

(19)



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG  
Ministère de l'Économie

(11)

N° de publication :

LU102798

(12)

## BREVET D'INVENTION

B1

(21)

N° de dépôt: LU102798

(51)

 Int. Cl.:  
G01R 15/20

(22)

Date de dépôt: 03/05/2021

(30)

Priorité:

(72)

 Inventeur(s):  
STADTFELDER Tobias - Allemagne, HÖFT Wolfgang -  
Allemagne

(43)

Date de mise à disposition du public: 03/11/2022

(47)

Date de délivrance: 03/11/2022

(74)

 Mandataire(s):  
PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG Intellectual  
Property Licenses & Standards -  
32825 Blomberg (Allemagne)

(73)

 Titulaire(s):  
PHOENIX CONTACT GMBH & CO. KG -  
32825 Blomberg (Allemagne)

(54)

**Strommesssystem zur Messung eines durch einen elektrischen Stromleiter fließenden Stroms sowie ein entsprechendes Verfahren.**

(57)

Die Erfindung betrifft ein Strommesssystem (1) zur Messung, insbesondere indirekten Messung, eines durch einen elektrischen Stromleiter (2) fließenden Stroms, aufweisend: einen Magnetkern (4), der eine Durchgangsöffnung (6) aufweist und eine maximale Querschnittsfläche (8) besitzt, - wobei der Magnetkern (4) an einer Stelle zur Bildung eines Luftspaltes (10) aufgetrennt ist und dort zwei, insbesondere gegenüberliegende Querschnittsflächen (12a, 12b) des Magnetkerns (4) zur Begrenzung dieses Luftspaltes (10) freigelegt sind, - wobei am Magnetkern mindestens ein Sensor (14) montiert und positionstreu in dem Luftspalt (10) angeordnet ist, und zwar zur Messung eines sich bei durch die Durchgangsöffnung (6) geführten Stromleiters (2) mit durch diesen fließenden Strom ( $I_p$ ) im Magnetkern (4) einstellenden magnetischen Flusses ( $\langle t \rangle$ ), und - wobei die freigelegten Querschnittsflächen (12a, 12b) jeweils kleiner sind als die maximale Querschnittsfläche (8) und wobei der Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche (8) und jeder der zwei freigelegten Querschnittsflächen (12a, 12b), insbesondere zur Konzentration des magnetischen Flusses und hierdurch bewirkten Erhöhung der Flussdichte, fließend, insbesondere durchgehend fließend, ausgebildet ist.

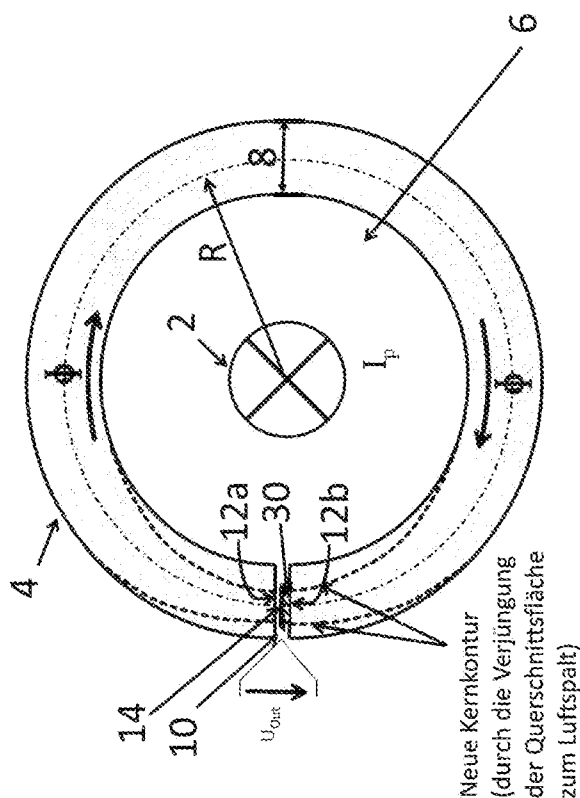


Fig. 2

**Strommesssystem zur Messung eines durch einen elektrischen Stromleiter  
fließenden Stroms sowie ein entsprechendes Verfahren**

5     Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Strommesssystem zur Messung eines durch einen elektrischen Stromleiter fließenden Stroms sowie ein entsprechendes Verfahren.

