschaltet ist. Die Übertragungsfunktion dieses Filters ist die eines Hochpasses ersten Grads

$$H(p) = \frac{p R_2 L}{R_1 R_2 + p(R_1 + R_2)L}. \quad (2)$$

Die Übertragungsfunktion weist eine Nullstelle bei  $p = 0$  und einen Pol bei  $p = -R_1 R_2 / (R_1 + R_2) 1/L$  auf, wobei  $p$  die allgemeine komplexe Frequenzvariable ist.

Mittels bekannter Methoden kann nunmehr ein entsprechendes Wellenflussdiagramm erstellt werden. Ein Dreitorparalleladaptor dient dazu, die unterschiedlichen Wellenwiderstände der drei Komponenten des Referenznetzwerks aneinander anzupassen. An der linken Seite des Dreitorparalleladapters befindet sich das Wellenflussdiagramm einer widerstandsbehafteten Spannungsquelle, in der Mitte oben das Wellenflussdiagramm der Induktivität und an der rechten Seite das Wellenflussdiagramm des Abschlusswiderstands. Da Wellenfilter zeitdiskret sind, wird anstatt der komplexen Frequenzvariable  $p$  eine neue Frequenzvariable  $\psi$  mit

$$\psi = \frac{z-1}{z+1} = \tanh\left(\frac{pT}{2}\right), \text{ und } z = e^{pT} \quad (3)$$

definiert werden, wobei  $T = 1/F$  die Abtastperiode und  $F$  die Abtastfrequenz ist. Für rein imaginäre Frequenzen wird  $p$  zu  $j\omega$  und damit zu

$$\psi = \tan\left(\frac{\omega T}{2}\right). \quad (4)$$

Die Adaptorgleichungen lassen sich in diesem Fall wie folgt aufstellen:

$$b_3 = \sum_{v=1}^2 \gamma_v a_v \quad (5)$$

$$b_2 = b_3 - a_2 \quad (6)$$

mit einfallenden Spannungswellen  $a_i$  und ausfallenden Spannungswellen  $b_i$  für  $i = 1, 2, 3$ . Die Ausgangsspannung ergibt sich nach

$$U = \frac{a + b}{2} = \frac{b_3}{2}. \quad (7)$$

Zusätzlich ist die Invertierung des Signals im Wellenflussdiagramm der Induktivität zu realisieren.

$$b_2^* = -b_2. \quad (8)$$

Falls keine parasitären Ströme zugelassenen werden sollen, ist es möglich, positiv verzögert oder negativ nicht verzögert zu verstärken oder zu integrieren. Mit dieser Technik sind verschiedene Realisierungsarten von Wellen-Schalter-Kondensator-Filtern – SC-Filter – bekannt.

Im Rahmen einer besonders guten Bestimmung des Temperatureinflusses könnten mindestens zwei Eingangssignale im Wesentlichen unipolar und/oder gegenphasig sein. Vorzugsweise handelt es sich bei den Eingangssignalen im Wesentlichen um Rechteckspannungen, da dann gegenphasige Eingangssignale besonders einfach erzeugbar sind.

Zur Reduktion von niederen Frequenzen in den Eingangssignalen könnten die Eingangssignale mittels zumindest eines Filters proportional und/oder mittels eines Hochpasses filterbar sein.

Im Hinblick auf eine besonders einfache Ausgestaltung könnte das SC-Netzwerk mindestens einen SC-Verstärker aufweist. Dies würde einen besonders einfachen Aufbau der Schaltung erlauben.

In einer weiter vorteilhaften Ausgestaltung könnte ein erster SC-Verstärker als positiver verzögerter SC-Verstärker realisiert sein und/oder zwei Eingänge mit je einem Faktor multiplizieren. Bei einer Realisierung des SC-Verstärkers als positiver verzögerter SC-Verstärker könnten so parasitären Ströme vermindert werden.

Zur weiteren Vermeidung von parasitären Strömen könnte ein zweiter SC-Verstärker als positiver verzögerter SC-Verstärker realisiert sein und/oder mindestens eines der Eingangssignale, vorzugsweise nicht verstärkt, um eine Halbperiode der Taktfrequenz verzögern.

Das SC-Netzwerk könnte mindestens einen SC-Integrator aufweisen. Im Hinblick auf die Vermeidung von parasitären Strömen könnte der SC-Integrator als negativer nicht verzögerter SC-Integrator realisiert sein und/oder eine Verstärkung von Eins aufweisen und/oder verlustbehaftet sein.

In besonders einfacher Weise könnte der Ausgang des SC-Integrators an einem zweiten Eingang des ersten SC-Verstärkers anliegen.

In Hinblick auf eine besonders einfache Bestimmung des Temperatureinflusses könnten mittels eines SC-Addierers die Ausgänge des ersten SC-Verstärkers und des zweiten SC-Verstärkers addierbar sein. Somit könnte am Ausgang des SC-Addierers ein temperaturabhängiges Ausgangssignal abgegriffen werden, das zur Kompensation des Temperatureinflusses verwendet werden könnte.

Der Ausgang des ersten SC-Verstärkers könnte an den Eingängen des SC-Integrators und/oder des SC-Addierers anliegen. Zusätzlich oder alternativ könnte der Ausgang des zweiten SC-Verstärkers an einem zweiten Eingang des SC-Addierers anliegen.

Ferner könnte das SC-Netzwerk auch mindestens einen SC-Verstärker und/oder mindestens einen SC-Integrator und/oder mindestens einen SC-Addierer aufweisen.

Zur Vermeidung von parasitären Strömen könnte der erste und/oder der zweite SC-Verstärker und/oder der SC-Addierer negativ nicht verzögert realisiert sein. Zusätzlich oder alternativ könnte der SC-Integrator positiv verzögert realisiert sein. Das Ausgangssignal könnte somit invertiert werden.

Im Rahmen einer vorteilhaften Ausgestaltung könnte das SC-Netzwerk mindestens einen SC-Verstärker und/oder mindestens einen SC-Integrator und/oder mindestens einen SC-Differenzverstärker aufweisen.

In weiter vorteilhafter Weise könnte mindestens eines der vorzugsweise mit einem Faktor multiplizierten Eingangssignale im SC-Integrator speicherbar sein. Ein weiterer Faktor könnte von einer Kapazität des SC-Integrators jeweils vom Ergebnis in jeder Taktperiode wieder löschenbar sein.

In vorteilhafter Weise könnte ein SC-Verstärker als positiver verzögter SC-Verstärker realisiert sein und/oder mindestens eines der Eingangssignale nicht verstärkt und/oder um eine Halbperiode der Taktfrequenz verzögern.

Zur Ermittlung des Temperatureinflusses könnte der Ausgang des SC-Verstärkers und des SC-Integrators mittels eines SC-Differenzverstärkers subtrahierbar sein und/oder um eine Halbperiode der Taktfrequenz verzögertbar sein.

In besonders einfacher Weise könnte der Ausgang des SC-Verstärkers am zweiten Eingang des SC-Integrators anliegen. Das Ausgangssignal könnte somit eine Verzögerung von einer Taktperiode aufweisen.

Das erfindungsgemäße Verfahren könnte insbesondere zum Betreiben einer Schaltung gemäß den obigen Ausführungen dienen. Bei dem Verfahren ist es vorteilhaft, dass eine mittels dieses Verfahrens betriebene Schaltung aufgrund ihres guten Matchingverhaltens besonders einfach integrierbar ist.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die

nachfolgende Erläuterung bevorzugter Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Schaltung und des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Messung von Wegstrecken anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Schaltung und des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der Zeichnung werden auch im Allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

- Fig. 1 in einer schematischen Darstellung, eine bekannte Schaltung zur Bestimmung des Temperatureinflusses,
- Fig. 2 in einer grafischen Darstellung, Signale zum Betreiben der bekannten Schaltung,
- Fig. 3 in einer schematischen Darstellung, ein passives doppelresistives Referenznetzwerk einer Hochpassschaltung,
- Fig. 4 in einer schematischen Darstellung, ein Wellenflussdiagramm der Hochpassschaltung der Fig.3,
- Fig. 5 in einer schematischen Darstellung, eine SC-Realisierung einer Hochpassschaltung,
- Fig. 6 die Übertragungsfunktion der Hochpassschaltung der Fig. 5,
- Fig. 7 in einer schematischen Darstellung, ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaltung,
- Fig. 8 die Übertragungsfunktion der in Fig. 7 gezeigten Schaltung,
- Fig. 9 in einer schematischen Darstellung, ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaltung und
- Fig. 10 die Übertragungsfunktion der in Fig. 9 gezeigten Schaltung.

