

(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. Juni 2011 (03.06.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/063536 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H03F 1/30 (2006.01) H03K 7/06 (2006.01)
H03F 3/70 (2006.01) G01L 1/16 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2010/000289

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. November 2010 (18.11.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
1814/09 25. November 2009 (25.11.2009) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): KISTLER HOLDING AG [CH/CH]; Eulachstrasse 22, CH-8408 Winterthur (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): AMSTUTZ, Leo [CH/CH]; Wartgutstrasse 38, CH-8413 Neftenbach (CH).
NEFF, Kurt [CH/CH]; Rundstrasse 37, CH-8472

Seuzach (CH). OTTER, Daniel [CH/CH]; Zelglistrasse 23B, CH-8311 Brütten (CH).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DIGITAL CHARGE AMPLIFIER AND METHOD FOR CONVERTING CHARGE SIGNALS INTO DIGITAL SIGNALS

(54) Bezeichnung : DIGITALER LADUNGSVERSTÄRKER UND VERFAHREN ZUM WANDELN VON LADUNGSSIGNALEN IN DIGITALE SIGNALE

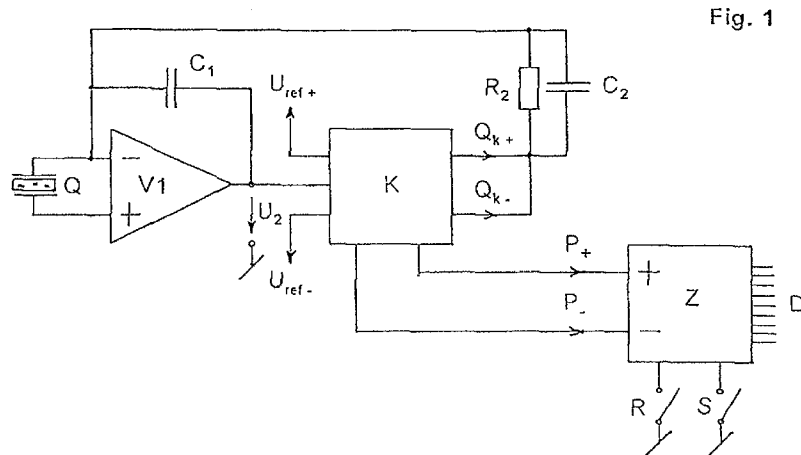


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a charge amplifier circuit for converting positive and negative charge signals Q that are output by a piezoelectric measuring element into a digital signal D that is proportional to the present measured value at the measuring element. The circuit comprises a charge amplifier V1 having a charge input and a voltage output for converting detected charge Q into voltage U2, wherein a compensation circuit K comprising two outputs is connected downstream of the voltage output of the charge amplifier V1 and wherein the first output is connected to the charge input of the charge amplifier V1 and the second output is connected to a counter Z having two inputs Z+ and Z-. On the one hand, the compensation circuit K can produce a compensation charge Qk+ or Qk- that is proportional to the voltage U2 and that can be sent to the charge input of the charge amplifier V1 by means of the first output in order to compensate the input signal Q, and on the other hand, the compensation circuit can produce a number of pulses P+, P1 that is proportional to the magnitude of each compensation charge Qk+ or Qk- produced. Said pulses can be sent to an input Z-, Z+ of the counter Z opposite the sign of the particular compensation charge Qk+ or Qk- by means of the second output, wherein the desired digital signal D, which is proportional to the sum of the charge quanta input beforehand, is available at the output of the counter Z. The invention further relates to a method that is performed on such a circuit.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/063536 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft eine Ladungsverstärkerschaltung zum Wandeln von positiven und negativen von einem piezoelektrischen Messelement abgegebenen Ladungssignalen Q in ein digitales Signal D , welches dem jeweils aktuell vorherrschenden Messwert am Messelement proportional ist. Die Schaltung umfasst einen Ladungsverstärker $V1$ mit einem Ladungseingang und einem Spannungsausgang zum Wandeln der erfassten Ladung Q in eine Spannung $U2$, wobei dem Spannungsausgang des Ladungsverstärkers $V1$ eine Kompensationsschaltung K umfassend zwei Ausgänge nachgeschaltet ist und wobei der erste Ausgang mit dem Ladungseingang des Ladungsverstärkers $V1$ und der zweite Ausgang mit einem Zähler Z mit zwei Eingängen $Z+$, $Z-$ verbunden ist. Die Kompensationsschaltung K kann einerseits eine der Spannung $U2$ proportionale Kompensationsladung Q_{k+} resp. Q_{k-} erzeugen, welche zum Kompensieren des Eingangssignals Q über den ersten Ausgang zum Ladungseingang des Ladungsverstärkers $V1$ sendbar ist, und andererseits jeweils eine dem Betrag jeder erzeugten Kompensationsladung Q_{k+} resp. Q_{k-} proportionale Anzahl Impulse $P+$, $P-$ erzeugen. Diese Impulse sind über den zweiten Ausgang auf eine dem Vorzeichen der jeweiligen Kompensationsladung Q_{k+} resp. Q_{k-} entgegen gesetzten Eingang $Z-$, $Z+$ des Zählers Z sendbar, wobei am Ausgang des Zählers Z das der Summe der vorgängig eingegangenen Ladungsquanten proportionale, gewünschte digitale Signal D zur Verfügung steht. Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren, welches auf einer solchen Schaltung durchgeführt wird.

DIGITALER LADUNGSVERSTÄRKER UND VERFAHREN ZUM WANDELN VON LADUNGSSIGNALEN IN DIGITALE SIGNALE**Technisches Gebiet**

Die Erfindung betrifft eine Ladungsverstärkerschaltung zum
5 Wandeln von positiven und negativen von einem piezoelektri-
schen Messelement abgegebenen Ladungssignalen Q in ein digita-
les Signal D , welches dem jeweils aktuell vorherrschenden
Messwert am Messelement proportional ist, umfassend einen La-
dungsverstärker V_1 mit einem Ladungseingang und einem Span-
10 nungsausgang zum Wandeln der erfassten Ladung Q in eine Span-
nung U_2 . Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum
Wandeln von Ladungssignalen in digitale Signale D .

Stand der Technik

Ladungsverstärker werden insbesondere im Zusammenhang mit pie-
15 zoelektrischen Sensoren benötigt, da diese ihre Messwerte in
Form von Ladungen angeben. Solche Sensoren erfassen beispiels-
weise Kräfte, Drucke, Beschleunigungen, Dehnungen, Momente und
artverwandte physikalische Phänomene. Sobald solche Sensoren
an beweglichen Teilen montiert sind, beispielsweise an Rädern
20 von Fahrzeugen, müssen die Messsignale digitalisiert werden,
um mittels berührungsloser Übertragung an einen Stator über-
tragen werden zu können. Hierzu werden die ermittelten Mess-
werte in der Regel in einem Ladungsverstärker verstärkt und
mittels Analog-digital Wandler (A/D Wandler) umgewandelt, bis
25 sie schliesslich übertragen werden.

