

(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
6. März 2003 (06.03.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/019214 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01R 33/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/08799

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. August 2002 (07.08.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 39 883.2 20. August 2001 (20.08.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): STL SYSTEMTECHNIK LUDWIG GMBH [DE/DE]; Max-Stromeyer-Strasse 116, 78467 Konstanz (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LUDWIG, Christoph [DE/DE]; Kellerweg 11, 78467 Konstanz (DE). LUDWIG, Wolfgang [DE/CH]; Seeblickstrasse 18, CH-8274 Tägerwilen (CH).

(74) Anwälte: BEHRMANN, Niels usw.; Hiebsch Peege Behrmann, Heinrich-Weber-Platz 1, 78224 Singen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 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), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

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.

(54) Title: DEVICE FOR ADJUSTING AN OPERATING POINT OF A MAGNETIC FIELD SENSOR

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUM EINSTELLEN EINES ARBEITSPUNKTES EINES MAGNETFELDENSORS

(57) Abstract: The invention relates to a device for adjusting an operating point of a magnetic field sensor having a periodic characteristic line, especially a device for detecting a magnetic field and/or flux. The inventive device comprises a SQUID as the magnetic field sensor and a control unit mounted downstream of the SQUID and having a control time constant (t) with a feedback loop that acts upon the SQUID. Said feedback loop is adapted to be effective around one operating point among a plurality of operating points associated with the SQUID. Flux quantum pump means are associated with the SQUID and are provided with a signal producing unit that produces a control and/or regulation signal for the SQUID. The flux quantum pump means are designed in such a manner that for pumping at least one flux quantum into or out of the SQUID a signal form of the control or regulation signal produced by the signal producing unit is different and, with respect to an ascending and a descending side of a signal form, is asymmetric, only one side of a signal form at a time being short in relation to the control time constant.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Einstellen eines Arbeitspunktes eines Magnetfeldsensors mit periodischer Kennlinie, insbesondere für eine Vorrichtung zum Erfassen eines magnetischen Feldes und/oder Flusses mit einem SQUID als Magnetfeldsensor und einer dem SQUID nachgeschalteten, eine Regelzeitkonstante (t) aufweisenden Regeleinheit mit einer Rückkopplerschleife, die auf das SQUID wirkt und so ausgebildet ist, dass sie um einen einer Mehrzahl von Arbeitspunkten des SQUID herum wirksam ist, wobei dem SQUID zugeordnete Flussquantenpumpenmittel vorgesehen sind, die eine Signalerzeugungseinheit zum Erzeugen eines Steuer- und/oder Regelsignals für das SQUID aufweisen und so ausgebildet sind, dass zum Hinein- und Herauspumpen mindestens eines Flussquantens in das bzw. aus dem SQUID eine durch die Signalerzeugungseinheit erzeugte Signalform des Steuer- bzw. Regelsignals unterschiedlich sowie, bezogen auf eine ansteigende und eine abfallende Flanke einer Signalform, unsymmetrisch ist, wobei nur jeweils eine der Flanken einer Signalform bezogen auf die Regelzeitkonstante kurz ist.



WO 03/019214 A2

**Vorrichtung zum Einstellen eines Arbeitspunktes eines
Magnetfeldsensors**

5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus der deutschen Offenlegungsschrift 196 06 655 A1 bekannt und weist als wesentliches magnetisches Messelement einen SQUID auf, der
10 mit einer Regelschleife (FLL = Flux Locked Loop, also Flussregelschleife) auf einem fixen Arbeitspunkt gehalten wird.

Die dem zitierten, gattungsbildenden Stand der Technik zugrundeliegende Problematik in der magnetischen
15 Flussmessung mittels SQUID lässt sich anhand des in Fig. 4 schematisch gezeigten Signaldiagramms (Fluss θ als Eingangsgröße, Ausgangssignal U der SQUID-Elektronik) verdeutlichen: Das Ausgangssignal ist mit Abständen eines Flussquants θ_0 periodisch, so dass das Messen und Ausregeln
20 insbesondere von stark schwankenden Messsignalen problematisch ist; wie unmittelbar aus der Fig. 4 erkennbar ist, arbeitet die durch die Regelschleife insbesondere auch in Abbildung 1 der DE 196 06 655 verdeutlichte analoge
25 Flussregelung nur innerhalb eines Eingangssignalebereichs von einem halben Flussquant linear.

