

(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
24. April 2014 (24.04.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/060469 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H03M 3/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/071614

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Oktober 2013 (16.10.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A50458/2012 17. Oktober 2012 (17.10.2012) AT

(71) Anmelder: AVL LIST GMBH [AT/AT]; Hans-List-Platz
1, A-8020 Graz (AT).

(72) Erfinder: HARMS, Klaus-Christoph; Am Weinberg 12,
A-8051 Thal/Graz (AT). FERNITZ, Gernot; Eggenberger
Allee 81/15, A-8020 Graz (AT).

(74) Anwälte: WEISS, Christian et al.; Patentanwälte Pinter &
Weiss OG, Prinz-Eugen-Straße 70, A-1040 Wien (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, 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, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
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, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DIGITAL CHARGE AMPLIFIER

(54) Bezeichnung : DIGITALER LADUNGSVERSTÄRKER

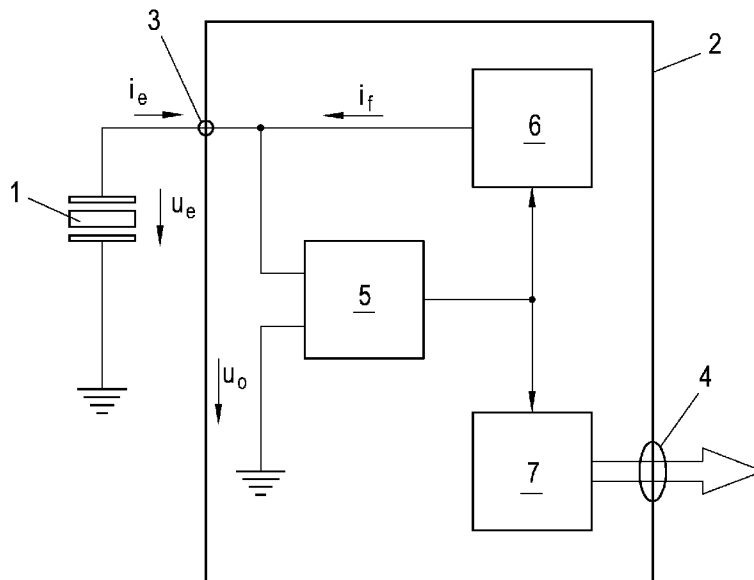


Fig. 1

(57) Abstract: Conventional analog and digital charge amplifiers for converting a charge output by a piezoelectric sensor into a proportional voltage require analog integration which inherently involves a drift in the output signal. In order to avoid this, a digital charge amplifier (1) is proposed in which, depending on the output of a comparator (5), a positive or negative constant feedback current (i_f) is fed back to the input (2) and the input current (i_e) is compensated, wherein a counter (7) detects the time period during which a feedback current (i_f) is flowing.

(57) Zusammenfassung: Herkömmliche analoge und digitale Ladungsverstärker, zur Wandlung einer von einem piezoelektrischen Sensor abgegebenen Ladung in eine proportionale Spannung, benötigen eine analoge Integration, der eine Drift im Ausgangssignal inhärent ist. Um das zu vermeiden, wird ein digitaler Ladungsverstärker (1) vorgeschlagen, bei dem in Abhängigkeit vom Ausgang eines Komparators (5) ein positiver oder negativer konstanter Rückkopplungsstrom (i_f) auf den Eingang (2) rückgekoppelt wird und der Eingangsstrom (i_e) kompensiert wird, wobei ein Zähler (7) die Zeitdauer, während der ein Rückkopplungsstrom (i_f) fließt, erfasst.



Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Digitaler Ladungsverstärker

Die gegenständliche Erfindung betrifft einen digitalen Ladungsverstärker mit einem analogen Eingang an dem eine Eingangsspannung anliegt und ein Eingangsstrom fließt und mit einem digitalen Ausgang, sowie ein Verfahren zur Digitalisierung eines analogen Signals, das einem Ladungsverstärker an einem analogen Eingang zugeführt wird.

Piezelektrische Sensoren werden in der Regel mit Ladungsverstärkern betrieben, die die vom piezelektrischen Sensor abgegebene Ladung in eine proportionale elektrische Spannung wandeln. Als Ladungsverstärker werden häufig Operationsverstärker mit einer kapazitiven Rückkopplung verwendet, die als Integrierer arbeiten. Der Nachteil solcher Ladungsverstärker für einen piezelektrischen Sensor liegt bekanntermaßen darin, dass die vom Sensor abgegebene Ladung sehr gering sein kann, wodurch der Einsatz von störspannungsarmen Spezialkabeln, die teuer sind, zur Verbindung von Sensor und Ladungsverstärker notwendig wird. Aufgrund der hohen Eingangsimpedanz des Ladungsverstärkers ist der Übertragungsweg auch empfindlich für elektromagnetische Felder, wodurch die Kabellängen auf wenige Meter limitiert sind. Ein weiterer Nachteil solcher Ladungsverstärker ist die der analogen Integration inhärente Drift im Ausgangssignal, beispielsweise aufgrund der Leckageströme am Eingang, was eine Driftkompensation erforderlich macht.

Als Alternative dazu sind Impedanzwandler bekannt, die das hochimpedante Signal des piezelektrischen Sensors in ein Spannungssignal mit niedriger Impedanz umwandelt, das dann verlustarm über lange Leitungen übertragen werden kann. Der Impedanzwandler ist dabei häufig im Sensor integriert, was jedoch die Einsatzmöglichkeit beschränkt. Z.B. können solche Sensoren mit integrierter Elektronik nicht in Umgebungen mit hohem Druck und/oder Temperatur, wie z.B. als Druckaufnehmer im Zylinder eines Verbrennungsmotors, eingesetzt werden.

Neben den analogen Ladungsverstärkern sind auch digitale Ladungsverstärker bekannt geworden, die den Wert, der vom Sensor abgegebenen Ladung, bzw. einer dazu proportionalen Spannung, digital ausgeben. Dabei bleibt die Eingangsstufe aber nachwievor analog und lediglich das integrierte Eingangssignal wird digitalisiert und als Digitalwert ausgegeben. Die oben angeführten Probleme des analogen Ladungsverstärkers bleiben dabei erhalten.