- 10     Aus dem Stand der Technik sind Strommesssysteme zur Messung eines durch einen elektrischen Stromleiter fließenden Stroms bekannt, bei denen der stromführende Leiter hierzu durch die Öffnung eines Magnetkerns geführt ist. So kann das sich um diesen stromführenden Leiter ausbildende magnetische Feld in dem, insbesondere auch als Feldkonzentrator dienenden, Magnetkern gebündelt und zur Ermittlung des
- 15     durch den Leiter fließenden Stromes, d.h. insbesondere zur Ermittlung der Stromstärke, der sich im Kern einstellende, fließende magnetische Fluss erfasst und herkömmlicher Weise wieder in ein elektrisches Signal umgewandelt werden. Um den elektrischen Fluss in dem Magnetkern erfassen zu können, ist dieser an einer Stelle aufgetrennt und so. an dieser Stelle ein Luftspalt ausgebildet, in den ein Sensor zur
- 20     Erfassung des magnetischen Flusses eingeführt ist, der magnetische Fluss erfasst und ein entsprechendes elektrisches Ausgangssignal erzeugt. Der Sensor, insbesondere ein Hall-Sensor, fungiert zusammen mit dem Magnetkern bei der Strommessung also als eine Art Messumformer. Eine solches Strommesssystem wird häufig auch im Rahmen einer als Open-Loop-Messung bekannten Strommessung angewandt, bei
- 25     welcher im Sensor eine proportional zur magnetischen Feldstärke im Luftspalt eines Magnetkerns, in der Regel zunächst kleine Spannung erzeugt wird, diese verstärkt wird und die verstärkte Spannung daraufhin das Ausgangssignal des Sensors darstellt. Als Vorteile sind eine recht niedrige Stromaufnahme und die kompakte Bauform zu nennen, als Nachteile sind die oft nur mäßige Bandbreite und hohe Anstiegszeit.
- 30     Problematisch ist häufig ein Abbildungsfehler und besonders dessen Temperaturabhängigkeit. Über einen weiten Anwendungstemperaturbereich wie von -25 bis +85 °C betrachtet, kann der Fehler sogar im zweistelligen Prozentbereich liegen. Open-Loop-Sensoren eignen sich daher in der Regel für weniger anspruchsvolle Anwendungen. Auch können bereits kleinste Änderungen in Bezug auf den Luftspalt,
- 35     auch bereits im µm-Bereich, die Strommessung und deren Genauigkeit beeinflussen.

So treten z.B. bei der Magnetisierung eines Eisenkerns und also bei der Erzeugung des Magnetkerns bekanntermaßen Hystereseeffekte auf. Wenn durch den Stromleiter, der durch einen noch nicht magnetisierten Eisenkern geführt ist, ein elektrischer Strom geleitet wird, wird der Kern magnetisiert. In dieser Magnetisierungsphase steigen sowohl die magnetische Feldstärke  $H$  als auch zunächst die Flussdichte  $B$  an, wobei der von einem Sensor in einem wie oben beschriebenen Luftspalt erfasste magnetische Fluss  $\Phi$  letztlich von den an dieser Stelle im Wesentlichen senkrecht zur Querschnittfläche verlaufenden Feldlinien abhängt. Je größer deren Dichte  $B$  ist, desto größer ist auf der erfasste magnetische Fluss  $\Phi$  an dieser Stelle. Bei einem weiteren Anstieg des elektrischen Stromes und somit auch der magnetischen Feldstärke stagniert der Anstieg der magnetischen Flussdichte jedoch allmählich und der Kern gerät in den Bereich einer Sättigung, was zu einer Nichtlinearität führt und daraufhin kaum noch zu einer nennenswerten Steigerung der Flussdichte  $B$  führt. Wird die Stromstärke wieder auf den Wert Null reduziert und folglich auch die sich hierdurch bedingte magnetische Feldstärke, sinkt die Flussdichte jedoch nur auf den Wert einer materialspezifischen Remanenz-Flussdichte ab, die allen ferromagnetischen Materialien eigen ist. Erst beim Unterschreiten der jeweiligen negativen Koerzitivfeldstärke nimmt auch die Flussdichte negative Werte an, bis hin zum erneuten Sättigungsbereich. Wird die Stromstärke wieder auf den Wert Null erhöht, erhöht sich die Flussdichte wiederum zunächst nur bis zur (negativen) Remanenz-Flussdichte und erst beim Überschreiten der jeweiligen positiven Koerzitivfeldstärke infolge weiterer Stromerhöhung nimmt auch die Flussdichte wieder positive Werte an, bis wieder der Sättigungsbereich erreicht ist.

Aufgrund der somit ergebenden Hysterese werden folglich in Bereichen, in denen es zu einer häufigen Ummagnetisierung kommt, wie zum Beispiel auch bei induktiv arbeitenden Strommesswandlern, in der Regel magnetische Werkstoffe mit niedriger Koerzitivfeldstärke eingesetzt, um eben die Hystereseeffekte möglichst gering zu halten.

Auf der anderen Seite ist grundsätzlich sicherzustellen, dass ein zur Strommessung eingesetzter Magnetkern, z.B. als Feldkonzentrator in einem Messumformer, möglichst nur im linearen Bereich der Hysteresekurve eingesetzt wird, da der Betrieb im Sättigungsbereich zu großen Messfehlern führen kann.