Dieses Problem wird durch die zitierte Schrift aus dem Stand der Technik dadurch gelöst, dass die analoge
30 Regelschleife zusätzlich durch eine digitale Regelkomponente ergänzt wird, so dass die Flussquantenzählung der Gesamtanordnung eindeutig ist und keine Flussquanten verloren gehen. Ein Rücksetzen der Flussquanten erfolgt nach diesem Stand der Technik durch
35 Öffnen der analogen Regelschleife bzw. mittels einer sog. Klemmvorrichtung.

Gleichwohl ist im praktischen Betrieb, insbesondere beim Einsatz in ungeschirmten Umgebungen sowie bei schnell wechselnden Messsignalen, der Betrieb einer gattungsgemäßen, hybriden (d. h. analoge und digitale Regelelemente aufweisenden) Technologie nicht unproblematisch: Die systembedingt vorgesehenen kleinen Slewraten werden gerade bei starken magnetischen Störeinflüssen überschritten, und das langsame Rücksetzen der gattungsbildenden Technologie verhindert, dass schnell wechselnden Messsignalen gefolgt werden kann.

Zusätzlich bewirken die schnellen Signaländerungen Regelabweichungen in der eingesetzten Regeleinheit, die Messungenauigkeiten verursachen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine gattungsbildende Vorrichtung zum Einstellen eines Arbeitspunktes im Hinblick auf ihre nutzbare Bandbreite bzw. den nutzbaren Regelbereich dahingehend zu erweitern, dass insbesondere auch über einen mehrere Flussquanten umfassenden Messbereich zuverlässig und verzögerungslos ausgeregelt werden kann. Entsprechend ist eine Vorrichtung zu schaffen, die auch in Umgebungen mit hohen magnetischen Steuereinflüssen bzw. mangelhaften Abschirmbedingungen zuverlässig betrieben werden kann.

Die Aufgabe wird durch die Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie das Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10 gelöst; vorteilhafte Weiterbildungen und Erfindungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

In erfindungsgemäß vorteilhafter Weise sorgen die Flussquantenpumpenmittel dafür, dass, ohne Regeleinflüsse der Regeleinheit befürchten zu müssen, mittels charakteristischer Signalformen durch die Signalerzeugungseinheit Flussquanten in das SQUID hinein- bzw. aus diesem herausgepumpt werden können, wodurch sich

der Regelbereich entsprechend um diese mögliche Mehrzahl von Flussquanten erweitert.

Insbesondere bewirkt die erfindungsgemäß kurze Flanke
5 (Anstieg beim Hineinpumpen, Abfallen beim Herauspumpen),
dass durch die verglichen mit der Regelzeitkonstante der
Regeleinheit kurze Flankendauer die Regelschleife dieser
Signaländerung nicht folgen kann und mithin das
Quantenflusssignal nicht ausregelt; dies führt dann dazu,
10 dass, vgl. Fig. 4, durch das Pumpen ein perioden- bzw.
flussquantenweises Bewegen über die Perioden hinweg und
damit über den $\theta_0/2$ -Regelbereich der traditionellen
Regelschleife hinaus möglich ist.

15 Hierdurch ist die analoge Flussregelung ununterbrochen
möglich, d. h. es treten die aus dem Stand der Technik
bekannten und dort notwendigen Tot- bzw. Verzögerungszeiten
für die digitalen Stell- und Rücksetzmittel nicht auf, so
dass in erfindungsgemäß vorteilhafter Weise die Vorrichtung
20 gemäß der vorliegenden Erfindung auch in der Lage ist,
problemlos schnellen Signaländerungen eines zu messenden
Eingangssignals zu folgen und darüber hinaus auch erheblich
höhere Slewraten ermöglicht.

