



(10) **DE 10 2007 040 399 B4** 2012.05.03

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 040 399.4**
(22) Anmeldetag: **27.08.2007**
(43) Offenlegungstag: **05.03.2009**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **03.05.2012**

(51) Int Cl.: **G01R 21/06** (2006.01)
G01R 17/00 (2006.01)
H01L 29/82 (2006.01)
G01R 15/20 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333, München, DE

(72) Erfinder:
Weiß, Roland, Dr., 91058, Erlangen, DE

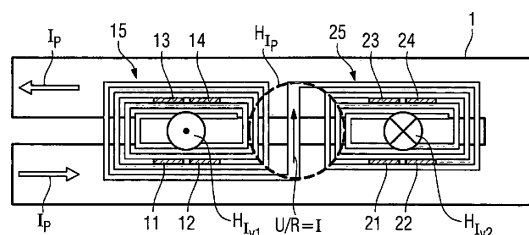
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	31 02 998	A1
DD	1 55 220	A1
US	7 259 545	B2
WO	98/ 14 759	A2

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur galvanisch getrennten Messung der elektrischen Leistungsaufnahme eines Zweipols**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur galvanisch getrennten Messung der elektrischen Leistungsaufnahme eines Zweipols (30) aus der Erfassung von Strom und Spannung in einem Stromkreis, mit in-plane empfindlichen XMR-Sensoren (11 bis 14, 21 bis 24), die zu zwei Wheatstone-Brücken (10, 20) verschaltet sind, dadurch gekennzeichnet, dass

- jede der Wheatstone-Brücken (10, 20) über einer U-förmig verlaufenden Leiterschleife (1) mit Hin- und Rückleitung angeordnet ist, wobei die Leiterschleife (1) so ausgelegt ist, dass sich bei Stromfluss des Primärstroms (I_p) im Bereich der zwei Wheatstone-Brücken (10, 20) ein Gradienten-/Differenzfeld ergibt,
- zwei Flachspulen (15, 25) zur Spannungsmessung vorhanden sind, die im Bereich der zwei Wheatstone-Brücken (10, 20) und gegenläufig zueinander angeordnet sind,
- die Wheatstone-Brücken derart angeordnet sind, dass die zwei Wheatstone-Brücken durch das Gradienten-/Differenzfeld eine maximale Verstimmung erfahren.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur galvanisch getrennten Messung der elektrischen Leistungsaufnahme eines Zweipols aus der galvanisch getrennten Erfassung von Strom und Spannung in einem Stromkreis.

[0002] MR-Sensoren, insbesondere GMR Sensoren, stellen in der magnetfeldbasierten Positions-, Geschwindigkeits-, Drehzahl-, Feld- oder auch Stromsensorik eine Alternative zu Hallsensoren dar. Vor allem im Bereich der Positions- und Stromsensorik sind während der letzten Jahre verstärkt MR-basierte Sensoren in den Markt eingeführt worden. Die Hauptvorteile – im Vergleich zu Hall-Sensoren – liegen im einfacheren Systemaufbau, der größeren Störsicherheit, bedingt durch die Möglichkeit eines Designs mit stark reduzierter Fremdfeldempfindlichkeit, und dem geringeren Rauschen.

[0003] Es bieten sich bei MR-basierten Sensoren vor allem vollintegrierte Lösungen an, da die MR-Elemente als „back-end“-Prozess im Rahmen eines CMOS-Prozesses aufgebracht werden können und damit keine zusätzliche Chipfläche beanspruchen.

[0004] Für viele Anwendungen, vor allem in der Positions-, Drehzahl- und Stromsensorik, werden jeweils vier MR-Elemente zu einer sog. Wheatstone-Brücke verschaltet um eine genauere, von Temperaturschwankungen, Fremdfeldern usw. unabhängige Messung zu erreichen. Vor allem um den Einfluss von Fremdfeldern zu unterdrücken wird über eine Stromschleife ein Differenzfeld erzeugt, wobei die Brückenelemente so positioniert werden, dass die Ausgangsspannung stark von dem durch die Stromschleife erzeugten Differenzfeld jedoch nicht von eventuell auftretenden homogenen Störfeldern beeinflusst wird.