Infolge unvermeidlicher Störströme am Verstärkereingang, wel-
che dieselbe Wirkung wie die von Änderungen der Ladung Q her-
rührenden Ströme haben, wandert die Verstärkerausgangsspannung

davon; sie driftet. Um diesen Störeffekt zu reduzieren, wird häufig ein Widerstand parallel zum Ladungsverstärker geschaltet, welcher die Zunahme der Ausgangsspannung infolge Drifts auf ein akzeptables Mass beschränkt. Der Widerstand wirkt aber
5 in gleicher Weise auch auf das Messsignal. Die untere Grenzfrequenz des Ladungsverstärkers steigt damit auf oft nicht mehr tolerierbare Werte an. Wenn die Messung nur einen kurzen einmaligen Vorgang erfasst, kann man diesem Störeffekt durch Betätigen eines Reset-Schalters kurz vor dem Messvorgang ent-
10 gegen wirken. Bei länger dauernden Messungen führt die Wahl des Wertes für den Widerstand häufig zu einem unbefriedigenden Kompromiss zwischen resultierender unterer Grenzfrequenz und der verbleibenden Drift des Ladungsverstärkers. Zudem ist bei einer berührungslosen Übertragung des Messwertes, beispiels-
15 weise bei einem bewegten Messobjekt, ein zusätzlicher Aufwand nötig, um den Reset-Schalter von der feststehenden Elektronik aus zu betätigen.

Darstellung der Erfindung

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Schaltung für
20 einen Ladungsverstärker zum Wandeln von piezoelektrischen Messsignalen anzugeben, welche die erwähnten Probleme reduziert und zudem ohne Verwendung eines Analog/Digital-Wandlers ein Signal liefert, welches auf einfache Art berührungslos übertragen werden kann.

25 Die Erfindung besteht darin, dass das Ausgangssignal des Verstärkers laufend auf einen Wert in der Nähe von Null gesetzt wird, so dass sich ein Reset-Schalter erübrigt. Zudem stehen als Ausgangssignal Impulse zur Verfügung, welche leicht störungsarm zu übertragen sind. Die Impulsfrequenz ist proportio-
30 nal zur Ladungsänderungsgeschwindigkeit. Die in einem Zähler

aufsummierten Impulse stellen einen der Ladungsänderung seit der letzten Zählerrückstellung proportionalen Wert dar, welcher proportional ist zu dem jeweils aktuell vorherrschenden Messwert am Messelement.

5 Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im Folgenden wird die Erfindung unter Bezug der Zeichnungen näher erklärt. Es zeigen

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Schaltung;
- 10 Fig. 2 eine Schaltung zur Verarbeitung eines Ladungssignals nach dem Stand der Technik;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Schaltung in einem Realisierungsbeispiel mit gepulstem Kompensationsstrom;
- 15 Fig. 4 eine bevorzugte Ausführungsform unter Einsatz von Dioden;
- Fig. 5 eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schaltung unter Einsatz von Transistoren;
- 20 Fig. 6 eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schaltung mit konstantem Kompensationsstrom.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Fig. 1 zeigt in vereinfachter Darstellung die Funktionsweise einer erfindungsgemäßen Ladungsverstärkerschaltung. Die von einem piezoelektrischen Messelement generierte, zu erfassende

Ladung Q wird an den Eingang eines mit einem Kondensator C_1 gegengekoppelten Verstärkers V_1 gelegt. Sobald die Verstärker-
ausgangsspannung U_2 den Referenzwert U_{ref+} bzw. U_{ref-} über-
bzw. unterschreitet, liefert die Kompensationsschaltung K so
5 lange definierte Kompensationsladungen Q_{k+} bzw. Q_{k-} über das
Netzwerk R_2/C_2 an den Verstärkereingang, bis dessen Ausgangs-
spannung U_2 wieder innerhalb der Schranken U_{ref+} bzw. U_{ref-}
liegt. Mit jeder positiven Ladungseinheit Q_{k+} wird ein Impuls
 P_- , mit jeder negativen Ladungseinheit Q_{k-} ein Impuls P_+ abge-
10 geben.

Diese Impulse sind inkrementale Signale für die Ladungsände-
rungen am Eingang von V_1 , bzw. für den Eingangsstrom.

Summierung dieser Impulse in einem Auf-/Ab-Zähler Z ergibt ein
Mass für die insgesamt vorgängig eingegangenen Ladung und lie-
15 fert schliesslich das gewünschte digitale Signal D , das dem
jeweils aktuell vorherrschenden Messwert am Messelement pro-
portional ist. Vorzugsweise ist dieses Signal D ein Spannungss-
signal.

Diese Schaltung ist besonders vorteilhaft bei digitaler Mess-
wertverarbeitung und bei Messungen an bewegten Objekten wegen
20 der einfachen Übertragungsmöglichkeit der Impulse.

Eine übliche Schaltung zur Verarbeitung eines Ladungssignals
nach dem Stand der Technik, wie sie beispielsweise in der pie-
zoelektrischen Messtechnik Verwendung findet, ist in Fig. 2
25 gezeigt. Ein piezoelektrisches Messelement wird als Ladungs-
quelle Q an den Eingang eines integrierenden Verstärkers V_1 ,
in dieser Anwendung meist als Ladungsverstärker bezeichnet,
angeschlossen. Parallel zu diesem Ladungsverstärker V_1 sind
ein Kondensator C_1 sowie ein Reset-Schalter SR angelegt. Durch
30 Schliessen des Reset-Schalters SR wird der Kondensator C_1 ent-

laden. Nach Öffnen dieses Schalters gelangt eine nach diesem Zeitpunkt angelegte Ladung Q auf den Kondensator $C1$ und bewirkt am Verstärkerausgang eine Spannung, welche $Q/C1$ beträgt. Wird ein digitales Signal D benötigt, so wird die Verstärker-
5 ausgangsspannung einem Analog/Digital-Wandler A/D zugeführt, an dessen Ausgang dann ein paralleles oder serielles Signal D zur Verfügung steht.

Ein Widerstand $R1$, der parallel zum Kondensator $C1$ geschaltet ist, soll die Zunahme der Ausgangsspannung infolge Drifts auf
10 ein akzeptables Mass beschränken.

In Fig. 3 ist vereinfacht ein Realisierungsbeispiel einer erfindungsgemässen Schaltung dargestellt. Die Bauteile vor dem Verstärker $V1$ stellen die bei jeder piezoelektrischen Messvorrichtung vorhandenen Teile dar. Q ist die Ladungsquelle, vom
15 piezoelektrischen Messelement erzeugt, dQ/dt stellt den infolge Änderungen von Q fliessenden Strom dar. Cq soll die gesamte Kapazität, Rq den gesamten Leckwiderstand der Eingangsschaltung, umfassend Ladungsquelle, Kabel und Verstärkereingang, beinhalten. Iof ist der Offsetstrom, Uof der Spannungsoffset
20 des Verstärkers. $I1$ ist der gesamte von der Quelle in den Eingang des Verstärkers fliessende Strom, umfassend die von dQ/dt , Iof und Uof/Rq herrührenden Anteile. Bei einer Ausgangslage von $U2 = 0$ bewirkt ein Eingangstrom $I1$ vorerst eine sehr kleine Eingangsspannung $U1$ am Eingang des Verstärkers $V1$
25 und eine Ausgangsspannung $U2$, welche den Wert Integral des Stromes $I1$ über die Zeit dividiert durch die Kapazität $C1$ aufweist. Wenn $U2$ den Wert $Uref+$ überschreitet (bei negativer Ladungszunahme am Eingang), spricht der Komparatorverstärker $V2$ an und liefert ein positives Ausgangssignal. Vom Impulsgenerator G gelangen in der Breite exakt definierte Impulse an die
30 beiden AND-Glieder &1 und &2. Solange die Ausgangsspannung von $V2$ positiv ist, gelangen diese Impulse an den Ausgang des AND-