25 Insbesondere beim Herauspumpen erübrigt sich damit das aus
der DE 196 06 655 bekannte Zurücksetzen durch Öffnen der
Regelschleife; vielmehr wird insbesondere dann, wenn die
durch die Flussquantenpumpenmittel bzw. die zugeordnete
Signalerzeugungseinheit erzeugte Amplitude des Flusspulses
30 größer als ein Flussquant wird, entsprechend ein Flussquant
herausgepumpt (bzw. hineingepumpt). Totzeiten werden
vermieden.

Dabei hat es sich als besonders bevorzugt herausgestellt,
35 die erfindungsgemäß unsymmetrischen Signalformen zum
Bewirken des Hinein- bzw. Herauspumpens dreieckförmig
auszubilden, wobei entweder eine (jeweils im Vergleich zur
Regelzeitkonstante) kurze Anstiegsflanke einer langen

Abfallsflanke gegenübersteht, oder, im Fall des Herauspumpens, auf eine langsame Anstiegsflanke eine kurze Abfallsflanke folgt.

5 In der bevorzugten konstruktiven Realisierung ist dabei die erfindungsgemäße Signalerzeugungseinheit, die ansonsten in bekannter Weise die erfindungsgemäßen Signal- bzw. Impulsformen erzeugt, in die Flussregelschleife eingekoppelt, und zwar wirkt insbesondere das
10 erfindungsgemäß erzeugte Regel- bzw. Steuersignal auf die ohnehin der Flussregelschleife zugeordneten Spannungs- Fluss-Wandlernmittel, die typischerweise als Spule realisiert sind und aus einem Strom- bzw. Spannungssignal dann das gewünschte Flusssignal für SQUID erzeugen. Im
15 Ergebnis entsteht so eine geschlossene Regelschleife, die insbesondere die Nachteile der aus dem gattungsbildenden Stand der Technik beschriebenen hybriden, dabei jedoch nicht völlig geschlossenen Regelschleife überwindet und insbesondere, wie im Stand der Technik notwendig, kein
20 Öffnen od. dgl. Maßnahmen einer Regelschleife für ein Rücksetzen aus den oben beschriebenen Gründen notwendig macht.

In der praktischen Realisierung hat es sich zudem als
25 bevorzugt herausgestellt, den weiterbildungsgemäß vorgesehenen PID-Regler mit einem typischen Differenz- bzw. Regelverstärker auszubilden, welcher ohnehin in bekannter Weise zur Generierung des Mess- bzw. Nutzsignals verwendet wird; in weiterbildungsgemäß vorteilhafter Weise ist ein so
30 gebildeter Integrator auch für höhere als die erste Ordnung ausgebildet. Dies führt dann auch dazu, dass die -- durch schnelle Signaländerungen bewirkten -- Ungenauigkeiten im Messverhalten vermindert werden können und zudem größere Flussänderungsgeschwindigkeiten erfassbar sind.

35

Für den Einsatz im Rahmen der vorliegenden Erfindung eignen sich mehrere gängige SQUID-Vorrichtungen, so etwa die

ansonsten bekannten rf-SQUIDS oder dc-SQUIDS, mit zwei oder mehreren Josephson-Kontakten.

Insbesondere liegt es auch im Rahmen der vorliegenden
5 Erfindung, die erfindungsgemäße Signalform zum Hinein- oder
Herauspumpen so auszubilden, dass mit einem Signalimpuls
mehr als ein Flussquant gepumpt wird; dies geschieht
bevorzugt durch entsprechende Ausbildung der Amplitude des
Signals.