Aus der Veröffentlichung DE 11 2014 001 216 T5 ist ein Sensor zum Messen des elektrischen Stroms bekannt, der einen Magnetkern mit einem Verbindungsabschnitt aufweist, der durch Biegen eines Teils eines Plattenbauteils gebildet ist. Beide

5 Endabschnitte des Plattenbauteils sind gegenüberliegend angeordnet und bilden einen konstanten magnetischen Spalt zwischen sich aus, innerhalb welchem ein Hall-Sensor zur Ermittlung eines erzeugten magnetischen Flusses angeordnet. Die Endabschnitte, zwischen denen der Spalt ausgebildet ist, verjüngen sich hierbei ausgehend vom Verbindungsabschnitt in deren Breite jeweils derart benachbart zum jeweils anderen

10 Endabschnitt zu ihrem distalen Ende, dass es zwischen Verbindungsabschnitt und jedem distalen Ende keinen Ort gibt, wo sich ein Magnetfeld konzentriert und der Kern hierdurch eine gleichförmige magnetische Widerstandscharakteristik besitzt.

Auch die Druckschrift EP 1 811 311 B1 beschreibt eine Vorrichtung zur Strommessung mit einem Magnetkern, der eine Durchgangsöffnung bildet, durch welche ein

15 Stromleiter geführt ist. Der Magnetkern ist hierzu aus einem länglichen Stück Blech geformt und entsprechend gebogen, wobei zwei zueinander gerichtete Seitenwände durch einen Luftspalt getrennt sind. Ein Magnetfeldsensor ist innerhalb der Durchgangsöffnung und außerhalb des Luftspaltes angeordnet.

20 Auch die Veröffentlichung JP 2009-300196 A offenbart ein Strommesssystem mit einem, eine Durchgangsöffnung ausbildenden, im wesentlichen rechtwinkligen Magnetkern, durch welche ein Stromleiter geführt werden kann. Der Magnetkern ist ferner zur Bildung eines Luftspaltes aufgetrennt. Der Magnetkern ist zusammen mit

25 einem Hall-Element in einem diese aufnehmenden Gehäuse montiert, wobei das Hall-Element an dem Gehäuse derart montiert ist, dass es innerhalb des Luftspaltes positioniert werden kann. Die beiden den Spalt begrenzenden Enden weisen jeweils konvergierende, zur Spaltmitte hin verjüngende Abschnitte auf, sodass der Magnetfluss in Richtung des Spalts grundsätzlich konzentriert werden kann. Allerdings

30 sind die Übergänge zu verjüngten oder sich verjüngenden Abschnitte jeweils durch scharfe Absätze gebildet, wodurch die Bündelung der Magnetfeldlinien und also die Erhöhung der Flussdichte erschwert ist. Ferner ist durch eine Montage des Hall-Element an dem Gehäuse in vielen Industriefeldern mit rauen Umgebungsbedingungen eine dauerhafte positionstreue Halterung innerhalb des Luftspaltes nicht gewährleistet

35 und kann folglich zu weiteren Messfehlern beitragen.

Eine ähnliche Anordnung ist aus der JP 2011-99751 A bekannt, Für ein Strommesssystem mit einem, eine Durchgangsöffnung ausbildenden C-förmigen Magnetkern, ist zwischen den geöffneten Enden eine Platine mit darauf montiertem Hall-Sensor platziert. Weitere Ausführungsformen, bei welchen jeweils ein Magnetfeldsensor außerhalb eines Magnetkerns befestigt ist und in der Mitte eines durch Auftrennung des Metallkerns bereitgestellten Spaltes ausgerichtet gehalten wird, sind z.B. der JP 2012-37377 A, der JP002013134076A und der WO 00/37948 zu entnehmen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Strommesssystem aufzuzeigen, welches sich insbesondere auch für raue Industriefeldbedingungen eignet und im eingebrachten Luftspalt des Magnetkerns eine homogenere und konzentriertere Flächendichte des magnetischen Flusses, insbesondere im Bereich eines im Luftspaltes angeordneten Sensors bereitstellt, sodass auch bei Auftreten von Sättigungseffekten im Kernmaterial eine proportional zur magnetischen Feldstärke im Luftspalt bewirkte Signalauslenkung und somit die Signalintegrität des Sensors insgesamt verbessert wird und zu einer weiterhin hohen Messgenauigkeit des Strommesssystems.

Die Erfindung schlägt zur Lösung ein Strommesssystem gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Verfahren gemäß Anspruch 9 vor. Zweckmäßige Weiterbildungen sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche.