Gliedes &1. Sie betätigen den Schalter S1, welcher die Stromquelle I_{k+} jeweils während der Impulsdauer öffnet. Dadurch gelangt mit jedem Impuls eine wohldefinierte Kompensationsladung Q_{k+} , welche gleich dem Wert der Kompensationsstromquelle I_{k+} multipliziert mit der Impulsdauer ist, auf das Netzwerk R2, C2, C3. Diese Ladung Q_k gelangt an den Verstärkereingang und kompensiert mindestens einen Teil der von der Quelle an V1 abgegebenen Ladung. Wenn nach einer genügenden Anzahl von Kompensationsladungen die Eingangsladung Q annähernd vollständig kompensiert ist, sinkt U_2 wieder unter den Wert U_{ref+} , wodurch die folgenden Impulse von G das AND-Glied &1 nicht mehr passieren können. Die vom AND-Glied abgegebenen Impulse gelangen auch als Impulse P an den Ausgang. Die Anzahl dieser Impulse ist gleich der auf den Eingang geflossenen Ladung dividiert durch die Kompensationsladung Q_k und somit ein Mass für das Eingangssignal. Bei umgekehrtem Vorzeichen von Q (positive Ladungszunahme) treten in analoger Weise V3, das AND-Glied &2, S2 und I_{k-} in Funktion und bewirken Ausgangsimpulse $P+$.

Diese Impulse sind inkrementale Signale, welche proportional zu den Ladungsänderungen am Verstärkereingang sind. Die Häufigkeit bzw. Frequenz der Impulse $P+$ ist ein Mass für die positive Ladungszunahme, ebenso ist die Frequenz der Impulse $P-$ ein Mass für die Ladungsabnahme.

Meistens interessiert aber vor allem das Integral der Ladungsänderung ab einem bestimmten Zeitpunkt. In diesem Fall werden die Impulse in einem Auf-Ab-Zähler aufsummiert. Die Impulse $P+$ und $P-$ gelangen über eine 2-kanalige Übertragungsstrecke \bar{U} auf die beiden Eingänge eines Zählers Z. Dieser Zähler wird vorgängig mittels des Reset-Schalters R auf Null gesetzt. Zu Beginn des Messvorganges wird der Zähler mittels des Schalters S gestartet. Soll der Messwert in einem bestimmten Zeitpunkt festgehalten werden, kann der Zähler in diesem Zeitpunkt ge-

stoppt werden und das Signal bleibt unabhängig von Drifteffekten im Verstärker V1 im Zähler erhalten. Der im Zähler Z enthaltene, der Ladung Q proportionale Wert kann auf bekannte Art als digitales Signal D parallel oder seriell ausgelesen und
5 weiterverarbeitet werden.

Die Störeinflüsse am Verstärkereingang sind physikalisch bedingt und nicht völlig eliminierbar, da I_{of} und U_{of} zwar klein, aber nicht zu null gemacht werden können und da der Isolationswiderstand R_q immer einen endlichen Wert hat. Somit
10 können auch mit dieser verbesserten Schaltung zwar nie echt statische Messungen der Ladung Q ausgeführt werden und der Widerstand R_2 muss einen endlichen Wert aufweisen, um die Störströme abführen zu können. Jedoch ist ein leicht störungsfrei zu übertragendes inkrementales Signal vorhanden und eine Re-
15 set-Schaltung am Ladungsverstärker ist selbst nicht nötig. Vielmehr kann der Zähler jederzeit auf einfache und rasche Art auf null gesetzt werden.

Bei sprungartigen Signalen (grosser Ladungsanstieg in kurzer Zeit) wird der Zähler in vorteilhafter Weise vorgängig auf
20 null gesetzt und kurz vor dem zu erwartenden Signalsprung gestartet.

Bei periodischen Signalen kann der Zähler auch ereignisgesteuert periodisch auf null gesetzt werden, beispielsweise zu Beginn jedes periodischen Vorganges.

25 Fig. 6 zeigt eine etwas anders aufgebaute Schaltung, welche im wesentlichen dieselbe Funktion wie die in Fig. 3 beschriebene Schaltung hat.

Sie unterscheidet sich von dieser dadurch, dass bei positiver Ausgangsspannung des Verstärkers V2 der Schalter S1 öffnet und

so lange den Kompensationsstrom I_{k+} über das Netzwerk R_2/C_2 an den Verstärkereingang liefert, bis U_2 wieder unter den Wert U_{ref} sinkt. Die Ausgangsspannung von V_2 liegt gleichzeitig am AND-Glied &4, welches während der Zeit, in welcher der Kompensationsstrom I_k fließt, die Impulse des Impulsgenerators G als Ausgangsimpulse $P-$ an den Ausgang abgibt. Die Anzahl dieser Impulse ist somit ebenfalls proportional zur Kompensationsladung und führt schliesslich zur Lieferung des digitalen Signals D .

10 Für positive Ladungsänderungen am Eingang gilt sinngemäss dasselbe für V_3 , S_2 und &3. Die Schalter S_1 und S_2 schalten nur die Kompensationsströme.

Aus diesen Ausführungen sind insbesondere folgende Vorteile der Erfindung gegenüber herkömmlichen Schaltungsarten ersichtlich:
15 lich:

- Das Messsignal ist direkt inkremental, bei Verwendung eines Zählers digital, ohne Zwischenschaltung eines Analog-Digital-Wandlers.
- Eine berührungslose Übertragung des Signals ist einfach und
20 störungsarm möglich.
- Die Nullstellung der Messeinrichtung kann an einem externen Zähler vorgenommen werden; am eigentlichen Ladungsverstärker sind keinerlei Schaltungen vorzunehmen.
- Wird der Zähler gestoppt, bleibt das Messsignal beliebig
25 lange erhalten.
- Dadurch, dass die Spannung am Verstärkerausgang und damit auch am Verstärkereingang meistens nur klein ist, wird der

Einfluss des nur endlich grossen Isolationswiderstandes am Eingang verkleinert.

Funktion der Bauteile und Dimensionierungshinweise (zu Fig. 3 und Fig. 6)

5 Die Frequenz des Impulsgenerators G ist bei der Schaltung gemäss Fig. 3 so hoch zu wählen, dass der maximale zu erwartende Ladungssprung am Eingang innert jener Zeit kompensiert wird, die der noch zulässigen Verzögerung des Digitalsignals entspricht; die höchstmögliche Frequenz wird durch die gewählte
10 Impulsbreite bestimmt. Bei der Schaltung gemäss Fig. 6 muss die Frequenz des Impulsgenerators G hoch genug sein, um sowohl eine genügende Auflösung des Messsignals zu erreichen, als auch die kurzen Kompensationsströme, welche durch Drifteffekte und weitere Störungen bedingt sind, genügend auflösen zu können,
15 nen, dass dadurch keine zusätzlichen Nullpunktabwanderungen des die P+- und P-- Impulse summierenden Zählers entstehen.

Die Referenzspannung U_{ref} muss aus Stabilitätsgründen mindestens den Wert Q_k/C_1 aufweisen, wobei Q_k die Kompensationsladungseinheit der Schaltung gemäss Fig. 3 bedeutet resp. bei
20 der Schaltung gemäss Fig. 6 sinngemäss die kleinste bei einem Kompensationsvorgang an den Eingang gelieferte Ladung.

Von besonderem Interesse ist der Spezialfall, dass R_2 niederohmig gewählt wird, im Extremfall sogar $R_2 = 0$ Ohm. Dann gelangen die Kompensationsladungen Q_k direkt an den Verstärkereingang. Die Kondensatoren C_2 und C_3 haben keine Wirkung mehr
25 und können weggelassen werden. Die Spannung U_3 nimmt ungefähr den Wert U_1 an und ist somit vernachlässigbar klein.