Die bekannte Schaltung zur Messung von Wegstrecken ist als diskrete Schaltung ausgestaltet und weist zwei Eingänge 1, 2 sowie eine Messspule 3 auf. Mittels einer – hier nicht dargestellten – Signalquelle sind zwei Eingangssignale  $e_{pos}$  und  $e_{neg}$  erzeugbar. Die Eingänge 1, 2 werden hierbei mittels der Eingangssignale  $e_{pos}$  und  $e_{neg}$  angesteuert, wobei die Eingangssignale  $e_{pos}$  und  $e_{neg}$  vorverarbeitet an den Eingängen 1, 2 der Messspule 3 anliegen.

Die bekannte wechselspannungsmäßig angeregten Schaltung ermöglicht hierbei die messtechnische Erfassung eines Gleichspannungsanteils, der proportional zur Temperatur ist. Die den Eingängen 1, 2 nachfolgenden Operationsverstärker bilden mit ihren Widerständen einen Spannungs-/Stromwandler. Der Strom wird von beiden Seiten in die Messspule 3 eingekoppelt. Im Normalbetrieb, d. h. im Messbetrieb, werden die in Fig. 2a dargestellten wechselspannungsmäßigen Eingangssignale  $e_{pos}$  und  $e_{neg}$  zur Ansteuerung der Eingänge benutzt. Zur Bestimmung des linear abhängigen Temperaturverhaltens der Schaltung und der Messspule 3 werden hingegen die in Fig. 2b gezeigten Eingangssignale  $e_{pos}$  und  $e_{neg}$  verwendet.

Aus Fig. 2b ist sehr gut ersichtlich, dass diese Eingangssignale  $e_{pos}$  und  $e_{neg}$  Wechselspannungen entsprechen, die mit einer Gleichspannung überlagert sind. Da der eingespeiste Strom schaltungsbedingt an beiden Messspulenenden gleich sein muss, wird sich über den Widerständen  $R_{11}$  und  $R_{12}$  aufgrund des Offsets der Eingangssignale  $e_{pos}$  und  $e_{neg}$  und der Messspule 3 sowie der temperaturbedingten Anteile eine unterschiedliche Spannung einstellen. Aus dieser Spannung wird mittels eines Operationsverstärkers 4 eine temperaturabhängige Ausgangsspannung  $U - \text{Gleichspannung} -$  bestimmt.

Wendet man das Superpositionsprinzip an, so erkennt man, dass der dem Eingang 1 zugeordnete Operationsverstärker 5 in Verbindung den Widerständen  $R_2$ ,  $R_3$  und der Kapazität  $C_2$  ein Tiefpassverhalten aufweist und der dem Eingang 2 zugeordnete Operationsverstärker 6 in Verbindung mit den Widerständen  $R_1$ ,  $R_3$  und den Kapazitäten  $C_1$  und  $C_2$  ein Bandpassverhalten aufweist. Für ideal gegenphasige Eingangssignale ist die Gesamtübertragungsfunktion eine Tiefpassfunkti-

on, welche durch die Kapazität  $C_2$  geglättet wird. Der Tiefpass entsteht durch die Differenz eines Hochpasses und eines mit ihm gematchten Verstärkungspfads.

Da der Offset in erster Näherung umgekehrt proportional von der Temperatur abhängig ist

$$U = U_0 \frac{K}{R_0 (1 + \alpha T)}, \quad (9)$$

können somit die Temperatur bestimmt und temperaturbedingten Effekte korrigiert werden.

Fig. 3 zeigt ein äquivalentes passives doppelresistives Referenznetzwerk einer Hochpassschaltung. Es besteht aus einer Spannungsquelle  $e$ , einem Spannungsteiler der Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  und einer parallel zum Widerstand  $R_2$  geschalteten Induktivität  $L$ . Die Übertragungsfunktion dieses Filters ist die eines Hochpasses ersten Grades

$$H(p) = \frac{p R_2 L}{R_1 R_2 + p (R_1 + R_2) L} \quad (10)$$

mit einer Nullstelle bei  $p = 0$  und einem Pol bei  $p = -R_1, R_2/(R_1 + R_2) 1/L$ , wobei  $p$  wiederum die komplexe Frequenzvariable ist.

Nunmehr kann ein entsprechendes Wellenflussdiagramm erstellt werden, wie dies in Fig. 4 darstellt ist. Das Wellenflussdiagramm umfasst einen Dreitorparallel-adaptor 7, in dem die unterschiedlichen Wellenwiderstände der drei Komponenten der Fig. 3 aneinander angepasst werden. An der linken Seite befindet sich das Wellenflussdiagramm der widerstandsbehafteten Spannungsquelle  $e$ , in der Mitte oben das Wellenflussdiagramm der Induktivität  $L$  und an der rechten Seite der Abschlusswiderstand  $R_2$ . Da Wellenfilter zeitdiskret sind, muss anstatt der komplexen Frequenzvariablen  $p$  eine neue Frequenzvariable  $\psi$  mit

$$\psi = \frac{z-1}{z+1} = \tanh\left(\frac{pT}{2}\right), \text{ und } z = e^{pT} \quad (11)$$

definiert werden, wobei  $T = 1/F$  die Abtastperiode und  $F$  die Abtastfrequenz ist. Für rein imaginäre Frequenzen wird  $p$  zu  $j\omega$  und damit  $\psi$  zu

$$\psi = \tan\left(\frac{\omega T}{2}\right). \quad (12)$$

Die zu berechnenden Adaptorgleichungen lassen sich in diesem Fall wie folgt aufstellen:

$$b_3 = \sum_{v=1}^2 \gamma_v a_v \quad (13)$$

$$b_2 = b_3 - a_2 \quad (14)$$

mit den einfallenden Spannungswellen  $a_i$  und den ausfallenden Spannungswellen  $b_i$  für  $i = 1, 2, 3$ . Die Ausgangsspannung ergibt sich durch

$$U = \frac{a + b}{2} = \frac{b_3}{2}. \quad (15)$$

Zusätzlich ist die Invertierung des Signals in dem Wellenflussdiagramm der Induktivität zu realisieren.

$$b_2^* = -b_2. \quad (16)$$

Mit dieser Technik werden verschiedene Realisierungsarten von Wellen-Schalter-Kondensator-Filttern – SC-Filttern – beschrieben.

Fig. 5 zeigt eine erfindungsgemäße SC-Realisierung der Hochpassschaltung. Die Schaltung weist hierbei einen SC-Netzwerk auf, wobei ein SC-Verstärker 8 zur Nachbildung der Gleichung 13 dient. Das Eingangssignal  $e_{pos}$  und das Eingangssignal  $b_2^*$  des SC-Verstärkers 8 werden positiv verzögert und entsprechend Gleichung 13 mit den Koeffizienten  $\gamma_1$  bzw.  $\gamma_2$  multipliziert. Der Ausgang des SC-Verstärkers 8 ist gleichzeitig der Ausgang der Hochpassschaltung.