Dementsprechend schlägt die Erfindung zur Messung, insbesondere zur indirekten Messung, eines durch einen elektrischen Stromleiter fließenden Stroms ein Verfahren vor, bei welchem der Stromleiter hierzu durch eine Durchgangsöffnung eines Magnetkerns geführt wird und sich in Folge ein magnetischer Fluss im Magnetkern einstellt, wobei der Magnetkern zur Bildung eines Luftspaltes an einer Stelle aufgetrennt wird, mindestens ein Sensor, insbesondere ein Hall-Sensor, zur Messung des magnetischen Flusses am Magnetkern montiert und positionstreu in diesem Luftspalt angeordnet wird und eine Verstärkung der Signalauslenkung des Sensors bewirkt wird, indem ein durch den Sensor geführter Anteil des magnetischen Flusses bei gleichzeitiger Erhöhung der Flussdichte durch eine fließende Verjüngung der Magnetkern-Querschnittsfläche hin zum Luftspalt vergrößert wird.

Insbesondere zur Umsetzung vorstehendes Verfahrens ist dementsprechend ferner ein Strommesssystem zur Messung eines durch einen elektrischen Stromleiter fließenden Stroms vorgesehen, welches einen Magnetkern aufweist, der eine Durchgangsöffnung aufweist und eine maximale Querschnittsfläche besitzt. Das Strommesssystem ist dabei insbesondere zur indirekten Messung des Stroms ausgebildet. Der elektrische Stromleiter muss für die Messung durch die Durchgangsöffnung geführt werden.

Der Magnetkern, insbesondere ein Magnetkern mit einer im wesentlichen ringförmigen Struktur, ist an einer Stelle zur Bildung eines Luftspaltes aufgetrennt, sodass dort zwei, insbesondere gegenüberliegende Querschnittsflächen des Magnetkerns zur Begrenzung dieses Luftspaltes freigelegt sind. Die Querschnittsflächen sind somit bevorzugt parallel zueinander ausgerichtet. Das erzeugte Magnetfeld tritt somit an einer der den Luftspalt begrenzenden Querschnittsfläche aus, durchströmt den Luftspalt und tritt an der anderen, den Luftspalt begrenzenden Querschnittsfläche wieder in den Magnetkern ein.

Am Magnetkern ist ferner mindestens ein Sensor, insbesondere Hall-Sensor, montiert und in dem Luftspalt zur Messung eines sich bei durch die Durchgangsöffnung geführten Stromleiters mit durch diesen fließenden Strom im Magnetkern einstellenden magnetischen Flusses positionstreu angeordnet. Eine hierbei insbesondere proportional im Sensor erzeugte, in der Regel zunächst kleine Spannung, dient folglich als Maß für den im Stromleiter geführten Stromfluss und kann anschließend zur weiteren Auswertung an eine, an dem Sensor angeschlossene bzw. anschließbare Verarbeitungseinheit übermittelt werden.

Zur positionstremen Anordnung im Luftspalt ist der Sensor dabei zweckmäßig direkt an einer der beiden freigelegten Querschnittsflächen oder auch an diesen beiden Querschnittsflächen montiert, vorzugsweise, insbesondere aufgrund der Einfachheit angeklebt. Aber auch ein Vergießen oder ein Verstemmen zur dauerhaft positionstremen Montage ist beispielsweise im Rahmen der Erfindung möglich.

Erfindungsgemäß sind die zur Begrenzung des Luftspaltes freigelegten Querschnittsflächen jeweils kleiner als die maximale Querschnittsfläche des Magnetkerns und der Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche und jeder

der freigelegten Querschnittsflächen, d.h. der Übergang der Magnetkernkontur, ist dabei fließend ausgebildet, insbesondere durchgängig fließend, d.h. frei von jeglichen Sprungstellen und Absätzen in der Magnetkernkontur zwischen der maximalen Querschnittsfläche und jeder der freigelegten Querschnittsflächen.

- 5 Durch eine solche fließende Ausbildung des Querschnittsflächenübergangs kann insbesondere der magnetische Fluss wesentlich konzentriert und hierdurch folglich auch eine Erhöhung der Flussdichte bewirkt werden, Insbesondere, bei Freiheit jeglicher Sprungstellen und Absätzen, kann durch die Verringerung der vom magnetischen Fluss durchströmten, freigelegten Querschnittsflächen jegliche
- 10 Streufeldausbreitung im Bereich des Luftspaltes auf ein Minimum reduziert werden und ein äußerst homogenes Magnetfeld mit wesentlich erhöhtem magnetischen Fluss durchströmt den Luftspalt und folglich auch den Sensor.