In Fig. 4 ist ein Teil des Schaltschemas von Fig. 3 mit 4 zusätzlichen Bauelementen gezeichnet. Die Schalter S_1 und S_2

werden vorzugsweise als Halbleiterschalter ausgeführt. Wenn die Leckströme dieser Schalter unzulässig gross sind, können sie durch in Serie mit den Schaltern eingefügte hochohmige Dioden D1 und D2 vermindert werden. Es kann vorteilhaft sein, die Dioden mittels der Widerstände R3 und R4 vorzuspannen, insbesondere, wenn R2 hochohmig ist und U3 dabei erheblich von 0V abweichende Werte erreichen kann. Diese Widerstände müssen dann etwas niederohmiger sein als die Dioden, aber doch so hochohmig, dass der durch sie fliessende Anteil von I_k vernachlässigbar klein ist. Im gezeigten Beispiel funktioniert diese Schaltung, solange U3 einen Wert von $|11\text{ V}|$ nicht überschreitet.

Ausführungsbeispiel

Fig. 5 zeigt eines der vielen möglichen Ausführungsbeispiele. In diesem Beispiel, welches eine Realisierung der Prinzipschaltung gemäss Fig. 3 darstellt, sind die Schalter S1 und S2 (von Fig. 3) in die Stromquellen integriert. Die beiden AND-Glieder &1 und &2 geben einerseits die Ausgangsimpulse P+ bzw. P- ab, andererseits steuern sie die Stromquellen über die Transistoren T1 bis T4. Die Stromquellen werden in bekannter Weise durch je einen Verstärker und einen Transistor gebildet.

Die sechs Transistoren sind hier ohne Differenzierung als FET-Transistoren dargestellt, ohne Rücksicht darauf, ob es Junction-FET oder MOS-FET sind.

Wenn die beiden AND-Glieder &1 und &2 Ausgangssignal 0 haben, sind die Transistoren T1 bis T4 leitend, T5 und T6 gesperrt; es werden keine Kompensationsladungen erzeugt.

Die Erzeugung einer Kompensationsladung Q_{k+} sei wie folgt beschrieben: Wenn an beiden Eingängen von &1 positives Signal

anliegt, ist die Ausgangsspannung von &1 verschieden von 0. &1 sei so ausgeführt, dass dessen Ausgangsspannung dann negativ ist. Dadurch wird der selbstleitende Transistor T1 gesperrt und infolgedessen der selbstsperrende Transistor T3 ebenfalls.

5 Nun liegt am +Eingang des Verstärkers V4 eine vom Spannungsteiler R9 und R11 gebildete Spannung an. Dadurch liegt am Widerstand R13 dieselbe Spannung wie am Widerstand R9, und der Strom durch diesen Widerstand ist damit der gewünschte Kompensationsstrom. Dieser fließt durch den Transistor T5; nach Ablauf der Öffnungszeit von &1 ist somit die Kompensationsladung

10 Q_{k+} in das Netzwerk R2, C2, C3 geflossen.

Wenn die beiden Eingangsspannungen an &2 positiv sind, ist die Ausgangsspannung von &2 von 0 verschieden. &2 sei so ausgeführt, dass dessen Ausgangsspannung dann positiv ist. An

15 T2, T4, V5 und T6 geschieht dann auf gleiche Art, aber mit umgekehrten Vorzeichen, die Erzeugung der Kompensationsladung Q_{k-} .

Der wandelbare Messbereich eines herkömmlichen Verstärkers ist umgekehrt proportional zur Kapazität des jeweils verwendeten

20 Kondensators C1. Mit diesem erfindungsgemässen Ladungsverstärker ist nun aber die Wandlung eines grossen Messbereichs möglich, wobei dabei nur EIN Kondensator C1 notwendig ist. Das Umschalten zu verschiedenen Kondensatoren C1.1, C1.2, C1.3 ... verschiedener Kapazitäten, um verschiedene Messbereiche erfassen zu können, erübrigt sich hier, weil stets nur inkrementale

25 Ladungen erfasst werden. Daher wird an diesen Kondensator C1 keine besonderen Ansprüche gestellt, insbesondere nicht an deren Isolation. Ein Ladungsverlust über C1 ist vernachlässigbar, weil die Spannung über C1 nur kurz anhält und keine Amplituden anstehen können. Daher kann ein Kondensator C1 mit einer

30 niedrigen Kapazität gewählt werden. Da Kondensatoren mit

grossen Kapazitäten sehr voluminös sind, wird zudem Platz gespart.

Zudem kann auf R1 gänzlich verzichtet werden.

Die Verwendung anderer als die hier in den Beispielen verwendeten Komponenten, welche zum selben Ziel führen, werden als
5 Alternativlösungen im Sinne des Erfinders betrachtet.

Bezugszeichenliste

- Q Ladungsquelle (z.B. ein piezoelektrischer Messwertaufnehmer), bzw. die von ihm abgegebene Ladung Q .
- 5 dQ/dt der von der Ladungsquelle an den Verstärker V1 abgegebene Strom.
- Cq Elektr. Kapazität von Ladungsquelle, Leitung und Verstärkereingang.
- Rq Isolationswiderstand von Ladungsquelle, Leitung und Verstärkereingang,
- 10 Rz Zuleitungswiderstand, unter Umständen künstlich vergrößert durch Serieschaltung eines Festwiderstandes zur Vermeidung der Übersteuerung des Verstärkers V1 bei steilen Ladungsanstieg, wenn der vom Verstärkerausgang an C1 lieferbare Strom sonst nicht ausreichen würde, oder wenn man
- 15 sonst C1 unerwünscht gross machen müsste.
- Iof Offsetstrom des Verstärkers V1.
- Uoff Offsetspannung des Verstärkers V1.
- L1 gesamter Eingangsstrom, $dQ/dt + I_{of} + I_{of} / R_q$.
- U1 Eingangsspannung am Verstärker V1.
- 20 V1 hochohmiger Verstärker.
- C1 Gegenkopplungskondensator des Verstärkers V1. Dieser kann im allg. wesentlich kleiner als beim konventionellen Ladungsverstärker gewählt werden. Er muss lediglich so gross

sein, dass er die noch nicht über die Kompensationsschaltung kompensierte Ladung am Eingang aufnehmen kann, ohne dass der Verstärker V1 übersteuert wird.

5 U2 Spannung am Verstärkerausgang; diese wird infolge der Kompensationsschaltung immer wieder auf einen Wert $< I_{Urefl}$ gebracht.

Uref+/Uref- Referenzspannungen, ab welcher die Tätigkeit der Kompensationsschaltung einsetzt.

10 V2, V3 Verstärker, welche als Komparatoren für den Vergleich zwischen U2 und den Referenzspannungen Uref wirken.

G Impulsgenerator, welcher Impulse definierter Breite und Frequenz liefert.

15 &1, &2 AND-Glieder, welche ein positives Ausgangssignal abgeben, wenn die beiden Eingänge positives Signal aufweisen. Ihre Ausgänge betätigen die Schalter S1 und S2.

&3, &4 AND-Glieder, welche bei positivem Ausgangssignal an V2 bzw. V3 die Impulse des Impulsgenerators G an die Ausgänge durchschalten.

20 S1, S2 Schalter, welche die Kompensationsströme I_{k+} bzw. I_{k-} schalten; im Fall von Fig. 3 schalten sie auch die Impulse des Impulsgenerators G an die Ausgänge durch.