Bekannt geworden sind auch Ladungsverstärker auf Basis eines Sigma-Delta Analog Digital Wandlers. Ein solcher Wandler geht z.B. aus der WO 2009/062494 A1, der EP 1 345 330 A2 oder der GB 2 292 028 A hervor. Dabei wird der digitale Ausgang des Wandlers über einen Digital-Analog Wandler auf den Eingang rückgekoppelt. Die Differenz zwischen Eingangsstrom und Rückkopplungsstrom wird integriert, quantisiert und mit hoher Abtastrate abgetas-

tet. Der Bitstrom am Ausgang stellt eine digitale Repräsentation der Eingangsspannung dar. Am Ausgang kann auch noch ein digitales Filter vorgesehen sein. Dabei wird aber nachwievor eine analoge Integration mittels einer Kapazität am Eingang benötigt, weshalb auch damit die damit verbundenen Probleme nicht behoben werden können.

- 5 Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, einen digitalen Ladungsverstärker und ein Verfahren zur Digitalisierung eines analogen Signals anzugeben, die eine Verbesserung hinsichtlich der oben angeführten Nachteile herbeiführt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, indem ein Komparator vorgesehen ist, der die Eingangsspannung mit einem Bezugspotential vergleicht und der Ausgang des
10 Komparators eine Rückkopplungsstromquelle ansteuert, wobei die Rückkopplungsstromquelle in Abhängigkeit vom Ausgang des Komparators einen positiven oder negativen konstanten Rückkopplungsstrom erzeugt, der auf den Eingang rückgekoppelt ist und den Eingangsstrom kompensiert, wobei ein Zähler vorgesehen ist, dessen Zählrichtung durch den Ausgang des Komparators bestimmt ist und der Ausgang des Zählers als digitaler Ausgang
15 des digitalen Ladungsverstärkers vorgesehen ist.

Am Eingang des Komparators, bzw. am Eingang des Ladungsverstärkers, wird durch die Rückkopplung eines vom Komparator gesteuerten Rückkopplungsstromes ein virtueller Kurzschluss erzeugt, indem nämlich der Eingangsstrom durch den Rückkopplungsstrom kompensiert wird. Dabei wird die rückgekoppelte Ladungsmenge, die der vom piezoelektrischen Sensor abgegebenen Ladungsmenge entspricht, nicht wie bei herkömmlichen analo-
20 gen und digitalen Ladungsverstärkern von der Stromstärke eingestellt, sondern durch die Zeitdauer, während der ein negativer oder positiver Referenzstrom rückgekoppelt wird. Die Zeitdauer wird dabei durch den Ausgang des Komparators bestimmt. Auf diese Weise wird erreicht, dass die rückgekoppelte Ladungsmenge proportional einer Zeitdauer ist, die auf
25 einfache Weise mit Hilfe eines Zählers gemessen werden kann. Der Ausgang des Zählers ist somit abhängig vom Eingangsstrom und proportional zu der vom piezoelektrischen Sensor abgegebenen Ladung. Das Zählen entspricht somit der zeitlichen Integration des Eingangsstromes. Das gesuchte Messergebnis steht somit als Zählwert digital zur Verfügung, ohne eine analoge Integration vornehmen zu müssen.

- 30 In einer vorteilhaften einfachen Ausgestaltung steuert der Komparator eine Steuerlogik, die wiederum die Rückkopplungsstromquelle ansteuert. Dabei ist ganz besonders einfach, wenn die Steuerlogik Zählimpulse für den Zähler erzeugt.

In einer weiteren vorteilhaften einfachen Umsetzung der Erfindung, wird als Bezugspotential für den Komparator das Bezugspotential des Eingangs, insbesondere Masse, vorgesehen.

Wenn eine Bezugspotentialerzeugungseinheit vorgesehen ist, in der ein Regler implementiert ist, der den zeitlichen Mittelwert des Rückkopplungsstromes, bzw. einer dazu proportionalen Rückkopplungsspannung eliminiert und als Stellgröße das Bezugspotential für den Komparator erzeugt, lassen sich auf einfachem Wege schädliche Auswirkung von Offsetspannung und Biasstrom der Eingangsstufe eliminieren und man erhält so einen praktisch driftfreien Ladungsverstärker.

Wenn als Komparator ein Fensterkomparator verwendet wird, kann in vorteilhafter Weise auch der Ruhezustand, also der Zustand in dem der Sensor keine Ladung abgibt, erfasst werden.

Um den Ladungsverstärker flexibler einsetzbar zu machen, können am Ladungsverstärker ein Empfindlichkeitseingang, über den die Empfindlichkeit der Rückkopplungsstromquelle einstellbar ist, und/oder ein Preset-Eingang, über definierter Ausgangspunkt des Zählers einstellbar ist, vorgesehen sein.

Die digitale Unsicherheit und eventuelle Querempfindlichkeiten zwischen analogem und digitalem Schaltungsteil können reduziert werden, wenn der Rückkopplungsstrom im Takt einer Referenzfrequenzquelle moduliert ist.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 5, die schematisch, beispielhaft und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen, näher erläutert. Dabei zeigt

- Fig. 1 ein Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Ladungsverstärkers,
- Fig. 2 ein detaillierteres Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Ladungsverstärkers,
- Fig. 3 eine einfache Implementierung des erfindungsgemäßen Ladungsverstärkers,
- Fig. 4 eine Implementierung des erfindungsgemäßen Ladungsverstärkers mit Fensterkomparator und
- Fig. 5 eine Implementierung des erfindungsgemäßen Ladungsverstärkers mit moduliertem Rückkopplungsstrom.