[0005] Neben der reinen galvanisch getrennten Stromerfassung, die eine solche Anordnung ermöglicht, ist aber insbesondere eine kompakte, störsichere und kostengünstige galvanisch getrennte Messung der elektrischen Leistung von Interesse.

[0006] Aus der gattungsbildenden Druckschrift DE 31 02 998 A1 ist eine Vorrichtung zur galvanisch getrennten Messung der elektrischen Leistungsaufnahme in einem Stromkreis unter Verwendung von zu einer Brücke verschalteten XMR-Sensoren bekannt. Die Druckschrift US 7,259,545 B2 offenbart einen integrierten Sensor mit einem magnetoresistiven Element.

[0007] Zur galvanisch getrennten Erfassung der elektrischen Momentanleistung ist zusätzlich zur Strom-Istwert-Erfassung auch eine Spannungs-Istwert-Messung notwendig. Die galvanisch getrennte Erfassung von elektrischen Potentialdifferenzen bzw. Spannungen erfolgt in kommerziellen Systemen im Allgemeinen über einen Vorwiderstand und einem galvanisch getrennten Stromsensor. Zum Teil werden auch Systeme, die im Versorgungspfad, z. B. mittels Batterie, und im Signalpfad, z. B. Optokoppler oder Magnetokoppler, entkoppelt, also galvanisch getrennt sind, eingesetzt und die ansonsten Strom und Spannung konventionell messen, beispielsweise den Strom über einen Shuntwiderstand und die Spannung über einen Spannungsteiler. Der Systemaufbau dieser Leistungsmesser ist vergleichsweise aufwendig und teuer.

[0008] Davon ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zu schaffen, die einfach aufgebaut und zur galvanisch getrennten Erfassung der elektrischen Momentanleistung geeignet ist.

[0009] Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die Gesamtheit der gegenständlichen Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0010] Gegenstand der Erfindung ist eine Anordnung von MR-Sensoren (AMR-, GMR-, TMR-, OMR-Sensoren), die allgemein als XMR-Sensoren bezeichnet werden, vorzugsweise GMR-Sensoren, die zu mindestens zwei Wheatstone-Brücken verschaltet sind. Die Anordnung der MR-Sensoren befindet sich dabei über einer Leiterschleife mit Hin- und Rückleitung (sog. U-Turn), wobei mit einer solchen Anordnung sowohl der elektrische Strom als auch die elektrische Spannung eines elektrischen Zweipols (Eintors) erfasst werden kann. Dabei wird berücksichtigt, dass sich bei Anlegen einer Spannung durch Bestromung mittels von zwei Spulen, die gegenläufig zueinander angeordnet sind, im Bereich der beiden Wheatstonebrücken mindestens ein Gradientenfeld ergibt, das dem zu messenden Strom gleich und mindestens eines das dem zu messenden Strom entgegengesetzt gerichtet ist.

[0011] Bei der Erfindung befinden sich bei Stromfluss beide Wheatstone-Brücken im Magnetfeld der Leiterschleife, die so ausgelegt ist, dass sich ein Gradienten-/Differenzfeld ergibt. Die Wheatstone-Brücken sind so

angeordnet, dass sie durch das Differenzfeld des Primärstromes eine maximale Verstimmung erfahren. Beide Wheatstone-Brücken befinden sich in Bereichen, die einen vergleichbaren Magnetfeldverlauf des durch den Primärstrom hervorgerufenen Magnetfeldes aufweisen. Die Spannungsmessung erfolgt über einen Parallelwiderstand parallel zum Zweitor, der den Strom I_V erzeugt.