25 I_{k+} , I_{k-} wohldefinierte Stromquellen, welche während der Dauer eines Impulses des Impulsgenerators G jeweils eine exakte Ladung Q_{k+} bzw. Q_{k-} an das Netzwerk R2, C2, C3 liefern.

- R2, C2 dienen der Übertragung der Kompensationsladungen an den Verstärkereingang, R2 muss so tief gewählt werden, dass der maximale Eingangsfehlerstrom ($I_{off} + U_{of}/R_q$) kleiner als $U_3 \max / R_2$ ist, denn der Fehlerstrom kann nur über R2 abfließen.
- 5
- C3 dient dazu, die Kompensationsladungssprünge zu filtern und damit U_3 zu stabilisieren. C3 wird vorteilhafterweise kleiner als C2 gewählt, um auf das Ausgangssignal keinen grossen Einfluss zu haben.
- 10 U3 Spannung über C3; kann sich über den ganzen zulässigen Aussteuerbereich bewegen.
- Ü 2-Kanal-Übertragungsweg für die Ausgangsimpulse P+ und P-, galvanisch, optisch, induktiv, kapazitiv oder hochfrequent über Sende- und Empfangsantenne.
- 15 Z Zähler für die Summierung der P+ und P- -Impulse. Der Zähler wird vorteilhafterweise für die Ausgabe positiver und negativer Werte ausgelegt.
- D digitaler Zählerausgang, parallel oder seriell.
- R Resetschalter zur Nullstellung des Zählers.
- 20 S Startschalter für den Start des Zählvorganges.
- Qk bestimmt die Auflösung der Messvorrichtung. Wird eine Auflösung in z.B. 1000 Stufen (1%) gefordert, und wird der Messbereich voll ausgenützt, so darf Qk höchstens 1/1000 der maximalen Eingangsladung betragen. Entsprechend sind die Werte I_k und Impulsbreite des Impulsgenerators G zu wählen.
- 25

Patentansprüche

1. Ladungsverstärkerschaltung zum Wandeln von positiven und negativen von einem piezoelektrischen Messelement abgegebenen Ladungssignalen Q in ein digitales Signal D , welches dem jeweils aktuell vorherrschenden Messwert am Messelement proportional ist, umfassend einen Ladungsverstärker $V1$ mit einem Ladungseingang und einem Spannungsausgang zum Wandeln der erfassten Ladung Q in eine Spannung $U2$, dadurch gekennzeichnet, dass dem Spannungsausgang des Ladungsverstärkers $V1$ eine Kompensationsschaltung K umfassend zwei Ausgänge nachgeschaltet ist, wobei der erste Ausgang mit dem Ladungseingang des Ladungsverstärkers $V1$ und der zweite Ausgang mit einem Zähler Z mit zwei Eingängen $Z+$, $Z-$ verbunden ist, und wobei die Kompensationsschaltung K einerseits eine der Spannung $U2$ proportionale Kompensationsladung Q_{k+} resp. Q_{k-} erzeugen kann, welche zum Kompensieren des Eingangssignals Q über den ersten Ausgang zum Ladungseingang des Ladungsverstärkers $V1$ sendbar ist, und wobei die Kompensationsschaltung K andererseits jeweils eine dem Betrag jeder erzeugten Kompensationsladung Q_{k+} resp. Q_{k-} proportionale Anzahl Impulse $P+$, $P-$ erzeugen kann, welche über den zweiten Ausgang auf eine dem Vorzeichen der jeweiligen Kompensationsladung Q_{k+} resp. Q_{k-} entgegen gesetzten Eingang $Z-$, $Z+$ des Zählers Z sendbar sind, wobei am Ausgang des Zählers Z das der Summe der vorgängig eingegangenen Ladungsquanten proportionale, gewünschte digitale Signal D zur Verfügung steht.
2. Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompensationsschaltung K einen Impulsgenerator G umfasst zum Erzeugen von inkrementalen Impulsen P , welche in ihrer Anzahl proportional zu den Ladungsänderungen am Verstärkereingang sind.

3. Schaltung nach 2, dadurch gekennzeichnet, dass dem Impuls-
generator G zwei AND-Glieder &1, &2 parallel nachgeschaltet
sind, welche eingangsseitig auch mit dem Ausgang des La-
dungsverstärkers V1 parallel verbunden sind und ausgangs-
5 seitig jeweils mit dem Eingang Z- resp. Z+ des Zählers ver-
bunden sind, wobei die Impulse je nach Vorzeichen von U2
das Glied &1 oder &2 passieren und im Zähler Z bei Z- oder
Z+ erfasst werden können.
4. Schaltung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch zwei Kom-
10 pensationsverstärker V2, V3, welche zwischen dem Ausgang
des Ladungsverstärkers V1 und den AND-Gliedern &1 resp. &2
parallel geschaltet sind.
5. Schaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekenn-
zeichnet durch zwei Stromquellen Ik+, Ik- zur Erzeugung der
15 Kompensationsladungen Qk+ und Qk-.
6. Schaltung nach Anspruch 3 oder 4 und 5, gekennzeichnet
durch zwei Schalter S1, S2 nach je einem Ausgang der Strom-
quellen Ik+, Ik-, welche eingangsseitig auch mit je einem
der Ausgänge der AND-Glieder &1, &2 verbunden sind, wobei
20 die Schalter S1, S2 während einer Impulsdauer Strom von den
Stromquellen Ik+, Ik- zum Ladungseingang des Ladungsver-
stärkers V1 senden können.
7. Schaltung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch Dioden D1,
D2, welche je einem der Schalter S1, S2 in Serie nachge-
25 schalten sind.
8. Schaltung nach Anspruch 4 und 5, gekennzeichnet durch zwei
Schalter S1, S2 nach je einem Ausgang der Stromquellen Ik+,
Ik-, welche eingangsseitig auch mit je einem der Ausgänge
der Kompensationsverstärker V2 und V3 geschaltet sind zum
30 Durchlassen eines Stroms von der Stromquelle Ik+ bei posi-

tiver Ausgangsspannung des Kompensationsverstärkers V2 oder von der Stromquelle I_k - bei negativer Ausgangsspannung des Kompensationsverstärkers V3.

- 5 9. Schaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Schalter mindestens teilweise Transistoren oder mechanische Schalter verwendet werden.
- 10 10. Schaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Zähler einen Reset-Schalter R für die Zurückstellung des Zählers auf null und/oder einen Startschalter S für den Start des Zählvorgangs umfasst.
- 15 11. Schaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Mittel um die Zählimpulse unmoduliert oder einem Träger aufmoduliert galvanisch oder über induktive oder kapazitive oder optische Koppler oder Sende- und Empfangsantennen an den Zähler übermitteln zu können.
12. Schaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das digitale Signal D ein Spannungssignal ist.
- 20 13. Verfahren zum Wandeln von positiven und negativen von einem piezoelektrischen Messelement abgegebenen Ladungssignalen Q in ein digitales Signal D, welches dem jeweils aktuell vorherrschenden Messwert am Messelement proportional ist, gekennzeichnet durch die Schritte, dass ein Ladungsverstärker V1 das eingehende Ladungssignal Q zu einem analogen Spannungssignal U2 wandelt, das Spannungssignal U2 in eine dem Ladungsverstärker V1 nach geschalteten Kompensationsschaltung K geleitet wird, die Kompensationsschaltung K einerseits eine der Spannung U2 proportionale Kompensationsladung Q_{k+} resp. Q_{k-} erzeugt und, zum Kompensieren des Eingangssignals Q, über einen ersten Ausgang zum Ladungsein-
- 25
- 30

gang des Ladungsverstärkers V_1 sendet, und dass die Kompensationsschaltung K andererseits jeweils eine dem Betrag jeder erzeugten Kompensationsladung Q_{k+} resp. Q_{k-} proportionale Anzahl Impulse P_+ , P_- erzeugt und über einen zweiten Ausgang auf eine dem Vorzeichen der jeweiligen Kompensationsladung Q_{k+} resp. Q_{k-} entgegen gesetzten Eingang Z_- , Z_+ eines Zählers Z sendet, welcher die Impulse aufsummiert und die jeweilige Summe als das gewünschte digitale Signal D liefert.