In Fig.1 ist ein erfindungsgemäßer digitaler Ladungsverstärker 2 über einen analogen Eingang 2 mit einem piezoelektrischen Sensor 1 verbunden. An einem digitalen Ausgang 3 des Ladungsverstärkers 2 wird ein digitales Signal ausgegeben, das proportional zur vom piezoelektrischen Sensor 1 abgegebenen Ladung ist. Dazu ist im Ladungsverstärker 2 ein Komparator 5 vorgesehen, der die Eingangsspannung u_e mit einer Bezugsspannung u_0 vergleicht. Als Bezugsspannung u_0 ist hier z.B. das Massepotential des piezoelektrischen Sensors 1 vorgesehen. Der Ausgang des Komparators 5 steuert einerseits eine Rückkopplungsstromquelle 6 und auch einen Zähler 7 an. Die Rückkopplungsstromquelle 6 erzeugt einen

Rückkopplungsstrom i_f , der den Eingangsstrom i_e kompensiert und somit einen virtuellen Kurzschluss am Eingang erzeugt. Die Zeitdauer, während der ein positiver oder negativer Rückkopplungsstrom (in Abhängigkeit vom Ausgang des Komparators 5) rückgekoppelt wird, wird durch den Zähler 7 erfasst. Die Zählrichtung des Zählers 7 wird dabei durch das Vorzeichen des Rückkopplungsstromes i_f bestimmt. Der Zählerstand des Zählers 7 ist damit abhängig vom Rückkopplungsstrom i_f und damit auch vom Eingangsstrom i_e und somit proportional zur vom piezoelektrischen Sensor 1 abgegebenen Ladung. Die grundlegende Idee ist dabei folglich, die erforderliche Integration des Eingangsstromes i_e nicht wie bisher analog mittels einer Kapazität, sondern digital und daher driftfrei mittels eines Zählers 7 durchzuführen.

Die Funktion des erfindungsgemäßen Ladungsverstärkers 1 wird anhand einer vorteilhaften Ausgestaltung nach Fig.2 nun näher erläutert. Die Eingangsstufe des Ladungsverstärkers 1 wird durch einen Komparator 5 gebildet, der die Eingangsspannung u_e mit einem Bezugspotential u_0 vergleicht und sein Ergebnis - charakterisiert z.B. durch die Zustände größer, größer-gleich, kleiner, kleiner-gleich - an eine Steuerlogik 10 ausgibt. Der virtuelle Kurzschluss am Eingang, der für die Strom- bzw. Ladungsmessung angestrebt wird, wird hier z.B. dadurch erreicht, dass in der Rückkopplungsstromquelle 6 mit einer Referenzstromerzeugungseinheit 12 aus einer Referenzspannungsquelle 11 ein konstanter Rückkopplungsstrom i_f erzeugt wird, wie weiter unten noch im Detail beschrieben wird. Dazu kann am Ladungsverstärker 1 auch ein Empfindlichkeitseingang 13 zur Vorgabe bzw. zur Einstellung einer Empfindlichkeit E vorgesehen sein. Die Steuerlogik 10 steuert die Rückkopplungsstromquelle 6 so, dass der Eingangsstrom i_e gerade kompensiert wird. Dabei wird, im Gegensatz zum konventionellen Ladungsverstärker, der rückgekoppelte Rückkopplungsstrom i_f (bzw. die rückgekoppelte Ladungsmenge) nicht durch den Momentanwert der Stromstärke eingestellt, sondern durch die Zeitdauer, während der ein negativer oder positiver Rückkopplungsstrom i_f konstanter und definierter Stromstärke zugeschaltet wird. Die Stromstärke des Rückkopplungsstromes i_f ist durch die Referenzspannung u_R und die eingestellte Empfindlichkeit E gegeben. Die Zeitdauer, während der ein Rückkopplungsstrom i_f erzeugt wird, wird durch die aus dem Ergebnis des Komparators 5 abgeleiteten Steuersignale bestimmt. Auf diese Art wird erreicht, dass die rückgekoppelte Ladungsmenge proportional einer Zeitdauer ist, die auf einfache Art mit Hilfe einer Referenzfrequenz f_R , die in einer Referenzfrequenzquelle 14 erzeugt wird, und eines Zählers 7 gemessen werden kann. Zu diesem Zweck werden aus dem Taktsignal der Referenzfrequenzquelle 14 und aus den Ergebnissignalen des Komparators 5 Zählpulse erzeugt, die vom Zähler 7 gezählt werden. Der Zähler 7 ist dabei vorteilhaft in der Lage, sowohl aufwärts, als auch abwärts zu zählen. Dieses Zählen entspricht der zeitlichen Integration des Eingangsstromes i_e und das momentane Zählergebnis ist also proportional zur Ladungsmenge, die vom piezoelektrischen Sensor 1 abgegeben wird. Damit steht

der gesuchte Messwert in digitaler Form zur Verfügung und kann als digitaler Wert am digitalen Ausgang 4 des Ladungsverstärkers 1 ausgegeben werden.

Zum Einstellen eines definierten Ausgangspunktes kann am Ladungsverstärker 1 ein Preset-Eingang 15 vorgesehen sein, über den der Zähler 7 rückgesetzt und/oder auf einen bestimmten Zählerstand gesetzt werden kann. Das kann auch als Definition einer Integrationskonstanten gesehen werden und beispielsweise zum Einstellen des digitalen Ausgangssignals auf einen zu bestimmten Zeitpunkten bekannten Messwert des piezoelektrischen Sensors verwendet werden.

Das Bezugspotential u_0 für den Komparator 5 kann in einer Bezugspotentialerzeugungseinheit 16 erzeugt werden. Das Bezugspotential u_0 am Eingang des Komparators 5 kann, wie bereits oben erwähnt, im einfachsten Fall das Bezugspotential der Eingangsleitung bzw. des piezoelektrischen Sensors 1, also z.B. Masse, sein. Es besteht aber auch die Möglichkeit, über eine Regelung von u_0 die schädliche Auswirkung von Offsetspannung und Biasstrom der Eingangsstufe zu eliminieren. Man erhält so einen praktisch driftfreien Ladungsverstärker 1. Zum Erzeugen des Bezugspotentials u_0 kann dabei zweckmäßigerweise ein Integralregler verwendet, der auch Proportionalanteile aufweisen kann. Der Regler hat die Aufgabe, den zeitlichen Mittelwert des Rückkopplungsstromes i_f , bzw. einer dazu proportionalen Rückkopplungsspannung u_f , verschwinden zu lassen. Zu diesem Zweck vergleicht er den Istwert der Rückkopplungsspannung u_f mit einem Sollwert, der z.B. durch das Bezugspotential der Eingangsleitung bzw. des piezoelektrischen Sensor 1 gegeben ist. Aus der festgestellten Abweichung erzeugt er gemäß seiner Regelcharakteristik als Stellgröße das Bezugspotential u_0 für den Komparator.