Da sich die Ausgangsspannung gemäß Gleichung 15 als arithmetischer Mittelwert aus der einfallenden und der reflektierten Spannungswelle ergibt, wird am Ausgang der 0dB-Level erreicht, weil die Division mit dem Faktor Zwei nicht durchgeführt wird. Die beiden Koeffizienten der Gleichung 13 werden als Kapazitätsverhältnisse in den Signalpfaden nachgebildet. Die Realisierung der Gleichung 13 sowie der Gleichung 15 wird durch einen nicht verzögerten negativen SC-Integrator 9 gebildet. Durch Einkopplung des Ausgangssignals des SC-Integrators 9 in den SC-Verstärker 8 in Phase  $\phi$  ist die Rückkopplungsschleife geschlossen. Die Übertragungsfunktion dieser Hochpassschaltung ist in Fig. 6 gezeigt. Deutlich erkennbar ist hierbei die zeitdiskrete Hochpassfunktion der Hochpassschaltung.

Eine erfindungsgemäße Schaltung zur Messung von Wegstrecken ist in Fig. 7 gezeigt. Die Schaltung umfasst zwei Eingänge 1, 2, eine – hier nicht dargestellte – Signalquelle sowie eine – ebenfalls nicht dargestellte – Messspule. Die Eingänge 1, 2 werden mittels zweier von der Signalquelle erzeugter Eingangssignale  $e_{pos}$  und  $e_{neg}$  angesteuert. Erfindungsgemäß liegen die Eingangssignale  $e_{pos}$  und  $e_{neg}$  an einem getakteten SC-Netzwerk an und dienen zur Erzeugung eines Messsignals und/oder eines vom Temperatureinfluss abhängigen Ausgangssignals U.

Ein Teil der Schaltung entspricht hierbei der Hochpassschaltung der Fig. 5. Die Schaltung weist zudem einen SC-Verstärker 10 auf, wobei das Eingangssignal  $e_{neg}$  zum selben Zeitpunkt am Ausgang des Operationsverstärkers des SC-Verstärkers 10 anliegt wie der SC-Verstärker 8 das Ausgangssignal am Operationsverstärker liefert. Die Taktung des SC-Verstärkers 10 ist außerdem mit der

Taktung des oberen SC-Verstärkers 8 identisch.

Das Eingangssignal  $e_{\text{neg}}$  wird positiv um eine halbe Taktperiode verzögert zum Ausgang geschoben. Ferner weist das SC-Netzwerk einen SC-Addierer 11 auf, der zur Addition der beiden Eingangssignale, d.h. der Ausgangssignale der SC-Verstärker 8 und 10 dient. Das SC-Netzwerk ist eine positive verzögernde SC-Schaltung, wobei diese eine Gesamtverzögerung von einer Taktperiode aufweist. Falls dieses zu hoch ist, könnten auch die Eingangsverstärker und der Ausgangsverstärker negativ nicht verzögert realisiert werden. Der SC-Integrator muss dann positiv verzögernd realisiert werden. In diesem Fall ist das Ausgangssignal invertiert.

Fig. 8 zeigt die Übertragungsfunktion der Schaltung der Fig. 9. Es ist deutlich erkennbar, dass das SC-Netzwerk ein Tiefpassverhalten aufweist und insofern für die Gleichspannungsmessung sehr gut geeignet ist.

Zur Invertierung des Signals lässt sich  $b_2^*$  wie folgt herleiten:

$$b_2^* = a_2 - \gamma_2 a_2 - \gamma_1 a_1, \quad a_1 = a_2 (1 - \gamma_2) - \gamma_1 a_1. \quad (17)$$

Die Ausgangsspannung des Hochpasses ist die Spannung über den Widerstand  $R_2$  bzw. die Spannung über der Induktivität  $L$ , da beide Elemente parallel geschaltet sind. Im Gegensatz zu dem Widerstand  $R_2$ , bei dem die einfallende Welle immer gleich 0 ist, ist die Spannung der Induktivität definiert durch

$$U = \frac{a_2 + b_2}{2} = \frac{a_2 - b_2^*}{2}. \quad (18)$$

Die Ausgangsspannung ergibt sich demnach als Differenz der einfallenden Welle  $a_2$  und der negativen reflektierten Welle  $b_2$  dividiert durch 2. Ohne die Division erhält man wiederum einen maximalen Pegel von 0dB, weshalb das Signal wieder zu dem Eingangssignal  $e_{\text{neg}}$  addiert werden kann.

Eine Schaltung, die dies realisiert, ist in Fig. 9 gezeigt. Die Schaltung umfasst einen positiven verzögerten SC-Verstärker 12, einen verlustbehafteten SC-Integrator 13 und einen SC-Differenzverstärker 14. Der Faktor  $(1-\gamma_2)$  lässt sich, wie in Fig. 9 zu sehen ist, durch den verlustbehafteten SC-Integrator 13 realisieren. Für den Fall, dass  $\gamma_2$  kleiner als 1 ist, wird die Integratorkapazität der Größe  $(1-\gamma_2)C$  eingesetzt und dazu parallel eine Kapazität der Größe  $\gamma_2C$  geschaltet, die periodisch entladen wird.

Da für die beschriebene Anwendung die Grenzfrequenz des Hochpasses immer deutlich im Frequenzbereich von 0 bis einem Viertel der Abtastfrequenz liegt, ist  $\gamma_2$  immer kleiner als 1. Da der Ausgangswert am SC-Integrator 13 immer positiv sein soll, wird in der Schaltung das Eingangssignal  $e_{pos}$  positiv verzögert mit  $\gamma_1$  multipliziert. Die Ausgangsspannung des Hochpasses wird mittels des SC-Differenzverstärkers 14 erzeugt. Mit der Eingangskapazität für den verlustbehafteten Integrator 13 wird die Differenz  $a_2 - b_2^*$  erzeugt. Zu diesem Zweck wird der SC-Differenzverstärkers 14 mit  $\phi$  initialisiert und das Ausgangssignal U ist somit invertiert. Das zweite Eingangssignal  $e_{neg}$  wird, wie bereits bezüglich der Fig. 7 beschrieben, an den SC-Verstärker 12 angelegt und an den SC-Differenzverstärkers 14 weitergeleitet.

Die Übertragungsfunktion der in Fig. 9 gezeigten Schaltung ist in Fig. 10 abgebildet. Man erkennt, dass bis auf eine Phasendrehung um  $180^\circ$  keine Veränderung gegenüber der Übertragungsfunktion in Fig. 8 zu beobachten ist. Aufgrund der guten Matchingeigenschaften der Schaltungen ist das gemessene Gleichspannungsausgangssignal U sehr gut für eine Temperaturkorrektur geeignet.

Hinsichtlich weiterer Details wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf die allgemeine Beschreibung verwiesen.

Schließlich sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die voranstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele lediglich zur Erörterung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf diese Ausführungsbeispiele einschränken.

## Patentansprüche

1. Schaltung zur Messung von Wegstrecken, mit mindestens zwei Eingängen (1, 2), mindestens einer Messspule (3) und mit mindestens einer Signalquelle, wobei mittels der Signalquelle mindestens zwei Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ) erzeugbar sind, wobei die Eingänge (1, 2) mittels der Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ) ansteuerbar sind und wobei die Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ), vorzugsweise vorverarbeitet, an den Eingängen der Messspule (3) anliegen,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ) an mindestens einem vorzugsweise getakteten SC-Netzwerk anliegen und zur Erzeugung eines Messsignals und/oder eines vom Temperatureinfluss abhängigen Ausgangssignals (U) dienen.
2. Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ) im Wesentlichen unipolar und/oder gegenphasig sind.
3. Schaltung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingangssignale mittels mindestens eines Filters proportional und/oder mittels eines Hochpasses filterbar sind.
4. Schaltung nach einem Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das SC-Netzwerk mindestens einen SC-Verstärker (8, 10) aufweist.
5. Schaltung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster SC-Verstärker als positiver verzögerter SC-Verstärker (8) realisiert ist und/oder zwei Eingänge mit je einem Faktor multipliziert.
6. Schaltung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweiter SC-Verstärker (10) als positiver verzögerter SC-Verstärker realisiert ist und/oder mindestens eines der Eingangssignale, vorzugsweise nicht verstärkt, um eine Halbperiode der Taktfrequenz verzögert.

7. Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das SC-Netzwerk mindestens einen SC-Integrator (9) aufweist.
8. Schaltung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der SC-Integrator (9) als negativer nicht verzögerter SC-Integrator realisiert ist und/oder eine Verstärkung von Eins aufweist und/oder verlustbehaftet ist.
9. Schaltung nach Anspruch 5 und Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des SC-Integrators (9) an einem zweiten Eingang des ersten SC-Verstärkers (8) anliegt.
10. Schaltung nach Anspruch 5 und 6 und ggf. einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines SC-Addierers (11) die Ausgänge des ersten SC-Verstärkers (8) und des zweiten SC-Verstärkers (10) addierbar sind.
11. Schaltung nach Anspruch 8 oder 9 und Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des ersten SC-Verstärkers (8) an den Eingängen des SC-Integrators (9) und/oder des SC-Addierers (11) anliegt.
12. Schaltung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des zweiten SC-Verstärkers (10) an einem zweiten Eingang des SC-Addierers (11) anliegt.
13. Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das SC-Netzwerk mindestens einen SC-Verstärker und/oder mindestens einen SC-Integrator und/oder mindestens einen SC-Addierer aufweist.
14. Schaltung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und/oder der zweite SC-Verstärker und/oder der SC-Addierer negativ nicht verzögert realisiert ist.
15. Schaltung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass der SC-Integrator positiv verzögert realisiert ist.

16. Schaltung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangssignal (U) invertiert ist.

17. Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das SC-Netzwerk mindestens einen SC-Verstärker (12) und/oder mindestens einen SC-Integrator (13) und/oder mindestens einen SC-Differenzverstärker (14) aufweist.

18. Schaltung nach 17, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der vorzugsweise mit einem Faktor ( $\gamma_1, \gamma_2$ ) multiplizierten Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ) im SC-Integrator (13) speicherbar ist.

19. Schaltung nach 18, dadurch gekennzeichnet, dass ein weiterer Faktor ( $\gamma_2$ ) von einer Kapazität des SC-Integrators (13) jeweils vom Ergebnis in jeder Taktperiode wieder lösbar ist.

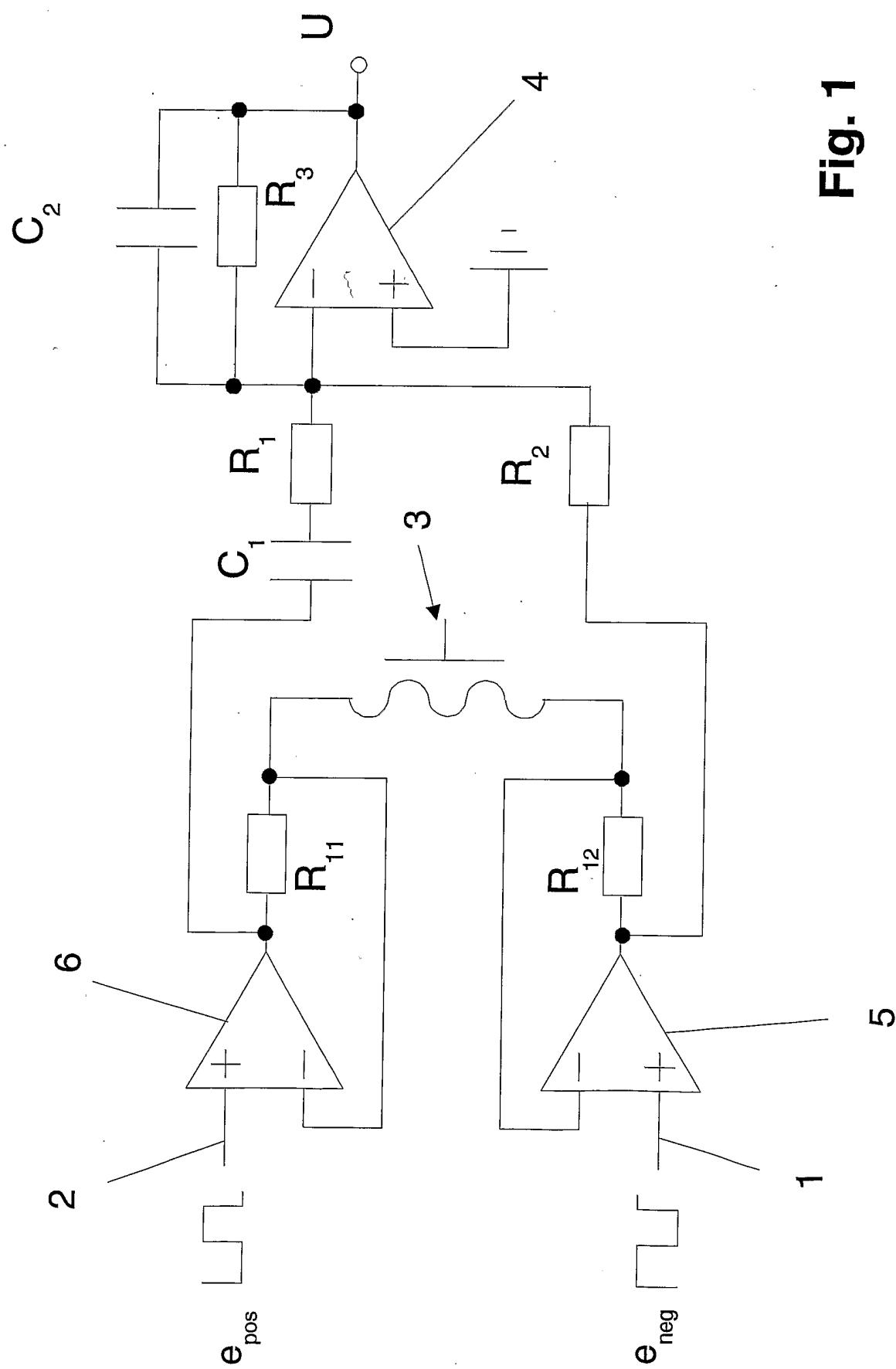
20. Schaltung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass ein SC-Verstärker (12) als positiver verzögerter SC-Verstärker realisiert ist und/oder mindestens eines der Eingangssignale nicht verstärkt und/oder um eine Halbperiode der Taktfrequenz verzögert.

21. Schaltung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des SC-Verstärkers (12) und des SC-Integrators (13) mittels des SC-Differenzverstärkers (14) subtrahierbar ist und/oder um eine Halbperiode der Taktfrequenz verzögerbar ist.