[0012] Bei der Erfindung führt der Strom I_V in einer zusätzlichen Spulenanordnung, vorteilhafterweise in den Flachspulen, zu zwei Gradienten-/Differenzfeldern, die zueinander entgegengesetzt gerichtet sind. Die Überlagerung der Differenzfelder des Primärstromes I_P und des Stroms I_V wird von den beiden Brücken in zwei Signale umgewandelt, aus welchen wiederum I_P und I_V berechnet werden können.

[0013] Die Spannungsmessung erfolgt über einen Vorwiderstand von geeigneter Größe, insbesondere von einigen $k\Omega$. Der durch den Vorwiderstand fließende Strom erzeugt mittels der mindestens zwei Flachspulen mindestens zwei unterschiedliche Gradienten-/Differenzfelder, die im Allgemeinen entgegen gesetzt gerichtet sind.

[0014] Bei der Erfindung besitzen die Flachspulen vorzugsweise mehrere Lagen, um bei möglichst kleinem Strom I_V ein Gradienten-/Differenzfeld welches dem Betrage nach bei Nennbetrieb etwa dem des Primärstromes I_P entspricht, zu erzeugen. Im Bereich der ersten Wheatstone-Brücke addieren sich die beiden Gradienten-/Differenzfelder, d. h. das Gradienten-/Differenzfeld der Strommessung vom Primärstrom und das Gradienten-/Differenzfeld der Spannungsmessung, d. h. der Strom über einen Vorwiderstand und die Flachspule. Im Bereich der zweiten Wheatstone-Brücke subtrahieren sich die beiden Gradienten-/Differenzfelder, d. h. das Gradienten-/Differenzfeld des Primärstromes I_P und das Gradienten-/Differenzfeld der Spannungsmessung. Damit ist die vorteilhafterweise galvanisch getrennte Bestimmung der elektrischen Leistung möglich.

[0015] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit den Patentansprüchen.

[0016] Es zeigen

[0017] [Fig. 1](#) eine Draufsicht auf die neue Anordnung mit den wesentlichen Strukturen,

[0018] [Fig. 2](#) eine Seitenansicht bzw. ein Schnitt der Anordnung gemäß [Fig. 1](#) und

[0019] [Fig. 3](#) ein elektrisches Blockschaltbild für die Anordnung gemäß den [Fig. 1/Fig. 2](#).

[0020] Gleiche Elemente haben in den Figuren gleiche bzw. sich entsprechende Bezugszeichen. Insbesondere die [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) werden gemeinsam beschrieben.

[0021] In den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) bedeutet **1** eine Leiterbahn, durch die ein Primärstrom I_P geschickt wird. Wesentlich ist dabei, dass die Leiterbahn U-förmig verläuft (so genannter U-Turn.)

[0022] Auf der Leiterbahn **1** ist in der Schnittdarstellung eine Isolationsschicht **2** erkennbar, auf der in eine weitere Isolationsschicht **3** eingebettet zwei Brückenschaltungen **10** und **20** nach Art einer Wheatstone-Brücke mit jeweils vier XMR-Elementen **11** bis **14** bzw. **21** bis **24** eingebracht sind. Die Elemente für die Brückenschaltungen **10** und **20** sind Dünnschichtelemente und können im Rahmen eines so genannten Back-End-Prozesses nachfolgend zu einem CMOS-Prozess, mit dem die Auswerteschaltung realisiert wird, auf das gleiche Substrat aufgebracht werden.

[0023] Die beiden Wheatstone-Brücken **10** und **20** weisen als XMR-Elemente **11** bis **14** und **21** bis **24** vorteilhafterweise GMR(Giant Magnetic Resistive)-Sensoren auf. Auch andere Sensoren wie beispielsweise die vom Stand der Technik bekannten AMR-, TMR-Sensoren sind einsetzbar.