10

Es liegt auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung, der
erfindungsgemäßen Regeleinheit neben analogen auch digitale
Regelmittel zuzuordnen, so dass auch im Rahmen der
vorliegenden Erfindung eine hybride Flussregelschleife
15 gebildet werden kann. Im Unterschied zum Stand der Technik
sind jedoch die erfindungsgemäß vorgesehenen
Flussquantenpumpenmittel unmittelbar Bestandteil der
hybriden Flussregelschleife und ermöglichen damit einen
unabhängigen und insbesondere auch verzögerungsfreien
20 Betrieb der analogen und digitalen Regelmittel.

Im Ergebnis entsteht so eine gegenüber dem Stand der
Technik deutlich verbesserte Anordnung mit Stellglied, die
insbesondere in Messumgebungen mit ungünstiger Abschirmung
25 oder bei sehr schnellen und starken Signaländerungen des
Messsignals noch einen zuverlässigen und störungsfreien
Messbetrieb ermöglicht. Dabei lässt sich die vorliegende
Erfindung überraschend einfach mit konstruktiv geringem
Aufwand realisieren.

30

Weiter Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen; diese zeigen in:

5

Fig. 1: ein schematisches Blockschaltbild der vorliegenden Erfindung gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform;

10

Fig. 2: ein Signaldiagramm einer von der Signalerzeugungseinheit in Fig. 1 erzeugten unsymmetrischen Signalform zum Hineinpumpen eines Flussquants in das Gerät;

15

Fig. 3: ein Signaldiagramm analog Fig. 2 zum Herauspumpen eines Flussquants aus dem SQUID und

20

Fig. 4: ein allgemeines Signaldiagramm, welches den Zusammenhang zwischen magnetischem Fluss als Eingangs- bzw. Messsignal eines SQUID und dem mit einem Flussquant θ_0 periodischen Ausgangsspannungssignal U verdeutlicht.

25

Die Fig. 1 verdeutlicht schematisch Aufbau und Funktionsweise der vorliegenden Erfindung: Eine schematisch von der Grenzlinie 10 begrenzte Regeleinheit weist in ansonsten bekannter Weise einen einem SQUID 18 zugeordneten Regel- bzw. Differenzverstärker 12 auf, der als Reaktion auf eine Signaldifferenz am SQUID ein Rückkoppelsignal erzeugt und über einen Koppelwiderstand eine Rückkoppelpule 16 zuleitet, welche dann, mit einer der Regeleinheit inhärenten Regelzeitkonstante t , ein Ausregeln der detektierten Signaländerung durch Erzeugen eines entsprechenden Kompensationsflusses ermöglicht. Insoweit entspricht die gezeigte Anordnung der in Fig. 1 der DE 196 06 655 A1 gezeigten Regelkreisanordnung, wobei im Hinblick auf weitere Details zur praktischen Realisierung hierauf

35

Bezug genommen wird und ansonsten dem Fachmann eine praktische Umsetzung ohne weiteres möglich ist.

In erfindungsgemäßer Weise ist nunmehr dem Regelkreis
5 zusätzlich eine Signalerzeugungseinheit 20 als
Flussquantenpumpe zugeordnet, welche, wiederum einen
schematisch gezeigten Koppelwiderstand, die Rückkoppelspule
16 mit einem Flussquantenpumpsignal bzw. einem Pumpimpuls
10 versieht, der erfindungsgemäß zum Hinein- bzw. Hinauspumpen
eines Flussquants in das bzw. aus dem SQUID 18 gebildet ist
und durch seine charakteristische Signalform, wie
nachfolgend zu erläutern sein wird, durch den Regelkreis
unbeeinflusst bleibt.