Fig. 1

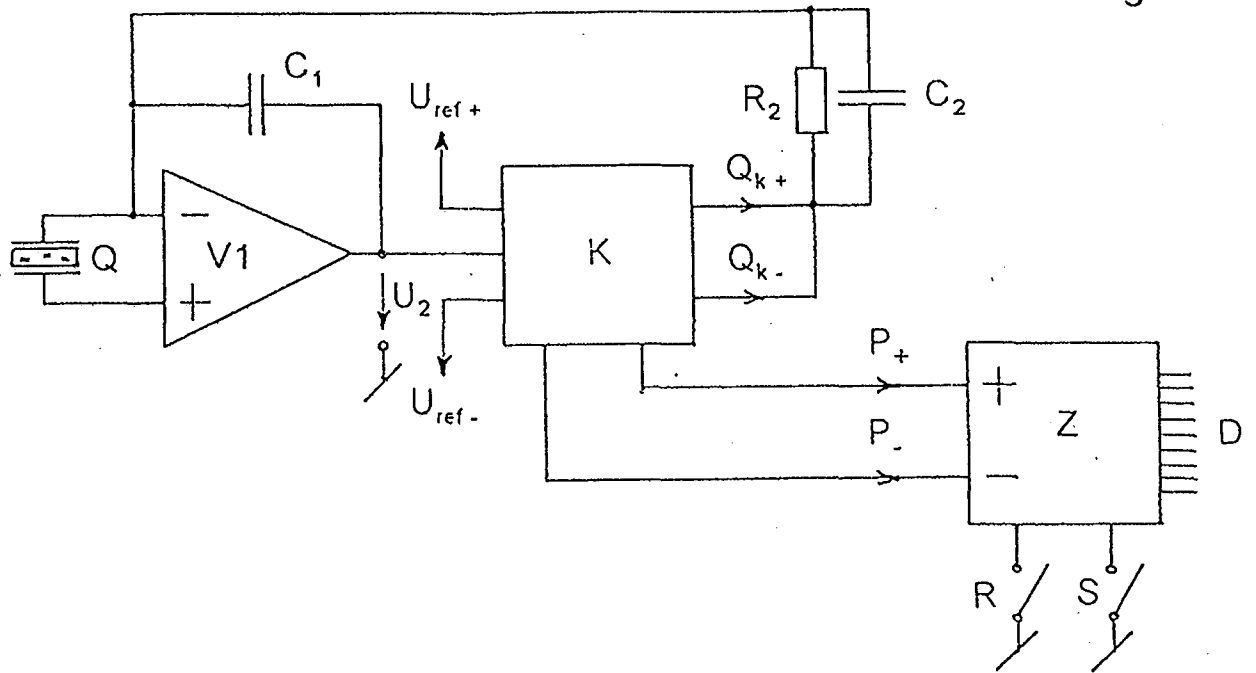


Fig.2

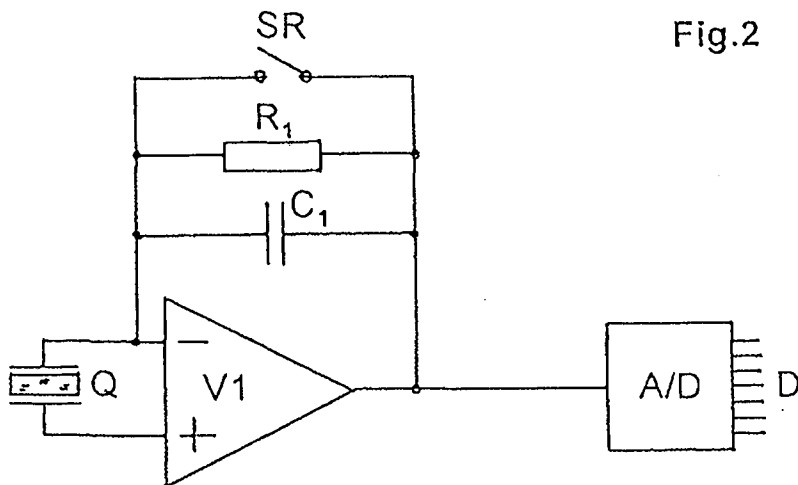
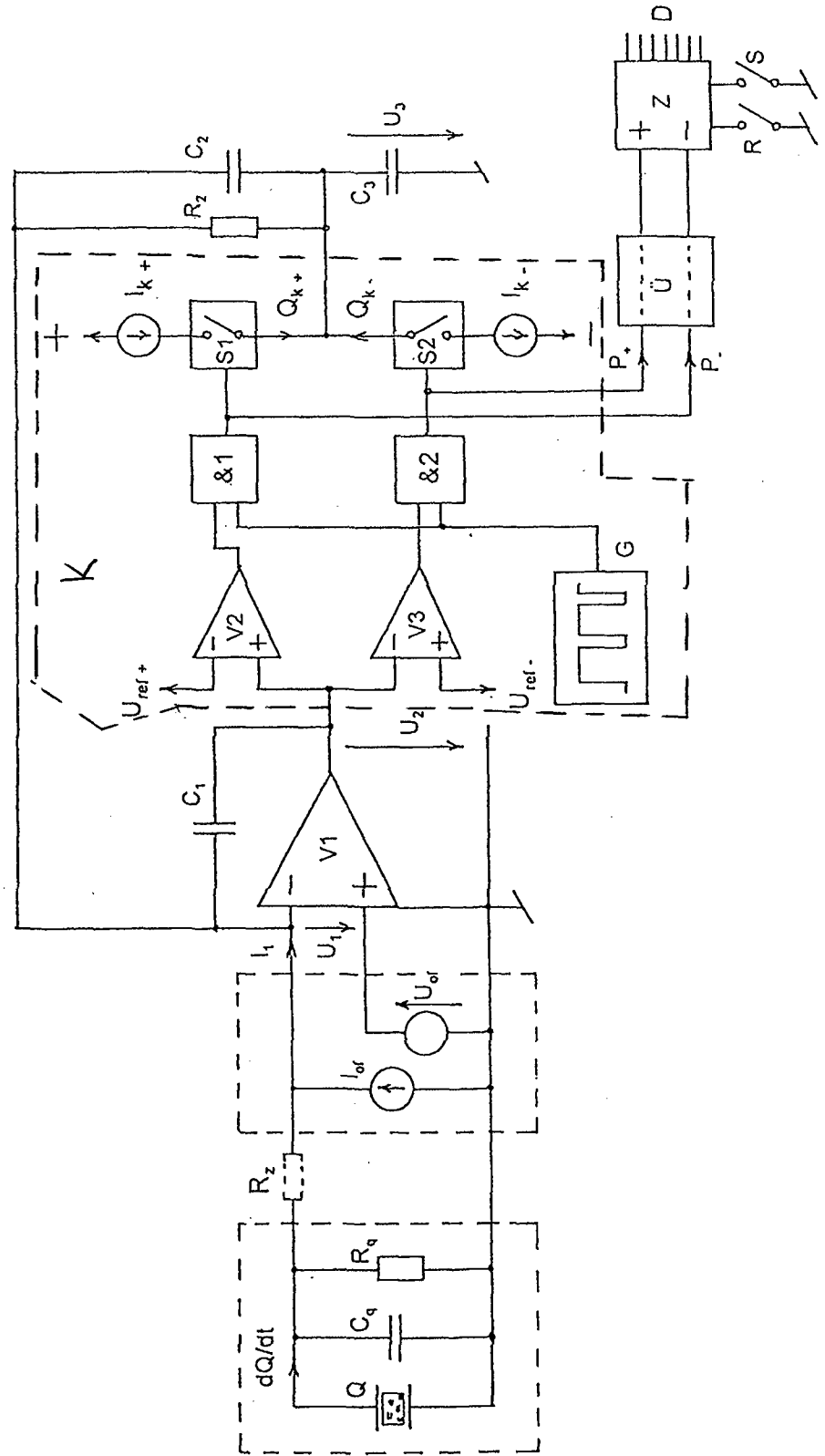