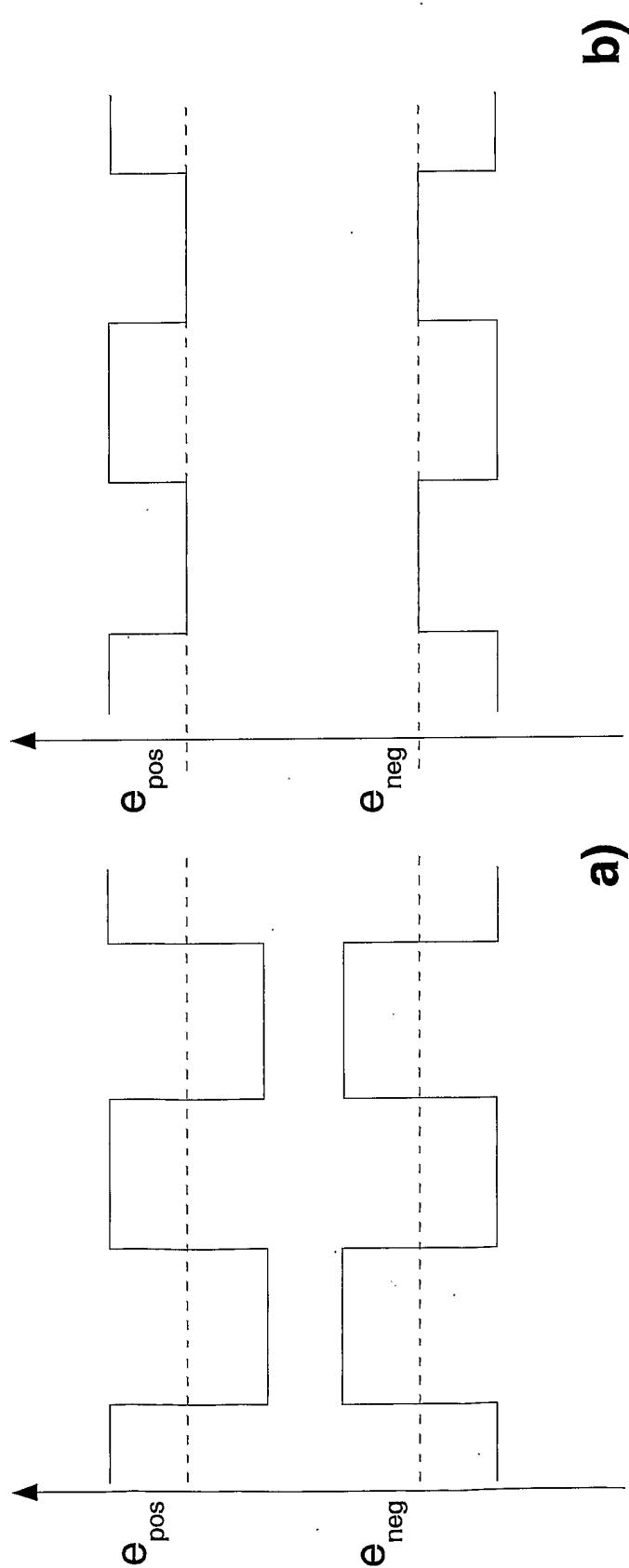
22. Schaltung nach einem der Ansprüche 17 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des SC-Verstärkers (12) am zweiten Eingang des SC-Integrators (13) anliegt.

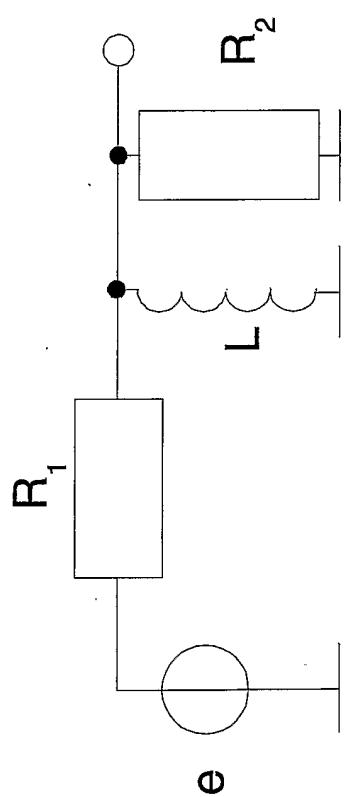
23. Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangssignal (U) eine Verzögerung von einer Taktperiode aufweist.

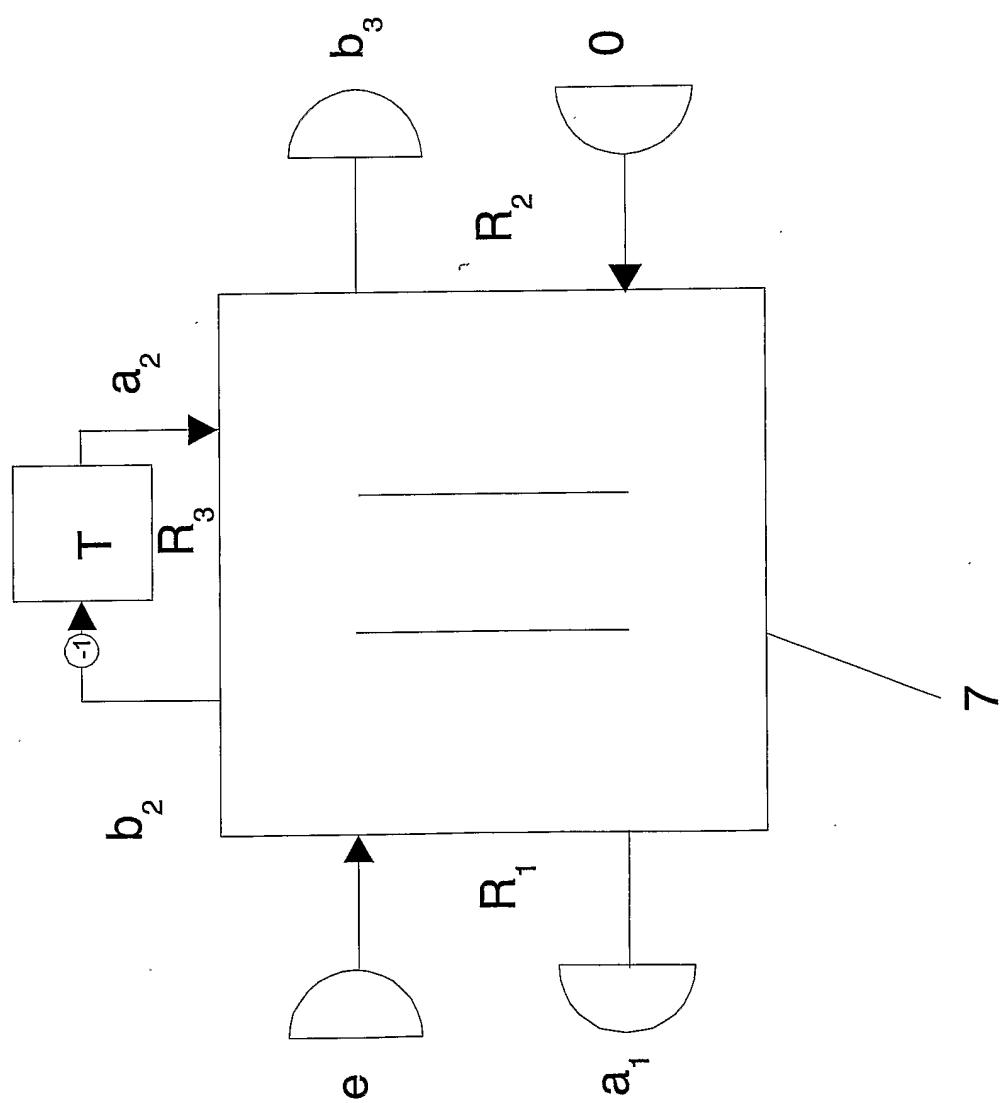
24. Verfahren zur Messung von Wegstrecken, insbesondere zum Betreiben einer Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 23, mit mindestens zwei Eingängen (1, 2), mindestens einer Messspule (3) und mit mindestens einer Signalquelle, wobei mittels der Signalquelle mindestens zwei Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ) erzeugt werden, wobei die Eingänge (1, 2) mittels der Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ) angesteuert sind und wobei die Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ), vorzugsweise vorverarbeitet, an den Eingänge der Messspule 3 anliegen,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Eingangssignale ( $e_{\text{pos}}, e_{\text{neg}}$ ) an mindestens einem vorzugsweise getakteten SC-Netzwerk anliegen und zur Erzeugung eines Messsignals und/oder eines vom Temperatureinfluss abhängigen Ausgangssignals (U) dienen.