Eine sehr einfache Implementierung des erfindungsgemäßen Ladungsverstärkers 1 ist in Fig.3 dargestellt. Der Komparator 5 liefert hier nur zwei Zustände, nämlich größer-gleich oder kleiner-gleich, die die Zählrichtung des Zählers 7 vorgeben. Die Steuerlogik 10 ist ein einfacher Schalter, dessen Stellung über einen einfachen Differenzverstärker einen positiven oder negativen Rückkopplungsstrom i_f bewirkt. Der Ruhezustand wird hierbei vom Komparator 5 nicht detektiert, weshalb im Ruhezustand ständig zwischen positiven und negativen Rückkopplungsstrom i_f hin- und hergeschaltet wird. Das Bezugspotential u_0 wird hier in Abhängigkeit von der Rückkopplungsspannung u_f über einen IP-Regler, in Form eines Integrierrers mit Proportionalanteil, eingestellt.

Fig.4 zeigt einen erfindungsgemäßen Ladungsverstärker 1 mit Fensterkomparator 20 und optionalem Vorverstärker 21 als Komparator 5. Damit kann auch der Ruhezustand detektiert werden, in dem kein Rückkopplungsstrom i_f erzeugt wird und in dem auch keine Zählpulse

für den Zähler 7 erzeugt werden. Je nach Ausgang des Komparators 5 zählt der Zähler 7 aufwärts oder abwärts oder gar nicht.

In der Ausgestaltung nach Fig.5 ist der negative und positive Rückkopplungsstrom i_f im Takt der Referenzfrequenz f_R moduliert, hier pulsweitenmoduliert (PWM). Gleichzeitig wird durch die dargestellte Schaltung sichergestellt, dass die Referenzspannung u_R und damit auch der Rückkopplungsstrom i_f symmetrisch sind, also im zeitlichen Mittel Null sind. Dadurch können gegenüber den Schaltungen nach Fig.3 oder 4 die digitale Unsicherheit und eventuelle Querempfindlichkeiten zwischen analogem und digitalem Schaltungsteil reduziert werden.

- 10 Einzelne oder alle Komponenten des erfindungsgemäßen digitalen Ladungsverstärkers, z.B. der Zähler oder die Driftregelung, die in den Figuren 1 bis 5 anhand von Hardware beschrieben werden, können natürlich auch als Software realisiert werden, z.B. auf einem Mikroprozessor, einem Digitalen Signalprozessor (DSP) oder einem speicherprogrammierbaren Bauteil.

Patentansprüche

1. Digitaler Ladungsverstärker mit einem analogen Eingang (2), an dem eine Eingangsspannung (u_e) anliegt und ein Eingangsstrom (i_e) fließt, und mit einem digitalen Ausgang (3),
5 **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Komparator (5) vorgesehen ist, der die Eingangsspannung (u_e) mit einem Bezugspotential (u_0) vergleicht, **dass** der Ausgang des Komparators (5) eine Rückkopplungsstromquelle (6) ansteuert, wobei die Rückkopplungsstromquelle (6) in Abhängigkeit vom Ausgang des Komparators (5) einen positiven oder negativen konstanten Rückkopplungsstrom (i_r) erzeugt, der auf den Eingang (2) rückgekoppelt ist und der den Ein-
10 gangsstrom (i_e) kompensiert **und dass** ein Zähler (7) vorgesehen ist, dessen Zählrichtung durch den Ausgang des Komparators (5) bestimmt ist und der Ausgang des Zählers (7) als digitaler Ausgang (3) des digitalen Ladungsverstärkers (1) vorgesehen ist.
2. Digitaler Ladungsverstärker nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Komparator (5) eine Steuerlogik (10) ansteuert, die die Rückkopplungsstromquelle (6) an-
15 steuert.
3. Digitaler Ladungsverstärker nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerlogik (10) Zählimpulse für den Zähler (7) erzeugt.
4. Digitaler Ladungsverstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Bezugspotential (u_0) für den Komparator (5) das Bezugspotential des
20 Eingangs, insbesondere Masse, vorgesehen ist.
5. Digitaler Ladungsverstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Bezugspotentialerzeugungseinheit (16) vorgesehen ist, in der ein Regler implementiert ist, der den zeitlichen Mittelwert des Rückkopplungsstromes (i_r), bzw. einer dazu proportionalen Rückkopplungsspannung (u_r), eliminiert und als Stellgröße das Bezugspotential (u_0) für den Komparator (5) erzeugt.
25
6. Digitaler Ladungsverstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Komparator (5) ein Fensterkomparator vorgesehen ist.
7. Digitaler Ladungsverstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Ladungsverstärker (1) ein Empfindlichkeitseingang (13) vorgesehen ist,
30 über den die Empfindlichkeit (E) der Rückkopplungsstromquelle (6) einstellbar ist.

8. Digitaler Ladungsverstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Ladungsverstärker (1) ein Preset-Eingang (15) vorgesehen ist, über den ein definierter Ausgangspunkt des Zählers (7) einstellbar ist.

9. Digitaler Ladungsverstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rückkopplungsstrom (i_e) im Takt einer Referenzfrequenzquelle (14) moduliert ist.