15 Genauer gesagt besitzt die durch die
Signalerzeugungseinheit 20 erzeugte Signalform für einen
ein Hineinpumpen eines (oder mehrerer) Flussquant(en) eine
unsymmetrische Kontur im Fluss-Zeitdiagramm der Fig. 2, und
zwar dergestalt, dass die Anstiegszeit t_1 der ansteigenden
20 Flanke im Pumpsignal kurz ist bezogen auf die
Regelzeitkonstante des Regelkreises 10; dagegen ist die
Dauer der abfallenden Flanke t_2 des Pumpsignals der Fig. 2
lang gegenüber der Regelzeitkonstante t . Dies bedeutet,
dass durch das Anlegen eines Signals der in Fig. 2
25 gezeigten Impulsform an die Rückkoppelspule 16 der
Regelkreis 10 dem steilen Flankenanstieg t_1 der
ansteigenden Flanke nicht folgen kann, mithin also der
Regelkreis den zusätzlichen, durch das Steuersignal
bewirkten Flussanstieg nicht ausregeln kann; dies führt
30 dann dazu, dass im Signalschaubild der Fig. 4 das Signal um
einen Flussquant nach rechts springt und insoweit die
zusätzlich die Flussquantenpumpe aufweisende Regeleinheit
dem Signal auch über die bisherige Signalbreite von
lediglich einem halben Flussquant hinaus folgen kann. Die
35 in Fig. 2 gezeigte, abfallende Flanke wird hingegen
wiederum vom Regelkreis innerhalb der Regelzeitkonstante
ausgeregelt, so dass das SQUID auf dem erhöhten
Quantenflussniveau verbleibt.

In der Praxis lassen sich so schnelle Anstiegszeiten im Bereich von ca. 10 ns realisieren, wobei die Abfallszeiten typischerweise um einen Faktor 2 größer liegt. Um auch in diesen Bereichen saubere Signalformen zu erhalten und zu
5 übertragen, sind weiter erfindungsgemäß bevorzugt hochfrequenzmäßig angepasste Leitungen vorgesehen.

Die Fig. 3 beschreibt den zu Fig. 1 analogen bzw. umgekehrten Fall und damit ein Herauspumpen eines
10 Flussquants aus dem SQUID: Die mit einer langsamen Anstiegszeit t_3 gesteuerte Anstiegsflanke wird durch den Regelkreis ausgeregelt, die mit t_4 kurze abfallende Flanke ist jedoch zu kurz für eine Reaktion des Regelkreises mit Regelkreis-konstante t , so dass ein Flussquant aus dem SQUID
15 abgepumpt wird.

Durch diese beiden Modi ist insbesondere auch die Möglichkeit geschaffen, in einfacher und vor allem unterbrechungsfreier Weise ein vorbestimmtes Einstellen des
20 SQUIDS auf einen Arbeitspunkt der periodischen Kennlinie zu erreichen, was traditionell, vgl. den gattungsbildenden Stand der Technik, lediglich durch ein Öffnen der analogen Regelschleife mit den dadurch bewirkten Zeitnachteilen geschehen konnte. In ansonsten bekannter Weise liefert eine
25 analoge Regeleinheit die zum Stellen benötigte Information.

Während das beschriebene Ausführungsbeispiel zunächst durch die erfindungsgemäße Flussquantenpumpe das Bewegen um jeweils einzelne Flussquantenschritte beschreibt, ist die
30 vorliegende Erfindung nicht auf das Hinein- bzw. Herauspumpen von einzelnen Flussquanten beschränkt, sondern insbesondere durch geeignete (Amplituden) Ausbildung der Steuersignale analog Fig. 2, Fig. 3 ist das gleichzeitige Pumpen einer Mehrzahl von Flussquanten in beide Richtungen
35 möglich.

PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zum Einstellen eines Arbeitspunktes eines
5 Magnetfeldsensors mit periodischer Kennlinie,
insbesondere für eine Vorrichtung zum Erfassen eines
magnetischen Feldes und/oder Flusses mit
einem SQUID (18) als Magnetfeldsensor und
einer dem SQUID nachgeschalteten, eine
10 Regelzeitkonstante (t) aufweisenden Regeleinheit (10)
mit einer Rückkoppelschleife, die auf das SQUID wirkt
und so ausgebildet ist, dass sie um einen einer
Mehrzahl von Arbeitspunkte des SQUID herum wirksam
ist,
15 gekennzeichnet durch
dem SQUID zugeordnete Flussquantenpumpenmittel
(20,22), die eine Signalerzeugungseinheit (20) zum
Erzeugen eines Steuer- und/oder Regelsignals für das
SQUID aufweisen und so ausgebildet sind, dass zum
20 Hinein- und Herauspumpen mindestens eines
Flussquanten in das bzw. aus dem SQUID eine durch die
Signalerzeugungseinheit erzeugte Signalform des
Steuer- bzw. Regelsignals unterschiedlich sowie,
bezogen auf eine ansteigende und eine abfallende
25 Flanke einer Signalform, unsymmetrisch ist,
wobei nur jeweils eine der Flanken einer Signalform
bezogen auf die Regelzeitkonstante kurz ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
30 dass die Signalerzeugungseinheit (20) so ausgebildet
ist, dass zum Hineinpumpen des mindestens einen
Flussquanten die Signalform eine ansteigende Flanke
mit einer gegenüber der Regelzeitkonstante (t) kurzen
Anstiegszeit (t_1) sowie eine abfallende Flanke mit
35 einer gegenüber der Regelzeitkonstante langen
Abfallszeit (t_2) aufweist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalerzeugungseinheit (20) so ausgebildet ist, dass zum Herauspumpen des mindestens einen Flussquants die Signalform eine ansteigende Flanke mit einer gegenüber der Regelzeitkonstante langen Anstiegszeit (t_3) sowie eine abfallende Flanke mit einer gegenüber der Regelzeitkonstante kurzen Abfallszeit (t_4) aufweist.
- 5
- 10 4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Signalerzeugungseinheit (20) Spannungs-Fluss-Wandlermittel, insbesondere Spulenmittel (16), für das SQUID (18) nachgeschaltet sind, wobei bevorzugt die Spannungs-Fluss-Wandlermittel auch der Regeleinheit (10) nachgeschaltet sind bzw. als Teil der Rückkopplungsschleife wirken.
- 15
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Flussquantenpumpenmittel mit der Signalerzeugungseinheit (20) sowie die Regeleinheit (10) eine geschlossene Regelschleife bilden.
- 20
- 25 6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinheit (10) einen insbesondere als PI^N - oder $PI^N D$ -Regler, wobei $N \geq 1$, wirkenden Reglerverstärker (12) aufweist, der bevorzugt zum Verarbeiten auch von Integratoren höherer als erster Ordnung ausgebildet ist.
- 30
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das SQUID (18) ein rf-SQUID und/oder einen dc-SQUID aufweist, der mehr als zwei Josephson-Kontakte aufweist.
- 35
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalerzeugungseinheit (20)

so ausgebildet ist, dass die Signalform so erzeug- und ausbildbar ist, dass mehr als ein Flussquant in das SQUID hinein- oder aus dem SQUID herausgepumpt wird.

5

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung analoge und digitale Regelmittel zum Ausbilden einer hybriden Flussregelschleife über den Gesamtbereich der Kennlinie des SQUID aufweist, wobei die Flussquantenpumpenmittel als Bestandteil der hybriden Flussregelschleife so eingerichtet sind, dass sie einen unabhängigen Betrieb der analogen und digitalen Regelmittel erlauben.

15

10. Verfahren zum Hinein- und Herauspumpen mindestens eines Flussquants in ein bzw. aus einem mit einer Regelschleife beschalteten SQUID (18), wobei die Regelschleife eine Regelzeitkonstante (t) aufweist und so auf das SQUID wirkt und ausgebildet ist, dass sie um einen Arbeitspunkt des SQUID herum wirksam ist,

20

gekennzeichnet durch die Schritte:

- Erzeugen eines Steuer- und/oder Regelsignals für das Hineinpumpen mit einer ersten Signalform, die eine gegenüber der Regelzeitkonstante kurze ansteigende Flanke aufweist und
- Erzeugen eines Steuer- und/oder Regelsignals für das Herauspumpen mit einer zweiten Signalform, die eine gegenüber der Regelzeitkonstante kurze abfallende Flanke aufweist.