Fig.3



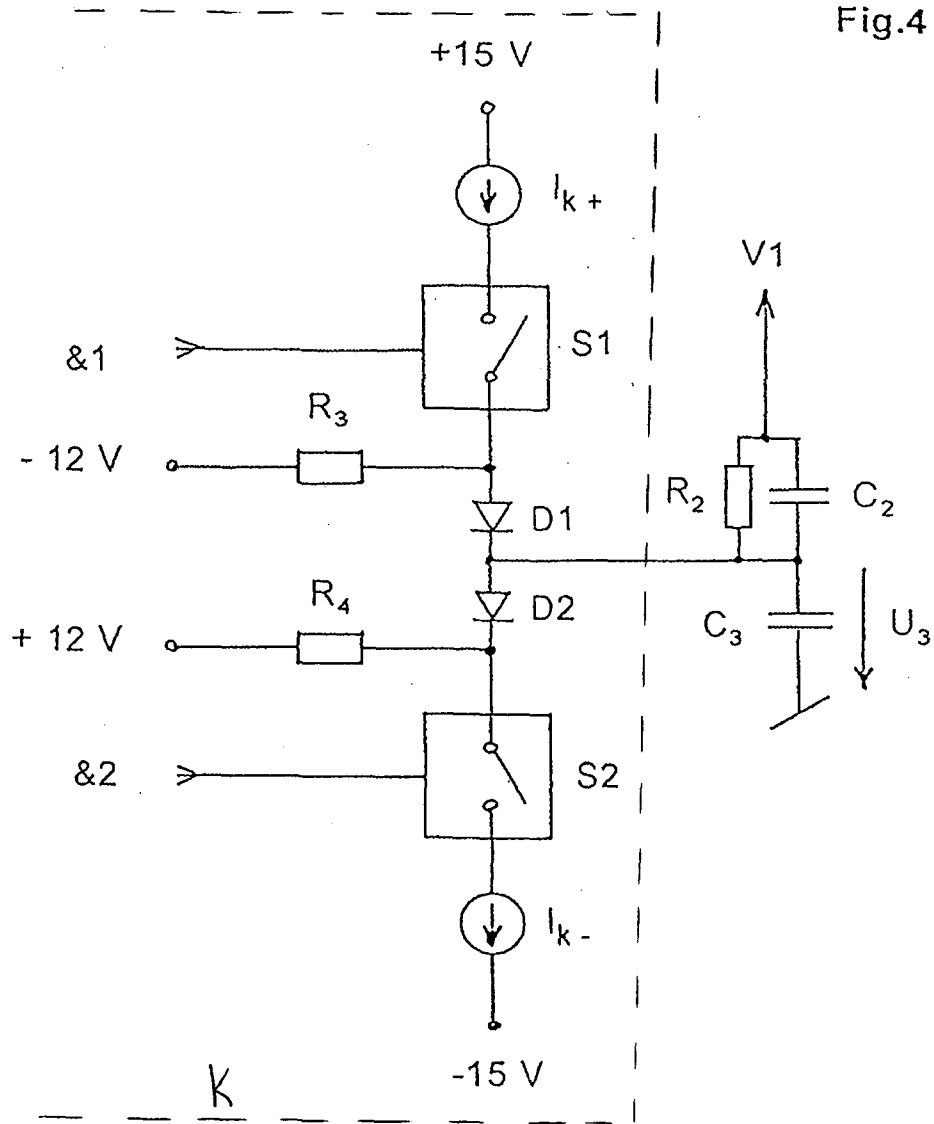


Fig.4

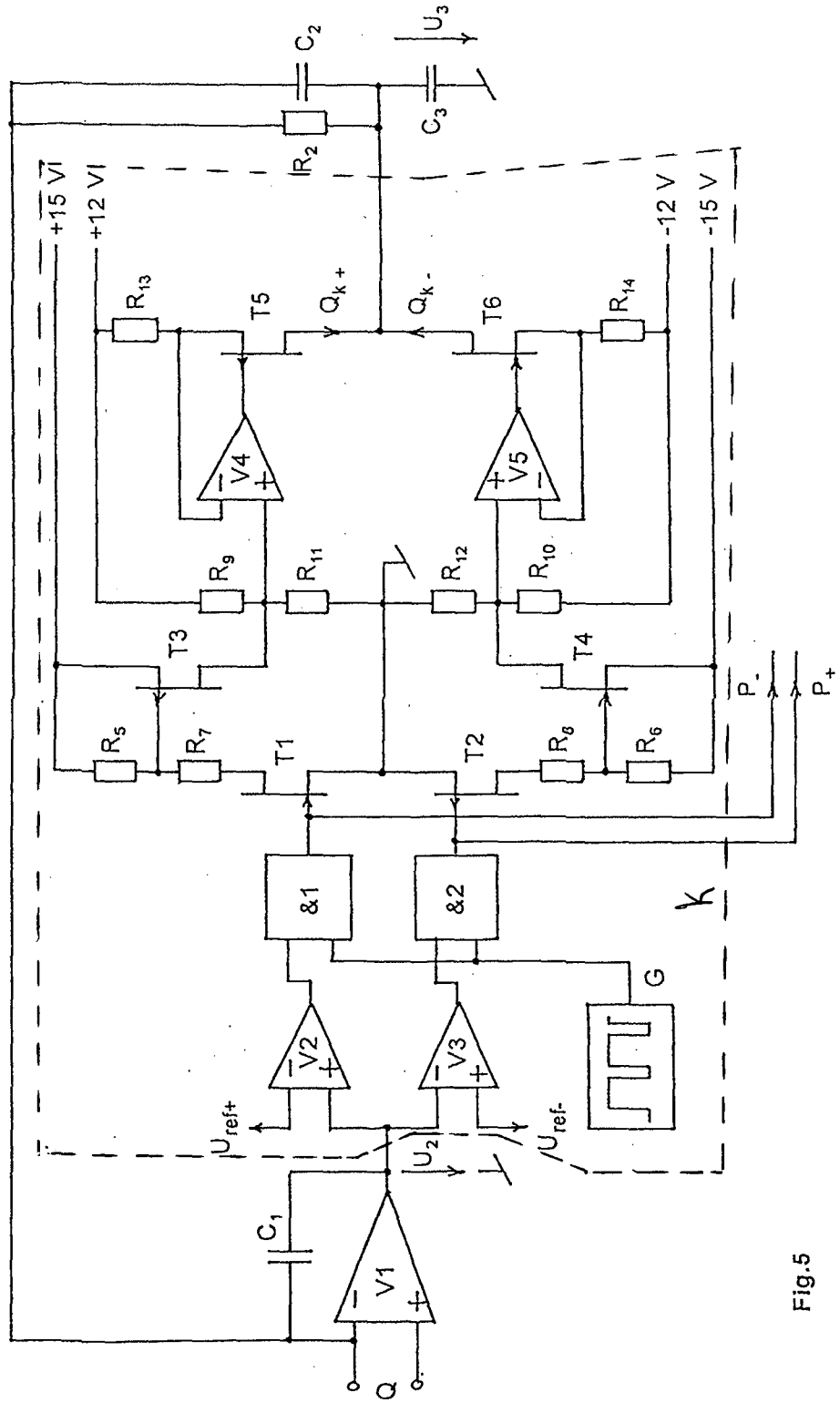
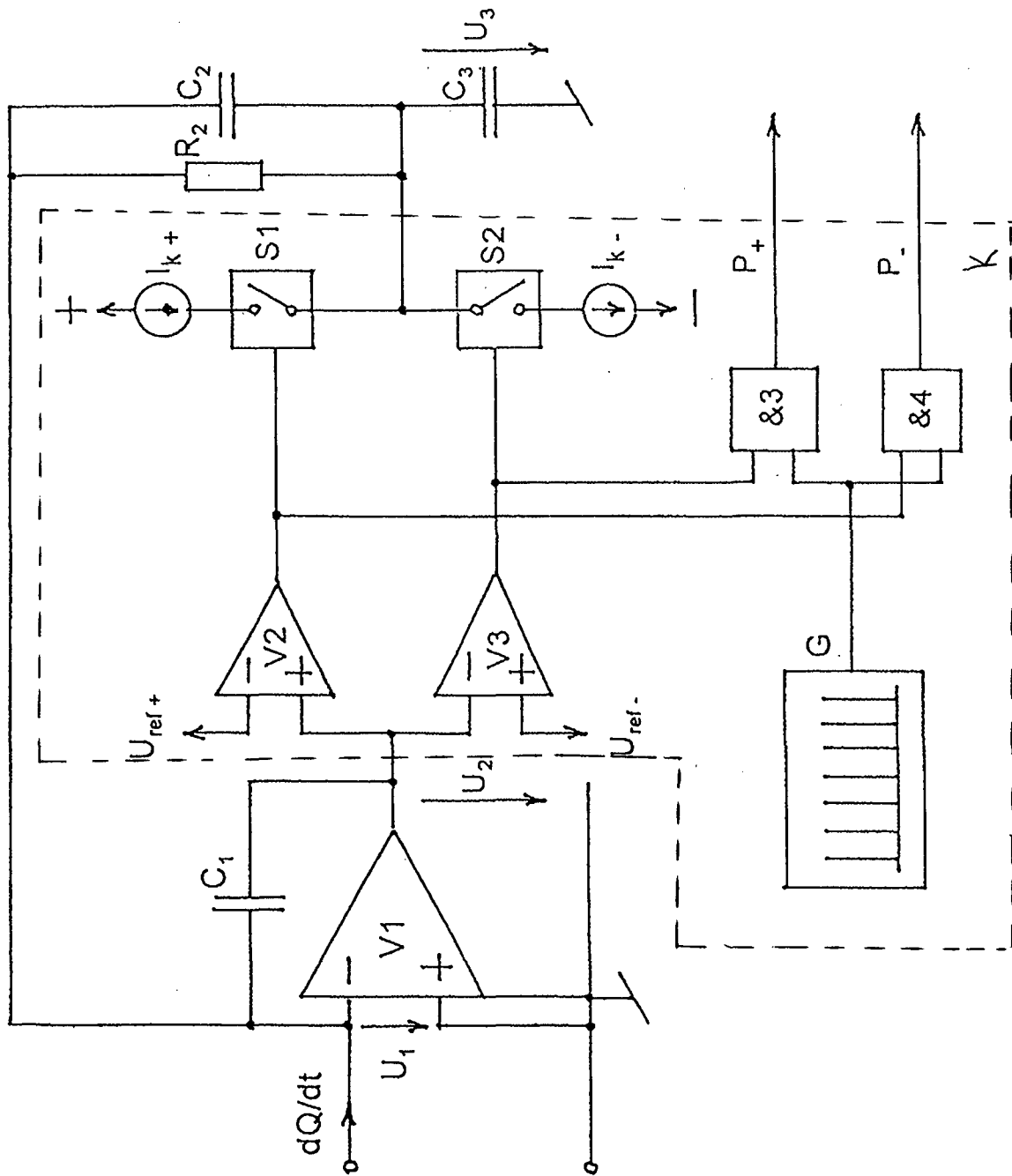


Fig.5

Fig. 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/CH2010/000289

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H03F1/30 H03F3/70 H03K7/06 G01L1/16 ADD.		
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) H03F H03K G01L		
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) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 109 168 A (RAYMOND DAVID LEE) 22 August 1978 (1978-08-22) column 9, line 52 - column 10, line 21; figure 2 -----	1-13
X	US 3 921 012 A (MARSHALL III J HOWARD) 18 November 1975 (1975-11-18) column 6, line 3 - column 7, line 23; figure 1 -----	1-13
X	US 3 989 961 A (MASRELIEZ C JOHAN) 2 November 1976 (1976-11-02) column 4, line 18 - line 54; figure 1 -----	1-13
A	US 5 523 642 A (HASHIMOTO MASAHIKO [JP] ET AL) 4 June 1996 (1996-06-04) * abstract; figures 1,2 -----	1,13
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family 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 25 January 2011		Date of mailing of the international search report 04/02/2011
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Van den Doel, Jules

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/CH2010/000289

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4109168	A	22-08-1978	NONE
US 3921012	A	18-11-1975	NONE
US 3989961	A	02-11-1976	NONE
US 5523642	A	04-06-1996	NONE