[0024] Auf den Sensoren **11** bis **14** und **21** bis **24** befinden sich jeweils eine Flachspule **15** bzw. **25** zur Spannungsmessung. Die Flachspulen können vorteilhafterweise mehrlagig aufgebaut sein.

[0025] Derartige Aufbauten mit Brückenschaltungen von XMR-Elementen sind vom Stand der Technik bekannt. Wesentlich ist im vorliegenden Zusammenhang, dass mit den Flachspulen **15**, **25** eine Spannungsmessung erfolgen kann, wobei die Anordnung so gewählt ist, dass eine gegenseitige Störung der magnetischen Felder für Strom und Spannungsmessung vermieden wird.

[0026] In den Brücken **10** und **20** gelten für die darin erzeugten Brückenspannungen nachfolgende Gleichungen (1) und (2):

$$U_{B1} = F_1 \left(g_1 \cdot I_P + a_1 \cdot \frac{U}{R} \right) \approx \overline{g_1} \cdot I_P + \overline{a_1} \cdot \frac{U}{R} \quad (1)$$

$$U_{B2} = F_2 \left(g_2 \cdot I_P - a_2 \cdot \frac{U}{R} \right) \approx \overline{g_2} \cdot I_P - \overline{a_2} \cdot \frac{U}{R} \quad (2)$$

wobei die Symbole folgende Bedeutung haben:

U_{B1} :	Brückenspannung der ersten Brücke
U_{B2} :	Brückenspannung der zweiten Brücke
R :	Vorwiderstand
I_P :	Strom (Primärstrom)
U :	Spannung
F_2 :	normierte Übertragungsfunktionen der Brücke
a_1, a_2, g_1, g_2 :	Skalierungsfaktoren

[0027] Aus den Brückensignalen kann nach einer geeigneten Filterung und einer Analog/Digitalwandlung sowohl der Strom als auch die Spannung wieder berechnet werden. Es gilt:

$$(g_1 + g_2) \cdot I_P = F_1^{-1}(U_{B1}) + F_2^{-1}(U_{B2}) \quad (3a)$$

$$(a_1 + a_2) \frac{U}{R} = F_1^{-1}(U_{B1}) - F_2^{-1}(U_{B2}) \quad (3b)$$

$$\frac{(g_1 + g_2)}{(a_1 + a_2)} \approx 100 \dots 4000 \quad (3c),$$

[0028] In der [Fig. 3](#) bedeuten **30** einen aktiven oder einen passiven Zweipol, der auch als Eintor bezeichnet wird. Es ist ersichtlich, dass in dem in [Fig. 3](#) dargestellten Netzwerk die Spannung mit einer Einheit **31** und der Strom über einen Vorwiderstand **32** in einer Einheit **33** erfasst werden können, wobei eine galvanische Trennung vorliegt.

[0029] Aus den erfassten Werten für Strom I_P und Spannung U kann der momentane Wert der Leistung durch einfache Multiplikation der digitalisierten Werte berechnet werden. Über eine einfache Integration bzw. Summenbildung kann dann dieser Wert in üblicher Weise zu einem zeitlichen Mittelwert – wie beispielsweise für stationäre Signale üblich – weiter verarbeitet werden. Es gilt Gleichung (4):

$$\overline{P} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} P dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} U \cdot I dt \quad (4)$$

mit \overline{P} : mittlere Leistung

P : Momentanleistung

T : Periodendauer

t_0 : Startzeitpunkt

[0030] Es ist somit eine Messvorrichtung zur Echtzeit-Erfassung der elektrischen Leistung gegeben. Der wesentliche Vorteil gegenüber dem Stand der Technik besteht darin, dass durch ein einziges System in direkter räumlicher Benachbarung (Nachbarschaft) sowohl Spannung als auch Strom galvanisch getrennt erfasst werden kann. Der Aufbau der beiden Brücken erfolgt in der gleichen Technologie, die im Fall der GMR-Technologie erwiesenermaßen als „back end“-Prozess für einen CMOS-Prozess geeignet ist. Damit kann das gesamte Messsystem zusammen mit der Signalverarbeitung auf einem Substrat realisiert werden.