25

30

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Erzeugen des Steuer- und/oder Regelsignals das Einleiten eines Stromsignals in eine Rückkoppelspule (16), die bevorzugt Teil der Regelschleife ist, aufweist.

35

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Regelbereich der Regelschleife durch das Steuer- und/oder Regelsignal so eingestellt wird, dass ein analoger Regelbereich über eine Mehrzahl von Flussquanten ermöglicht wird.

L224WP2

1/2

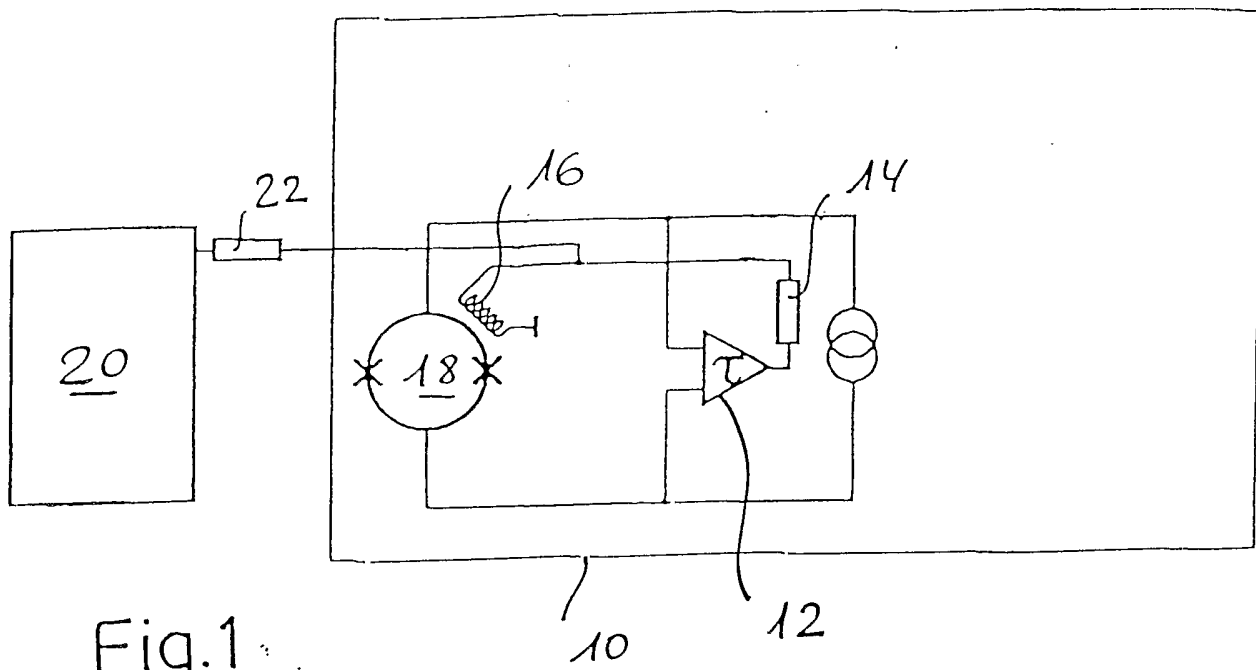


Fig.1

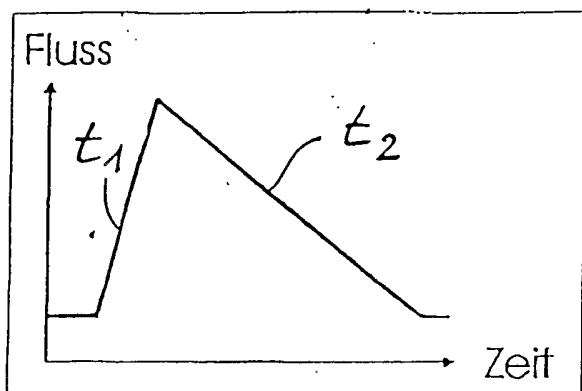


Fig.2

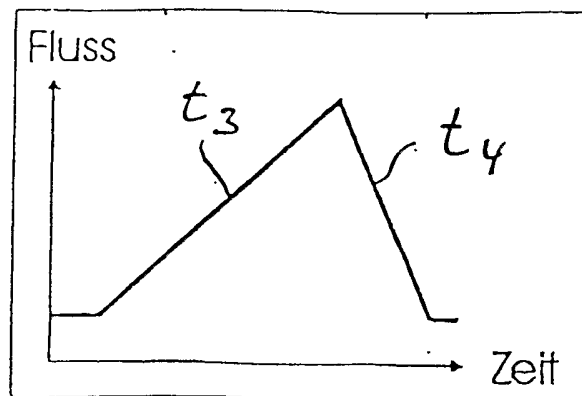


Fig.3

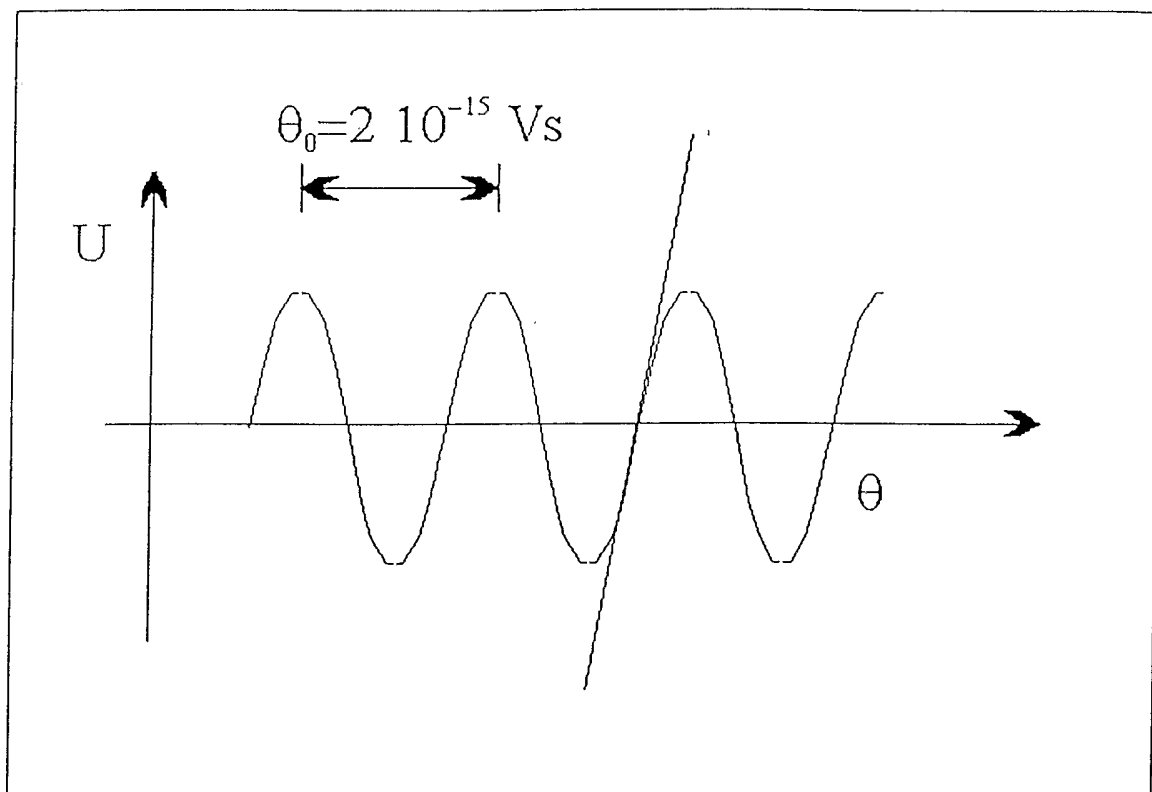


Fig.4