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/CH2010/000289

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H03F1/30 H03F3/70 H03K7/06 G01L1/16 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H03F H03K G01L		
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) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 109 168 A (RAYMOND DAVID LEE) 22. August 1978 (1978-08-22) Spalte 9, Zeile 52 - Spalte 10, Zeile 21; Abbildung 2 -----	1-13
X	US 3 921 012 A (MARSHALL III J HOWARD) 18. November 1975 (1975-11-18) Spalte 6, Zeile 3 - Spalte 7, Zeile 23; Abbildung 1 -----	1-13
X	US 3 989 961 A (MASRELIEZ C JOHAN) 2. November 1976 (1976-11-02) Spalte 4, Zeile 18 - Zeile 54; Abbildung 1 -----	1-13
A	US 5 523 642 A (HASHIMOTO MASAHIKO [JP] ET AL) 4. Juni 1996 (1996-06-04) * Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 -----	1,13
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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 Recherchenbericht 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 <p style="text-align: center;">25. Januar 2011</p>		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts <p style="text-align: center;">04/02/2011</p>
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter <p style="text-align: center;">Van den Doel, Jules</p>

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH2010/000289

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4109168	A	22-08-1978	KEINE
US 3921012	A	18-11-1975	KEINE
US 3989961	A	02-11-1976	KEINE
US 5523642	A	04-06-1996	KEINE