- Hierdurch vergrößert sich somit ferner die Auslenkung und erhöht sich die Integrität des Sensorsignals. Dies beeinflusst wiederum vorteilhaft die Störfestigkeit
- 15 gegenüber Fremdfeldern und wirkt sich durch die Vergrößerung der Signalamplitude gleichzeitig positiv auf das SNR (Signal zu Rauschverhältnis) aus. Die Messung des Magnetfeldes durch den positionstreu am Magnetkern montierten Sensor ist somit insgesamt genauer und somit weniger fehleranfällig, als bei vergleichbaren Strommesssystemen des Stands der Technik, da der Magnetfluss auch bei rauer
- 20 Industriefeldumgebung, d.h. selbst bei Erschütterungen, stets zielgerichtet zum Sensor geführt und somit immer eine größtmögliche Flussdichte durch den Sensor geliefert wird.

- Die Kontur der Verjüngung in Bezug auf die freigelegten Querschnittsflächen ist dabei
- 25 in vorteilhafter Weise auf die Kontur, d.h. insbesondere den Querschnitt, des Sensors angepasst, um eine maximale Verstärkung des Luftspaltes zu erreichen. Hierfür hat sich ergänzend oder alternativ ferner als äußerst wirkungsvoll erwiesen, den Sensor mittig auf wenigstens einer der zwei freigelegten, insbesondere gegenüberliegenden Querschnittsflächen angeordnet ist. Ergänzend oder alternativ hat sich ferner gezeigt,
- 30 dass die zielgerichtete Führung des Magnetflusses optimiert wird, wenn der Magnetkern eine Kontur aufweist, bei welcher sich die Querschnittsfläche im Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche und jeder der zwei freigelegten, insbesondere gegenüberliegenden Querschnittsflächen asymptotisch der Kontur des Sensors annähert.

In besonders bevorzugter Ausbildung besitzt der Magnetkern daher eine im wesentliche ringförmige Struktur, bei welcher die Mittelpunkte aller Querschnittsflächen beim Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche und jeder der zwei freigelegten, insbesondere gegenüberliegenden Querschnittsflächen im Wesentlichen stets auf dem gleichen Radius liegen. Die Kontur des Magnetkerns nähert sich beim Übergang folglich im Querschnitt von allen Seiten kommend an denselben Radius hin an.

Erfindung wird nachfolgend anhand einiger bevorzugter Ausführungsformen in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen näher erläutert, woraus diese und weitere Merkmale und Vorteile der Lösung nach der Erfindung offensichtlich werden. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen Strommesssystems;
- Fig. 2 eine detailliertere Querschnittsansicht eines sich verjüngenden Magnetkerns mit daran montiertem Sensor im Rahmen eines erfindungsgemäßen Strommesssystems; und
- Fig. 3 eine weitere Prinzipskizze, vom Luftspalt des sich verjüngenden Magnetkerns des erfindungsgemäßen Strommesssystems ausgehend gesehen, mit maximaler Querschnittsfläche des Magnetkerns und verjüngter Querschnittsfläche am Luftspalt und mit am Magnetkern montiertem Sensor.

Fig. 1 zeigt zunächst eine schematische Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen Strommesssystems zur Messung, insbesondere indirekten Messung, eines durch einen elektrischen Stromleiter 2 fließenden Stroms  $I_p$ .

Es versteht sich, dass der Stromleiter 2 zur Erzeugung eines Stromflusses zuvor an einem entsprechenden elektronischen Gerät angeschlossen sein muss, welches jedoch bei Fig. 1 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt ist.

Wie bei Fig. 1 zu sehen, umfasst die skizzierte Strommessvorrichtung einen Magnetkern 4, der eine Durchgangsöffnung 6 aufweist, durch welche der stromführende Leiter 2 zum Messen des Stromflusses zu führen ist und welcher bei Fig. 1 bereits durch diese geführt ist. Der Magnetkern besitzt in der dargestellten



Ausführungsform eine im wesentlichen ringförmige Struktur und ist somit zweckmäßig als Ringkern ausgebildet.

5      Ferner ist der Magnetkern 4 an wenigstens einer Stelle zur Bildung eines Luftspaltes 10 aufgetrennt. In diesem Luftspalt ist ein Sensor 14, insbesondere ein Hall-Sensor, positionstreu angeordnet, wobei je nach spezifischer Ausführung auch mehrere Sensoren in einem solchen Luftspalt 10 positionstreu angeordnet sein können. Jeder Sensor 14 dient hierbei zur Messung eines sich bei durch die Durchgangsöffnung 6 geführten Stromleiters 2 mit durch diesen fließenden Strom  $I_P$  im Magnetkern 4

10    einstellenden magnetischen Flusses  $\Phi$ .

Aufgrund der Auftrennung des Magnetkerns zur Bildung wenigstens eines Luftspaltes können jedoch folglich grundsätzlich auch andere Magnetkernformen, insbesondere je nach spezifischer Ausführung, zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel ähnlich einem „C-Kern“, oder einem „U-Kern“, die bereits eine, einen Luftspalt bildende, aufgetrennte

15    Stelle per se aufweisen. Allerdings hat sich ein „Ringkern“ als besonders bevorzugt erwiesen, da der Magnetkern das sich um den stromführenden Leiter 2 ausbildende magnetische Feld vorteilhaft bündeln und somit quasi auch als Feldkonzentrator dienen kann.