2/10

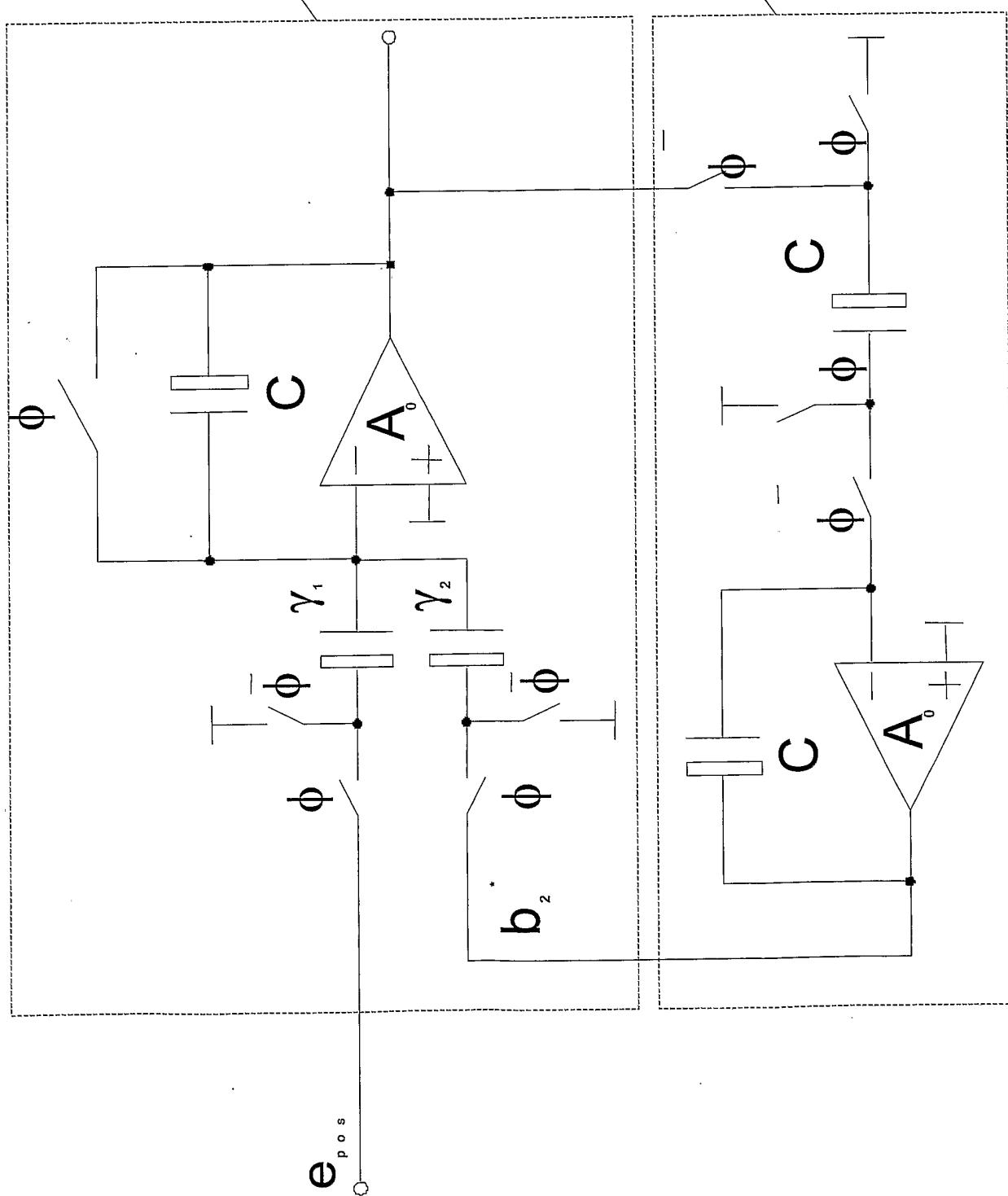
**Fig. 2**

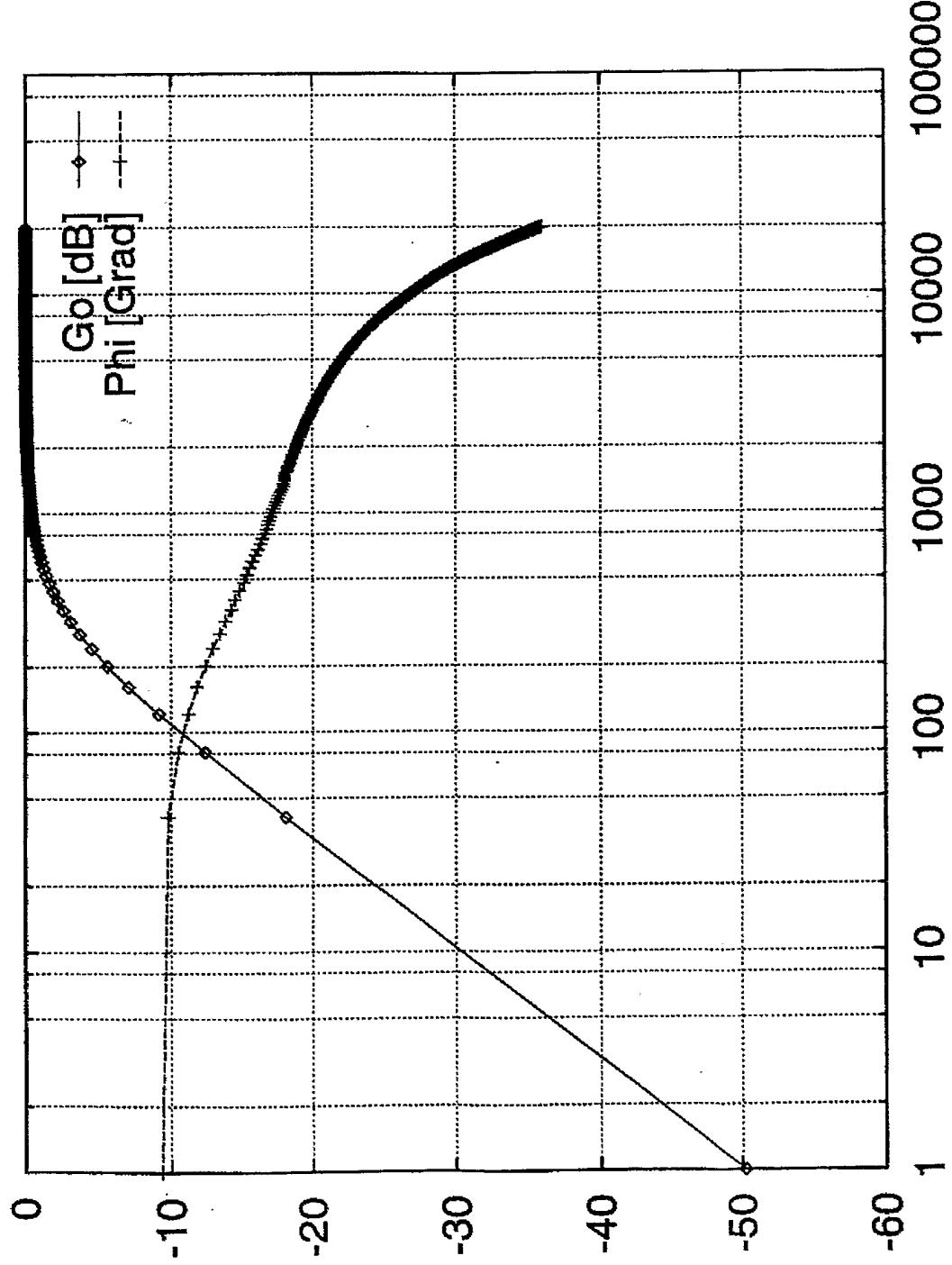
**Fig. 3**

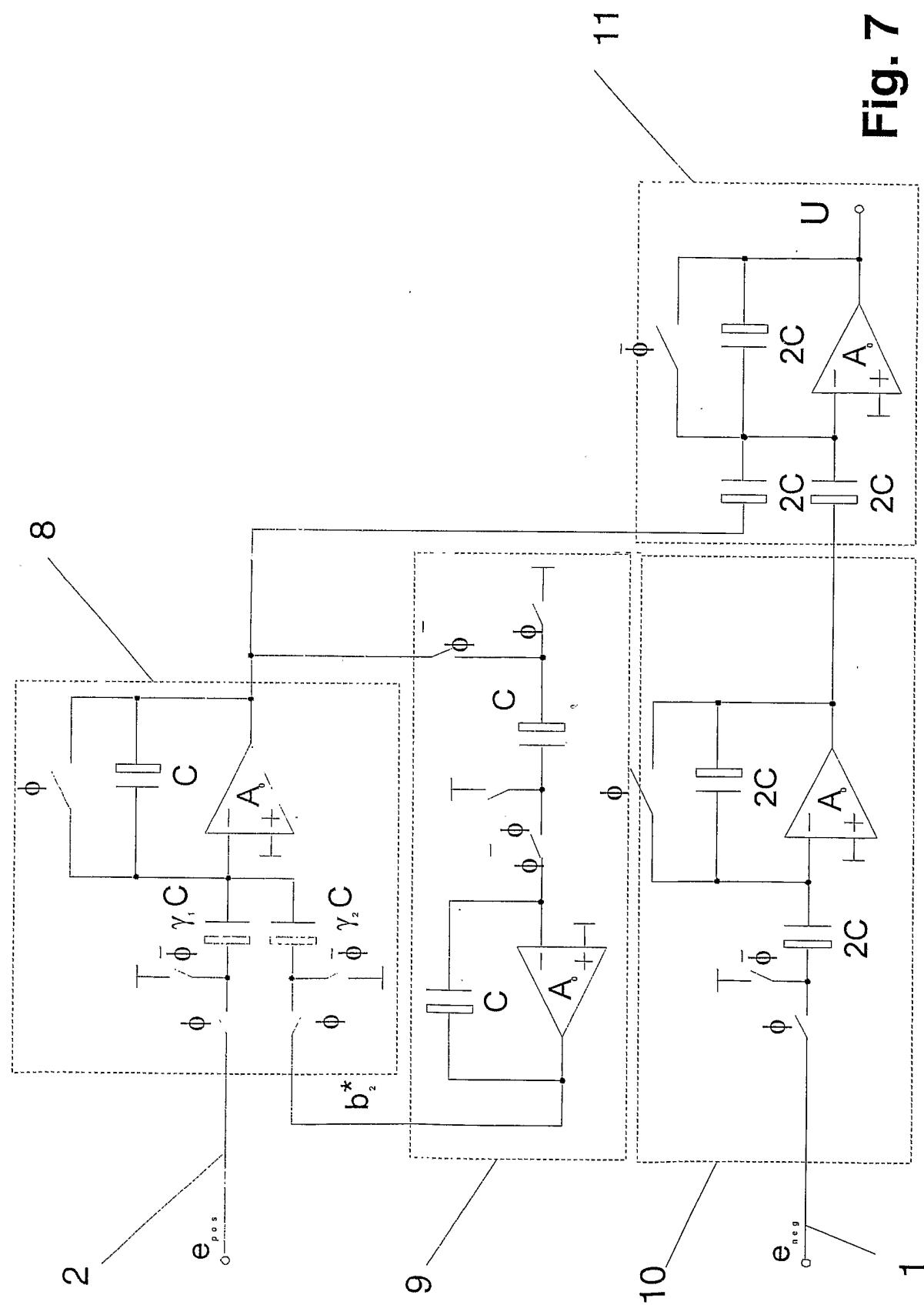
**Fig. 4**

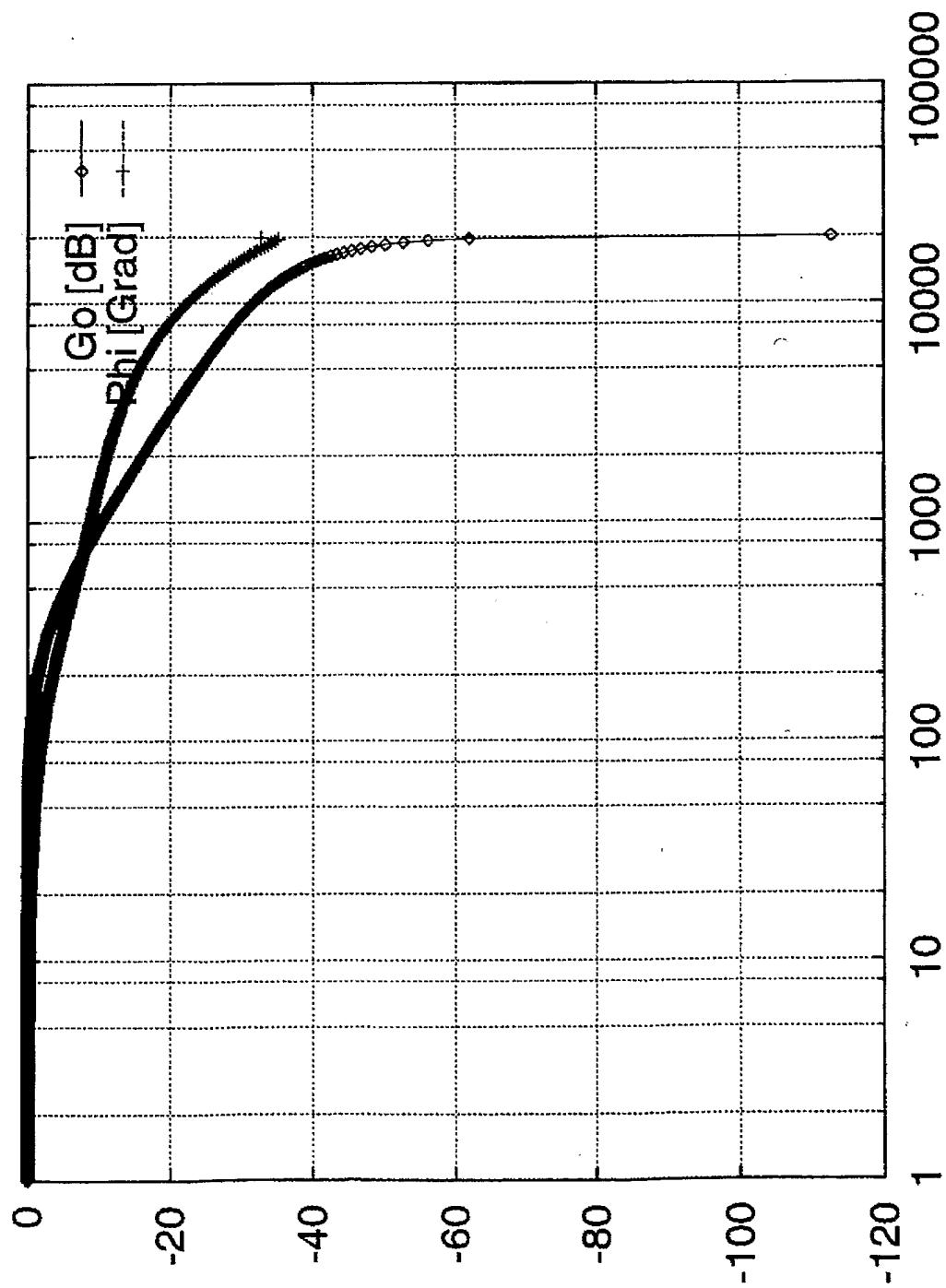
8

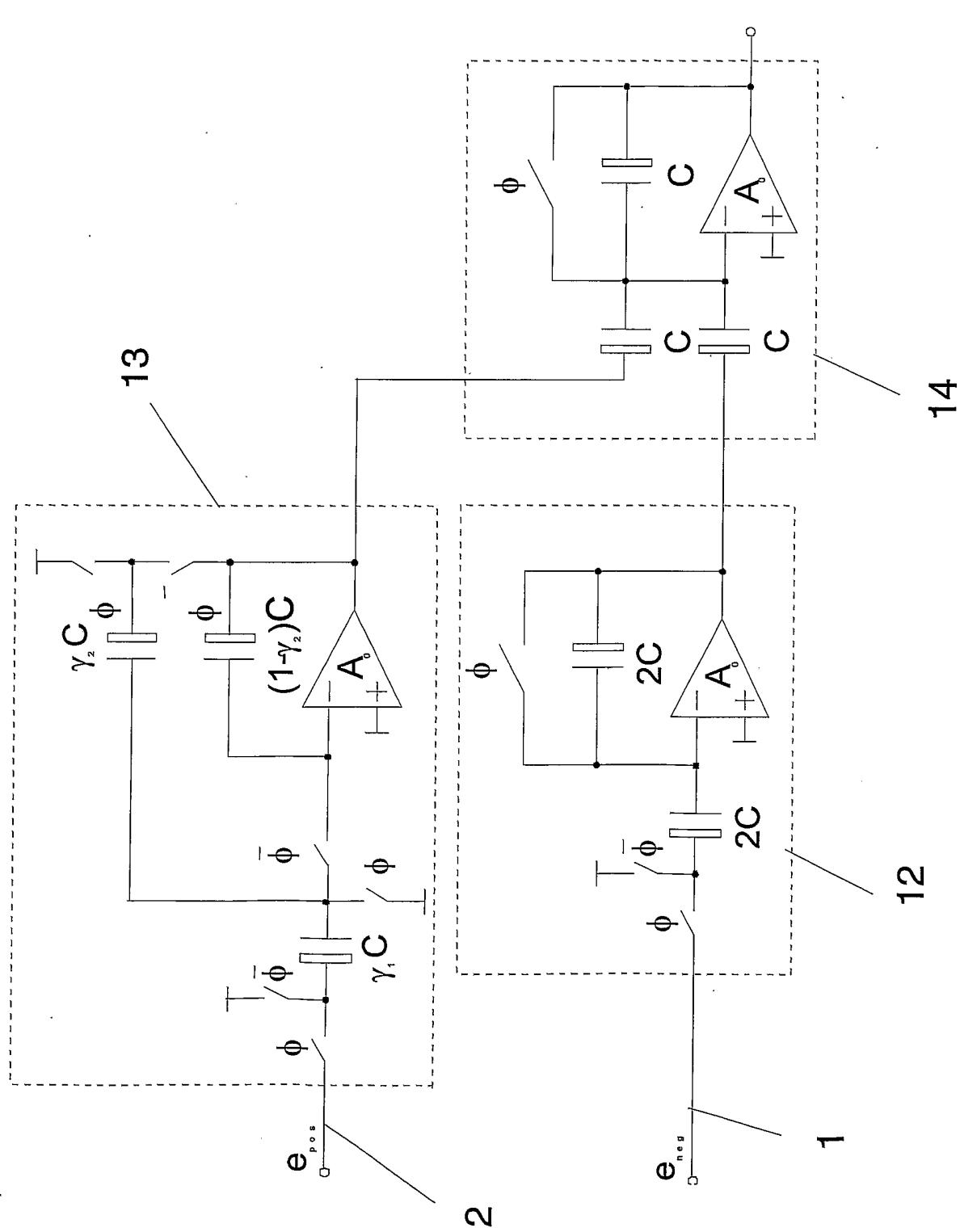
9

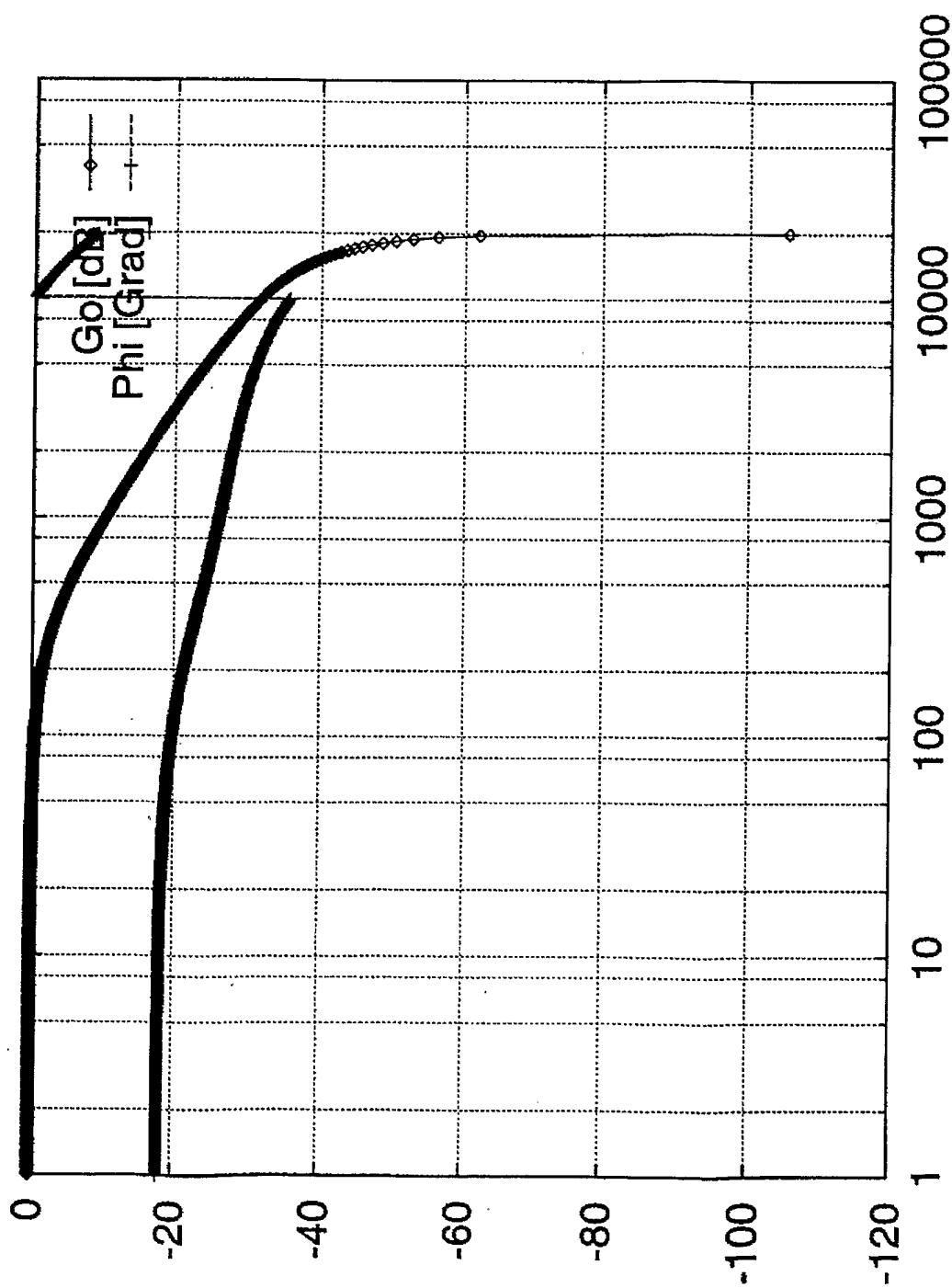
**Fig. 5**

**Fig. 6**



**Fig. 8**

**Fig. 9**

**Fig. 10**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat Application No  
PCT/DE 02/03507

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G01D5/20 G01D3/028

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, EPO-Internal, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 589 778 A (ONO YUKIO ET AL) 31 December 1996 (1996-12-31) column 6, line 9 -column 7, line 39 -----	1,2,24

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

16 January 2003

28/01/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lut, K

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

Internati Application No

PCT/DE 02/03507

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5589778	A 31-12-1996	JP	3302826 B2 JP 7311054 A	15-07-2002 28-11-1995

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internati Aktenzeichen  
PCT/DE 02/03507

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G01D5/20 G01D3/028

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
IPK 7 G01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

WPI Data, EPO-Internal, PAJ

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 589 778 A (ONO YUKIO ET AL) 31. Dezember 1996 (1996-12-31) Spalte 6, Zeile 9 -Spalte 7, Zeile 39 -----	1,2,24

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchebericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche  16. Januar 2003	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts  28/01/2003
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Lut, K

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen zur selben Patentfamilie gehören

Internati Aktenzeichen

PCT/DE 02/03507

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5589778	A 31-12-1996	JP 3302826 B2 JP 7311054 A	15-07-2002 28-11-1995