10. Verfahren zur Digitalisierung eines analogen Signals, das einem Ladungsverstärker (1) an einem analogen Eingang (2) zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die analoge Eingangsspannung (u_e) in einem Komparator (5) mit einem Bezugspotential (u_0) verglichen wird, **dass** mit dem Ausgang des Komparators (2) eine Rückkopplungsstromquelle (6) angesteuert wird, die in Abhängigkeit vom Ausgang des Komparators (5) einen positiven oder negativen konstanten Rückkopplungsstrom (i_f) erzeugt, der auf den Eingang (2) rückgekoppelt wird und den Eingangsstrom (i_e) kompensiert, **und dass** die Zeitdauer, während der ein positiver oder negativer Rückkopplungsstrom (i_f) in Abhängigkeit vom Ausgang des Komparators (5) rückgekoppelt wird, durch einen Zähler (7), dessen Zählrichtung durch das Vorzeichen des Rückkopplungsstromes (i_f) bestimmt ist, erfasst wird, wobei der Ausgang des Zählers (7) als digitaler Ausgang (3) des digitalen Ladungsverstärkers (1) verwendet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rückkopplungsstrom (i_f) im Takt einer Referenzfrequenzquelle (14) moduliert wird.

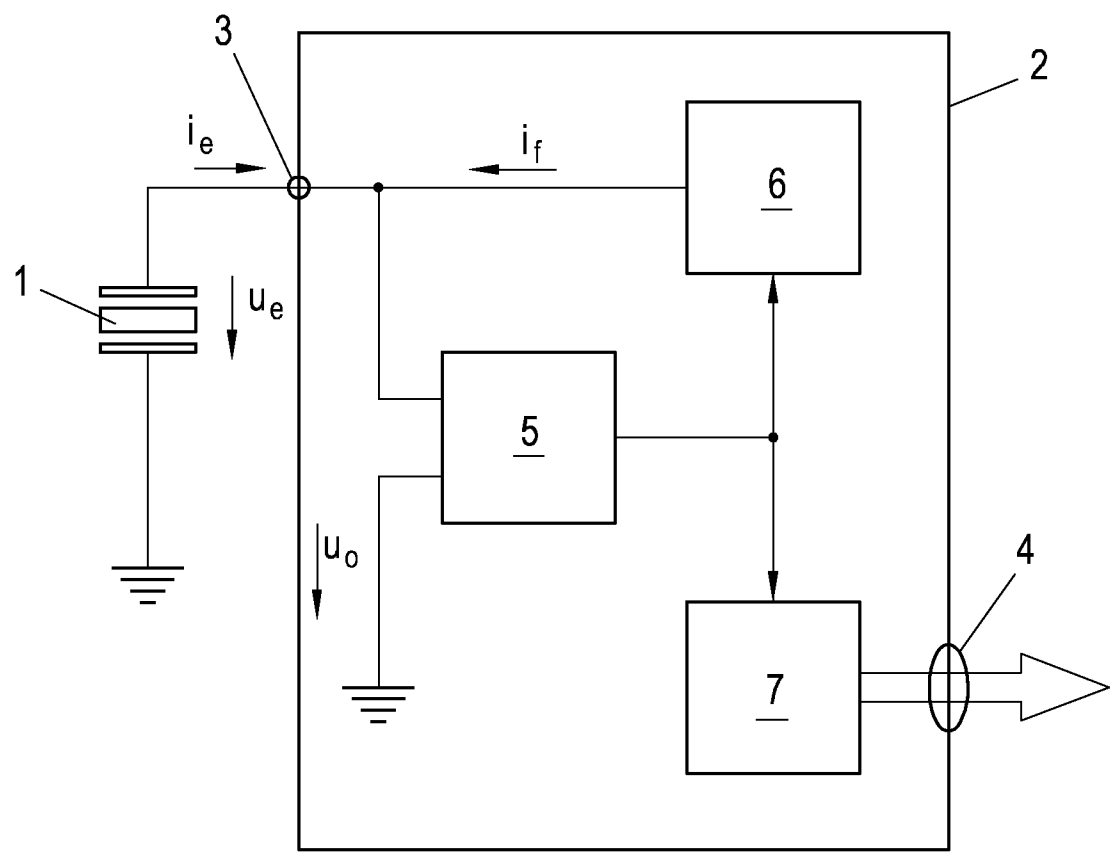


Fig. 1

2/5

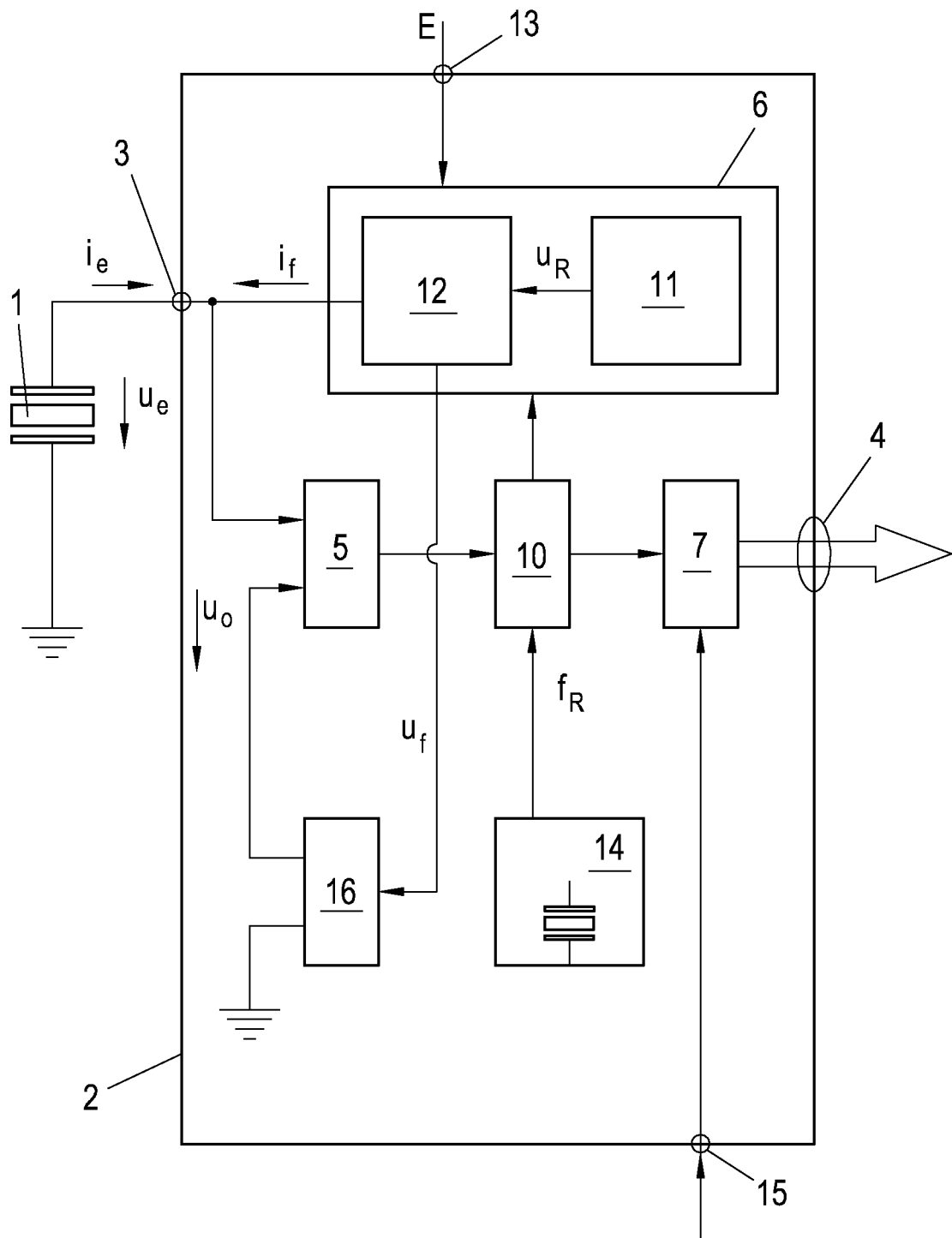


Fig. 2

3/5

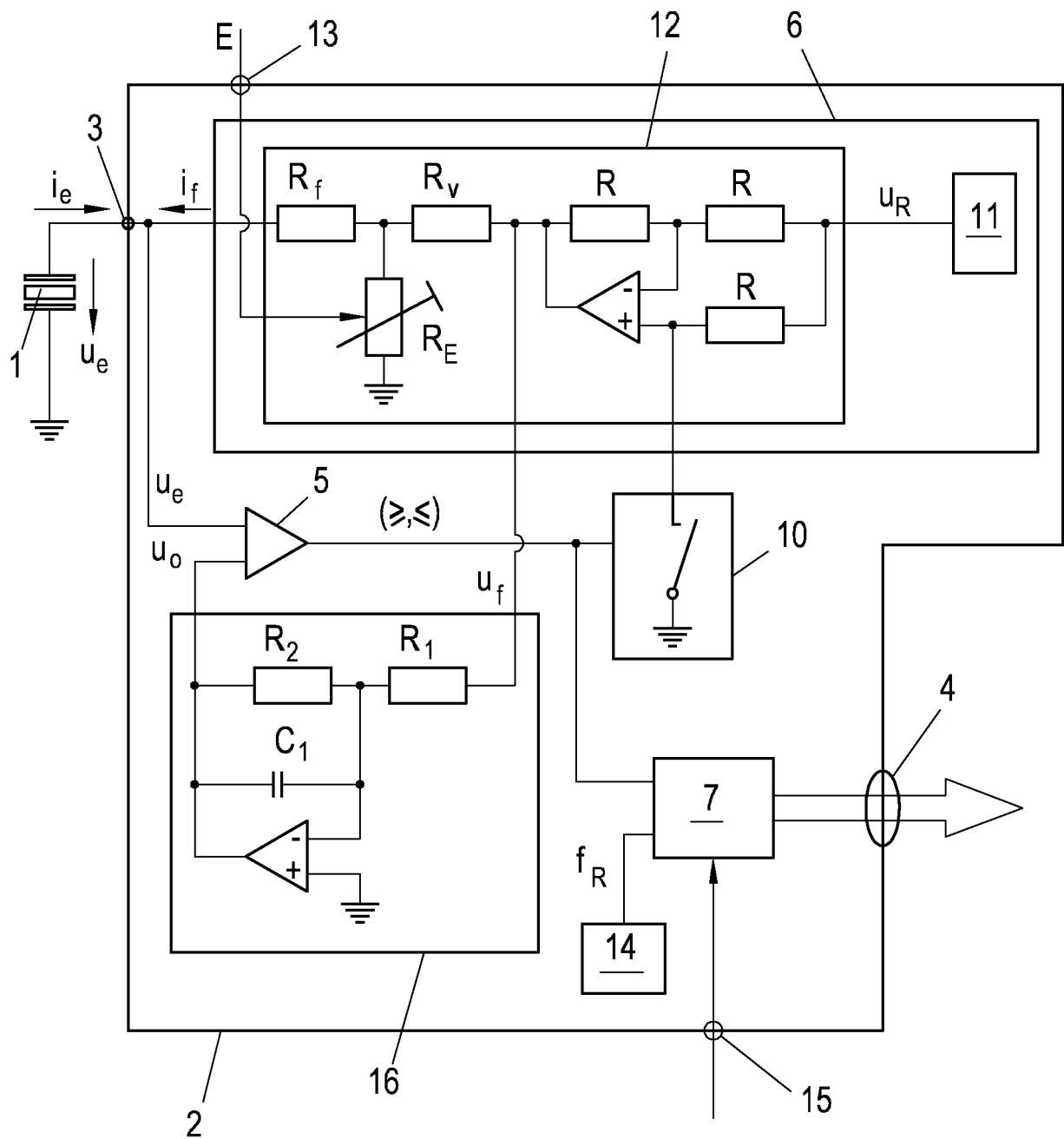


Fig. 3

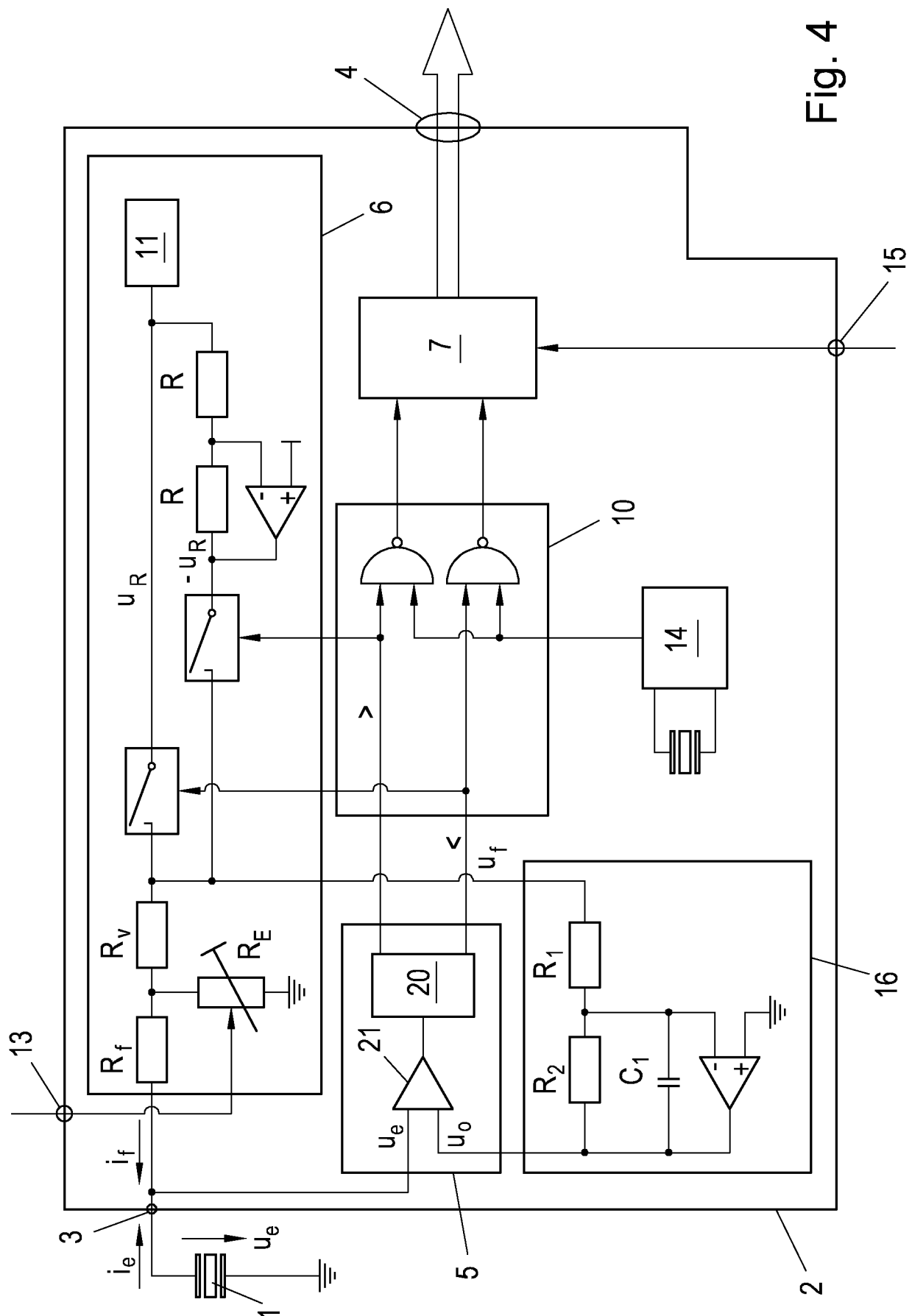
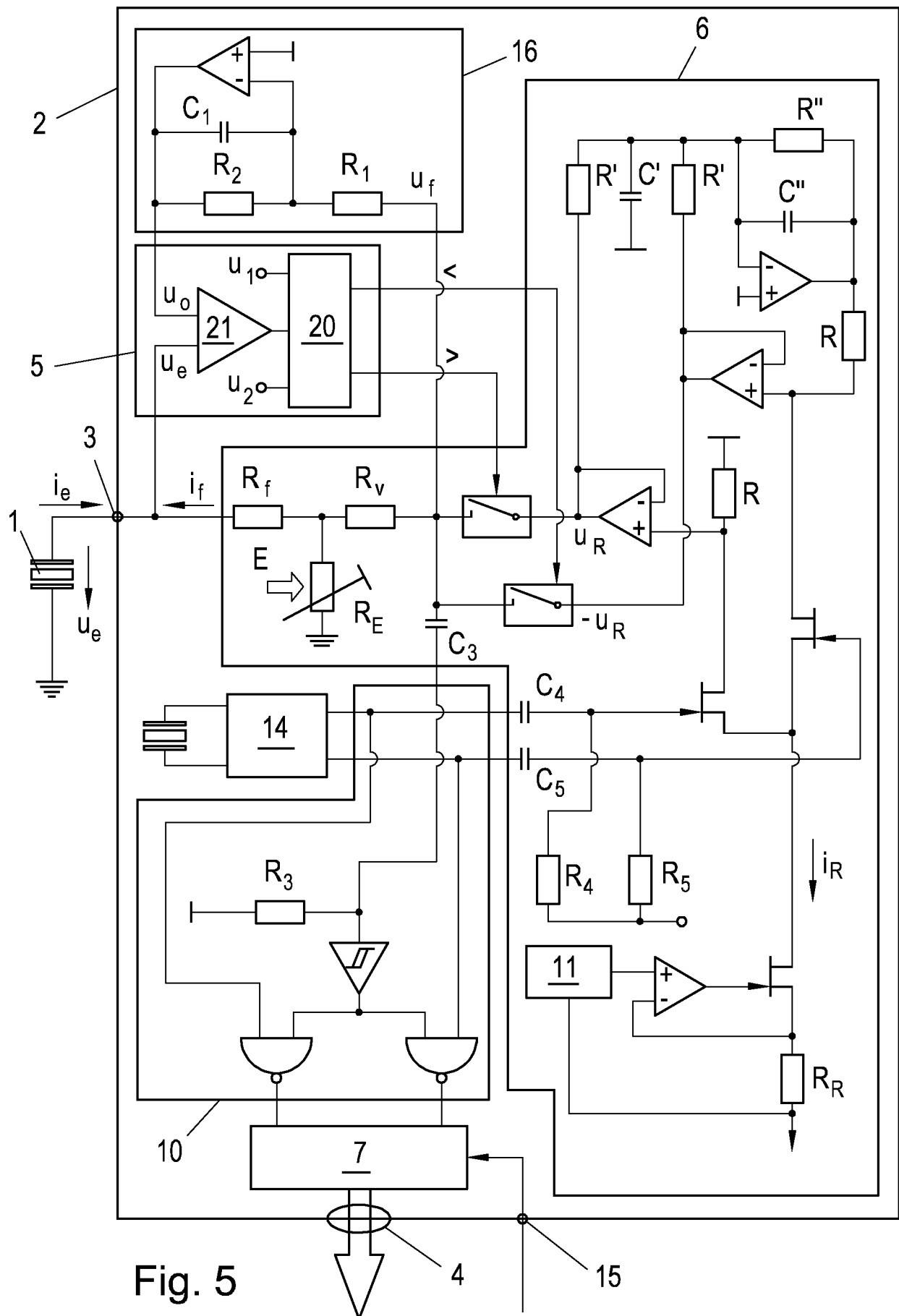


Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/071614

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H03M3/00
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)
H03M

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 practicable, 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 6 795 359 B1 (BAKER R JACOB [US]) 21 September 2004 (2004-09-21)	1-5,8-11
Y	column 2, lines 16-17 column 4, lines 48-66 column 5, lines 23-25 column 5, lines 30-52 column 5, lines 56-58 column 5, lines 61-67 column 5, line 67 - column 6, line 4 column 6, lines 9-20 column 6, lines 45-48 column 6, lines 60-67 figures 5A,5B ----- -/--	6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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 application or patent 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

17 February 2014

Date of mailing of the international search report

25/02/2014

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

Rocha, Daniel

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2013/071614

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008/165134 A1 (KRAH CHRISTOPH H [US]) 10 July 2008 (2008-07-10)	1-5,7-11
Y	paragraph [0005] paragraph [0009] paragraphs [0024] - [0032] paragraph [0037] paragraphs [0041] - [0042] figures 3A,4,5 -----	6
Y	GB 2 266 203 A (CRYSTAL SEMICONDUCTOR CORP [US]) 20 October 1993 (1993-10-20) page 3, lines 16-22 page 5, lines 10-24 figure 3 -----	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/071614

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6795359	B1	21-09-2004	AT 419626 T 15-01-2009
		AT 492884 T 15-01-2011	
		CN 1833293 A 13-09-2006	
		EP 1634301 A1 15-03-2006	
		EP 2045817 A1 08-04-2009	
		JP 4278687 B2 17-06-2009	
		JP 2007503680 A 22-02-2007	
		KR 20060024408 A 16-03-2006	
		US 6795359 B1 21-09-2004	
		US 2005002249 A1 06-01-2005	
		WO 2004112049 A1 23-12-2004	
US 2008165134	A1	10-07-2008	TW 200842682 A 01-11-2008
			US 2008165134 A1 10-07-2008
			WO 2008086315 A2 17-07-2008
GB 2266203	A	20-10-1993	DE 4311724 A1 21-10-1993
			GB 2266203 A 20-10-1993
			JP 2960279 B2 06-10-1999
			JP H0621823 A 28-01-1994
			US 5274375 A 28-12-1993

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H03M3/00

ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H03M

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 6 795 359 B1 (BAKER R JACOB [US]) 21. September 2004 (2004-09-21)	1-5,8-11
Y	Spalte 2, Zeilen 16-17 Spalte 4, Zeilen 48-66 Spalte 5, Zeilen 23-25 Spalte 5, Zeilen 30-52 Spalte 5, Zeilen 56-58 Spalte 5, Zeilen 61-67 Spalte 5, Zeile 67 - Spalte 6, Zeile 4 Spalte 6, Zeilen 9-20 Spalte 6, Zeilen 45-48 Spalte 6, Zeilen 60-67 Abbildungen 5A,5B ----- -/-	6



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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

17. Februar 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25/02/2014

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

Rocha, Daniel

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2008/165134 A1 (KRAH CHRISTOPH H [US]) 10. Juli 2008 (2008-07-10)	1-5,7-11
Y	Absatz [0005] Absatz [0009] Absätze [0024] - [0032] Absatz [0037] Absätze [0041] - [0042] Abbildungen 3A,4,5 -----	6
Y	GB 2 266 203 A (CRYSTAL SEMICONDUCTOR CORP [US]) 20. Oktober 1993 (1993-10-20) Seite 3, Zeilen 16-22 Seite 5, Zeilen 10-24 Abbildung 3 -----	6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/071614

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6795359	B1	21-09-2004	AT 419626 T 15-01-2009
		AT 492884 T 15-01-2011	
		CN 1833293 A 13-09-2006	
		EP 1634301 A1 15-03-2006	
		EP 2045817 A1 08-04-2009	
		JP 4278687 B2 17-06-2009	
		JP 2007503680 A 22-02-2007	
		KR 20060024408 A 16-03-2006	
		US 6795359 B1 21-09-2004	
		US 2005002249 A1 06-01-2005	
		WO 2004112049 A1 23-12-2004	
US 2008165134	A1	10-07-2008	TW 200842682 A 01-11-2008
		US 2008165134 A1 10-07-2008	
		WO 2008086315 A2 17-07-2008	
GB 2266203	A	20-10-1993	DE 4311724 A1 21-10-1993
		GB 2266203 A 20-10-1993	
		JP 2960279 B2 06-10-1999	
		JP H0621823 A 28-01-1994	
		US 5274375 A 28-12-1993	