20    Der Magnetkern 4 besitzt grundsätzlich eine maximale Querschnittsfläche 8, wobei gemäß Fig. 1 an der aufgetrennten Stelle zwei, im Wesentlichen gegenüberliegende Querschnittsflächen 12a, 12b des Magnetkerns 4 freigelegt sind, die den Luftspalt 10 begrenzen. Erfindungsgemäß sind diese freigelegten Querschnittsflächen 12a, 12b jeweils kleiner, als die maximale Querschnittsfläche 8, wie insbesondere in den Fig. 2

25    und 3 deutlich zu sehen ist und anhand diesen Fig. noch detaillierter beschrieben wird. Hierbei ist der Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche 8 und jeder der zwei freigelegten, insbesondere gegenüberliegenden Querschnittsflächen 12a, 12b fließend ausgebildet, insbesondere durchgehend fließend ausgebildet. Insbesondere ergibt sich somit eine Verjüngung der Außenkontur des Magnetkerns 4 bzw. kann

30    durch geeignete Verjüngung der Außenkontur des Magnetkerns 4 ein solcher fließender Übergang 4 geschaffen werden. Hierdurch kann der magnetische Fluss  $\Phi$  in zweckmäßiger Weise konzentriert werden, welches insbesondere in Richtung der freigelegten, in Bezug auf die maximale Querschnittsfläche 8 kleineren Querschnittsflächen 12a, 12b somit auch eine Erhöhung der Flussdichte bewirkt.

35

Zur positionstreu Anordnung jedes Sensors 14, und zwar insbesondere zur unabhängig von jeglichen Umgebungseinflüssen positionstreu Anordnung, wird dieser Sensors 14 ferner am Magnetkern montierter. Folglich wirkt sich beispielsweise jegliche auf den Magnetkern ausgeübte Erschütterung auch unmittelbar auf den

5 Sensor 14 aus, sodass auch eine ansonsten mögliche relative Positionsverschiebung mittels der Montage am Magnetkern effektiv vermieden, insbesondere vollständig ausgeschlossen wird. Die Montage des Sensors 14 am Magnetkern 4 kann hierbei zweckmäßig an wenigstens einer der zwei freigelegten, den Luftspalt 10 begrenzenden Querschnittsflächen 12a, 12b erfolgen, wobei sich insbesondere Kleben als besonders

10 praktikabel gezeigt hat, um eine dauerhaft feste Verbindung direkt zwischen Sensor 14 und Magnetkern 4 zu bewirken. Infolge einer Montage an zumindest einer der Querschnittsflächen 12a, 12b können ferner zu überbrückbare Distanzen für eine Anordnung im Luftspalt 10 miniert werden, welches zusätzlich zu einer dauerhaft stabilen, positionstreu Lage beiträgt, was andernfalls die Messgenauigkeit negativ

15 beeinflussen kann. Aber auch andere Montagearten, wie z.B. ein Vergießen oder ein Verstemmen, sind im Rahmen der Erfindung möglich.

Wie bei Fig. 1 ferner skizziert, kann der Sensor 14, oder können auch mehrere Sensoren wie vorstehend beschrieben, mit einer entsprechend geeignet eingerichteten

20 Verarbeitungseinheit 18 verbunden sein, insbesondere für eine anschließende weitere Auswertung. Eine solche Auswertung kann beispielsweise in der bei Fig. 1 mit „ $\mu$ C“ gekennzeichneten Einrichtung, also insbesondere eine einen Mikrocontroller umfassende Einrichtung, der Verarbeitungseinheit 18 erfolgen. Auch kann ein vom Sensor, ansprechend auf das den Luftspalt und folglich auch den Sensor

25 durchströmenden Magnetfluss  $\Phi$ , ausgegebenes Signal zunächst z.B. verstärkt werden und/oder einer Analog-Digital-Umwandlung unterzogen werden, wie bei Fig. 1 z.B. durch die mit ADC bezeichnete Einheit wiedergegeben, so dass zweckmäßig eine weitere Auswertung digital erfolgen kann. Insbesondere in diesem Fall kann dann z.B. auch wieder eine Digital-Analog-Umwandlung, durchgeführt werden, wie bei Fig. 1 z.B.

30 durch die mit DAC bezeichnete Einheit wiedergegeben. Das analoge Signal wird dann z.B. als Ausgangssignal der Verarbeitungseinheit 18 an einem Ausgangsport bereitgestellt.