[0031] Durch die gezielte Überlagerung der magnetischen Felder kann vorteilhafterweise ein gegenseitiges Stören von eng benachbarter Strom und Spannungsmessung vermieden werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur galvanisch getrennten Messung der elektrischen Leistungsaufnahme eines Zweipols (**30**) aus der Erfassung von Strom und Spannung in einem Stromkreis, mit in-plane empfindlichen XMR-Sensoren (**11 bis 14, 21 bis 24**), die zu zwei Wheatstone-Brücken (**10, 20**) verschaltet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- jede der Wheatstone-Brücken (**10, 20**) über einer U-förmig verlaufenden Leiterschleife (**1**) mit Hin- und Rückleitung angeordnet ist, wobei die Leiterschleife (**1**) so ausgelegt ist, dass sich bei Stromfluss des Primärstroms (I_p) im Bereich der zwei Wheatstone-Brücken (**10, 20**) ein Gradienten-/Differenzfeld ergibt,
 - zwei Flachspulen (**15, 25**) zur Spannungsmessung vorhanden sind, die im Bereich der zwei Wheatstone-Brücken (**10, 20**) und gegenläufig zueinander angeordnet sind,
 - die Wheatstone-Brücken derart angeordnet sind, dass die zwei Wheatstone-Brücken durch das Gradienten-/Differenzfeld eine maximale Verstimmung erfahren.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass beide Wheatstone-Brücken (**10, 20**) sich in Bereichen befinden, die einen vergleichbaren Magnetfeldverlauf des durch den Primärstrom hervorgerufenen Magnetfeldes aufweisen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die XMR-Sensoren (**11 bis 14, 21 bis 24**) AMR-, GMR-, TMR- oder OMR-Sensoren, insbesondere GMR-Sensoren, sind.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Spannungsmessung ein Vorwiderstand (**32**) von einigen $k\Omega$ vorhanden ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass dem Vorwiderstand (**32**) die zwei Flachspulen (**15, 25**) zugeordnet sind, die bei Bestromung zwei unterschiedliche Gradienten-/Differenzfelder erzeugen.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Gradienten-/Differenzfelder entgegengesetzt gerichtet sind.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Flachspulen (**15, 25**) mehrere Lagen aufweisen und bei kleinem Strom (I_V) das Gradienten-/Differenzfeld jeweils dem Betrage nach bei Nennbetrieb im Wesentlichen dem Feld des Primärstromes (I_p) entspricht, erzeugen.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass für die Brückenspannungen gilt:

$$U_{B1} = F_1 \left(g_1 \cdot I_p + a_1 \cdot \frac{U}{R} \right) \approx \overline{g}_1 \cdot I_p + \overline{a}_1 \cdot \frac{U}{R} \quad (1)$$

$$U_{B2} = F_2 \left(g_2 \cdot I_p - a_2 \cdot \frac{U}{R} \right) \approx \overline{g}_2 \cdot I_p - \overline{a}_2 \cdot \frac{U}{R} \quad (2)$$

wobei die Symbole folgende Bedeutung haben:

U_{B1} : Brückenspannung der ersten Brücke (**10**),

U_{B2} : Brückenspannung der zweiten Brücke (**20**),

R : Vorwiderstand (**32**)

I_p : Primärstrom

U : Spannung

$F_{1,2}$: normierte Übertragungsfunktion der jeweiligen Brücke

a_1, a_2, g_1, g_2 : Skalierungsfaktoren.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Brückensignalen nach Filterung und A/D-Wandlung Strom und Spannung gemäß folgender Vorschrift berechenbar sind:

$$(g_1 + g_2) \cdot I_p = F_1^{-1}(U_{B1}) + F_2^{-1}(U_{B2}) \quad (3a)$$

$$(a_1 + a_2) \frac{U}{R} = F_1^{-1}(U_{B1}) - F_2^{-1}(U_{B2}) \quad (3b)$$

$$\frac{(g_1 + g_2)}{(a_1 + a_2)} \approx 100 \dots 4000 \quad (3c),$$

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass für die mittlere Leistung gilt:

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} P dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} U \cdot I dt \quad (4)$$

mit \bar{P} : mittlere Leistung

P: Momentanleistung

T: Periodendauer

t_0 : Startzeitpunkt

I: Primärstrom

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

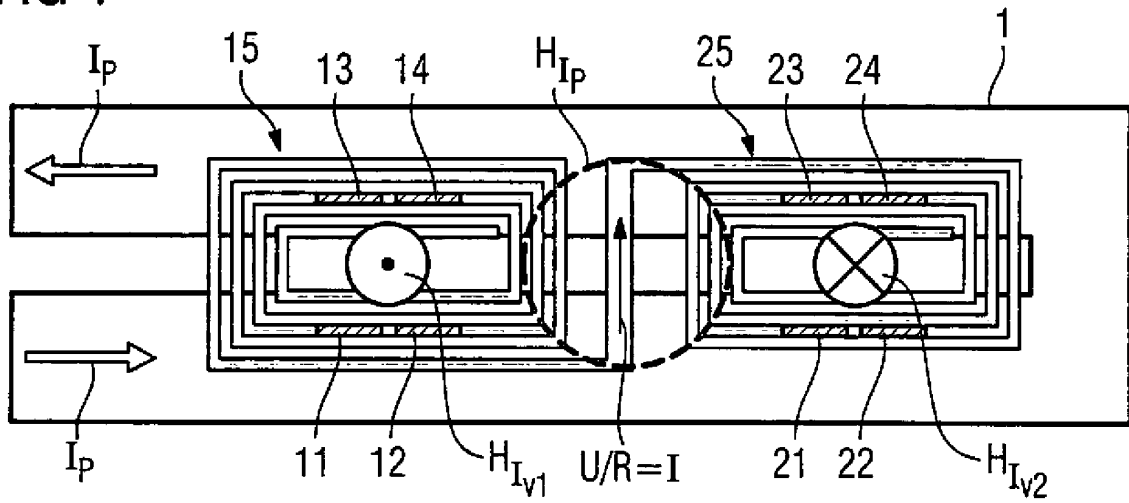


FIG 2

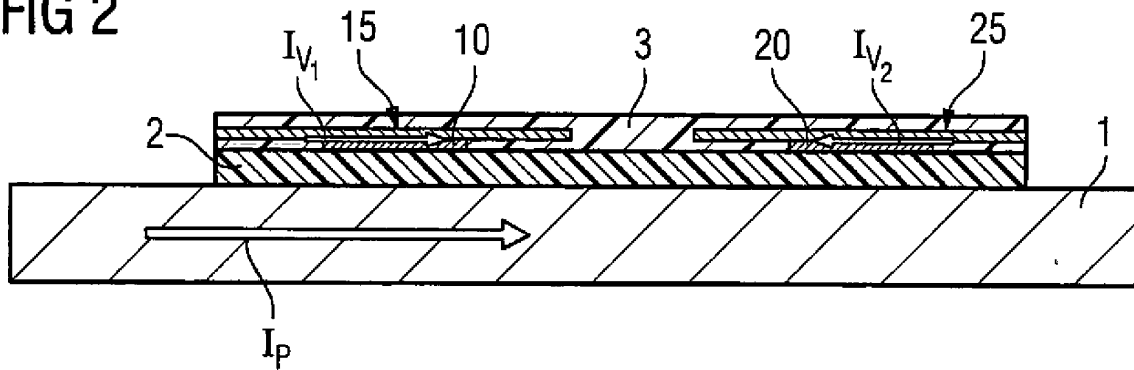


FIG 3