Die Fig. 2 zeigt eine schematische, jedoch detailliertere Querschnittsansicht des sich

35 verjüngenden Magnetkerns 4 mit daran montiertem Sensor 14 im Rahmen eines

erfindungsgemäßen Strommesssystems 1. Zusehen ist wiederum, dass der Magnetkern 4 grundsätzlich eine maximale Querschnittsfläche aufweist. Der Luftspalt 10, in welchem der Sensor 14 positionsgetreu angeordnet ist, ist durch die beiden Querschnittsflächen 12a und 12b des Magnetkerns gebildet. Mit dem Bezugszeichen 30 ist ein Befestigungsmittel zur Montage des Sensors am Magnetkern, im vorliegenden Beispiel an der Querschnittsfläche 12b gekennzeichnet. Im dargestellten Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem Befestigungsmittel zweckmäßig um einen Kleber bzw. Klebstoff. Eine in Abhängigkeit des den Luftspalt durchströmenden Magnetflusses  $\Phi$  vom Sensor 14 erzeugte Spannung ist mit  $U_{out}$  angegeben.

Der Magnetkern 4 ist hierbei zweckmäßig ein Ringkern und der Stromleiter 2 ist dabei bevorzugt zentral durch die Durchgangsöffnung 6 des Magnetkerns 4 geführt. Anhand der strich-punktierten Linie sind ferner auf einem gleichen, d.h. gemeinsamen Radius R liegende Punkte innerhalb des Magnetkerns 4 angedeutet.

Der fließende Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche 8 und jeder der zwei freigelegten, den Luftspalt 10 begrenzenden Querschnittsflächen 12a und 12b ist in der Fig. 2 durch die gestrichelten, verjüngt zusammenlaufenden Linien dargestellt, die beispielhaft eine sich durch die Verjüngung der Querschnittsfläche zum Luftspalt hin einstellende „neue“ Kernkontur des Magnetkerns 4 repräsentieren. Die Verjüngung läuft somit ausgehend von der maximalen Querschnittsfläche 8 in Richtung der jeweiligen Querschnittsflächen 12a und 12b des Luftspaltes 10.

Eine weitere Prinzipskizze, vom Luftspalt des sich verjüngenden Magnetkerns ausgehend gesehen, insbesondere in Richtung des der Spannung  $U_{out}$  zugeordneten Pfeils gemäß Fig. 2 zugeordneten Pfeils, ist bei Fig. 3 gezeigt, wobei beispielhaft eine maximale Querschnittsfläche 8 des Magnetkerns 4, eine freigelegte, verjüngte Querschnittsfläche 12a am Luftspalt und ein am Magnetkern montierter Sensor 14 stark schematisiert dargestellt sind.

Insbesondere zeigen die Fign. 2 und 3, dass die Kontur der zwei freigelegten, Querschnittsflächen 12a und 12b zweckmäßig der Kontur des Sensors 14 folgend angepasst ist. Wie zu sehen, weist der Magnetkern 4 ferner in zweckmäßiger Ausgestaltung eine Kontur auf, d.h. eine sich ergebende „neue“ Kernkontur auf, bei welcher sich die Querschnittsfläche im Übergang zwischen der maximalen

Querschnittsfläche 8 und jeder der zwei freigelegten Querschnittsflächen 12a und 12b asymptotisch der Kontur des Sensors annähert. Die Größe und die Form der Querschnittsflächen verjüngen sich folglich bevorzugt derart, dass die Größe und Form jeder der Querschnittsflächen 12a und 12b am Luftspalt im Wesentlichen der Größe der Form der Querschnittsfläche der Kontur des Sensors 14 entsprechen, sodass der zweckmäßig gesamte, zumindest annähernd gesamte, die Querschnittsflächen 12a und 12b und folglich den Luftspalt durchströmende magnetische Fluss auch den Sensor 14 durchströmt. In besonders vorteilhafter Art und Weise kann hierdurch somit die magnetische Flussdichte auf den Sensor 14 konzentriert bzw. fokussiert werden, sodass ein von dem Magnetkern ausgehendes und in Bezug auf den Sensor 14 maximal verstärktes Magnetfeld auf diesen einwirkt.

Der Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche 8 des Magnetkerns 4 und jeder der zwei freigelegten Querschnittsflächen 12a, 12b ist folglich bevorzugt ausschließlich fließend ausgebildet, d.h. ohne Sprünge und Absätze.

Insbesondere, je flach verlaufender der Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche 8 des Magnetkerns 4 und jeder der zwei freigelegten, insbesondere gegenüberliegenden Querschnittsflächen 12a, 12b ausgebildet ist, umso geringer kann die Streufeldausbreitung im Bereich des Luftspaltes 10 gehalten werden. Andererseits kann dadurch folglich das homogene magnetische Feld in dem Luftspalt 10 in vorteilhafter Weise umso mehr erhöht werden, wodurch die Messung des Sensors 14 insgesamt genauer und somit weniger fehleranfällig wird. Insbesondere durch die hierdurch bewirkte Vergrößerung der Signalauslenkung bzw. -amplitude in Bezug auf das vom Sensor ausgegebene Signal kann also die Messgenauigkeit des Sensors 14 maximiert werden. Dies führt wiederum zu weiteren Vorteilen auch hinsichtlich der Störfestigkeit gegenüber Fremdfeldern und einer positiven Wirkung auf ein wesentlich verbessertes Signal-zu-Rauschverhältnis.

Für eine optimale Anpassung der Kontur bei entsprechend fließender Verjüngung der Magnetkern-Querschnittsfläche, insbesondere zur Bereitstellung einer größtmöglichen Flussdichte durch den Sensor 14, ist der Sensor 14 somit zweckmäßig mittig auf wenigstens einer der zwei freigelegten, insbesondere gegenüberliegenden Querschnittsflächen 12a, 12b angeordnet (vgl. Fig. 3) und/oder ist die Konturanpassung derart, dass die Mittelpunkte aller Querschnittsflächen beim

Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche 8 und jeder der zwei freigelegten Querschnittsflächen 12a, 12b im Wesentlichen stets auf dem gleichen Radius R liegen (vgl. Fig. 2).

5

Unter Berücksichtigung vorstehender Beschreibung kann folglich zusammenfassend festgehalten werden, dass gemäß Lösung der der Erfindung die Geometrie des Querschnitts des Magnetkerns 4 in Richtung auf den Luftspalt 10 an den Querschnitt des Sensors 14 angenähert wird. Da sich folglich bei entsprechend angepasster

10

Verringerung der von dem magnetischen Fluss durchströmten Querschnittsfläche im Bereich des Luftspaltes 10 das Magnetfeld der Flussdichte B in dem Material vorteilhaft erhöht, lässt sich durch diese Eigenschaft das Feld durch eine Kernverjüngung unmittelbar vor dem Aus- und Eintritt am Luftspalt erhöhen und in Bezug auf den Sensor 14, d.h. insbesondere zur Optimierung des Messergebnisses, entsprechend

15

angepasst werden.

Wird folglich zur Messung eines durch einen elektrischen Leiters fließenden Stroms, ein Magnetkern 4 mit Durchgangsöffnung 6 zur Bildung eines Luftspaltes 10 an einer Stelle aufgetrennt und mindestens ein Sensor 14, insbesondere ein Hall-Sensor, zur

20 Messung eines magnetischen Flusses  $\Phi$  am Magnetkern montiert und positionstreu in diesem Luftspalt 10 angeordnet, kann, nachdem der Stromleiter 2 durch die Durchgangsöffnung 6 geführt wurde und sich bei dann fließendem Strom  $I_P$  in Folge ein magnetischer Fluss  $\Phi$  im Magnetkern 4 einstellt, eine Verstärkung der Signalauslenkung des Sensors dadurch bewirkt werden, indem der durch den Sensor

25 geführte Anteil des magnetischen Flusses  $\Phi$  bei gleichzeitiger Erhöhung der Flussdichte durch eine fließende Verjüngung der Magnetkern-Querschnittsfläche hin zum Luftspalt vergrößert wird.

30

In Folge kann somit im Rahmen der Erfindung eine wesentlich verbesserte B-Feldverteilung im Luftspalt 10 bewirkt und der in diesem angeordnete und am Magnetkern befestigte Sensor mit einem verhältnismäßig großen B-Feld beaufschlagt werden, auch dann noch, wenn das Kernmaterial aufgrund dessen Hysteresekennlinie in Teilbereichen bereits Sättigungseffekte zeigt. Der Sensor, insbesondere Hall-Sensor, kann daher vorteilhaft in einem großen Aussteuerbereich betrieben und die

35 Auslenkung und somit die Signalintegrität wesentlich verbessert werden.

### Patentansprüche

- 1) Strommesssystem (1) zur Messung, insbesondere indirekten Messung, eines durch einen elektrischen Stromleiter (2) fließenden Stroms, aufweisend:
- 5 einen Magnetkern (4), der eine Durchgangsöffnung (6) aufweist und eine maximale Querschnittsfläche (8) besitzt,
- wobei der Magnetkern (4) an einer Stelle zur Bildung eines Luftspaltes (10) aufgetrennt ist und dort zwei, insbesondere gegenüberliegende Querschnittsflächen (12a, 12b) des Magnetkerns (4) zur Begrenzung dieses Luftspaltes (10) freigelegt sind,
- 10 - wobei am Magnetkern mindestens ein Sensor (14) montiert und positionstreu in dem Luftspalt (10) angeordnet ist, und zwar zur Messung eines sich bei durch die Durchgangsöffnung (6) geführten Stromleiters (2) mit durch diesen fließenden Strom ( $I_P$ ) im Magnetkern (4) einstellenden magnetischen Flusses ( $\Phi$ ), und
- wobei die freigelegten Querschnittsflächen (12a, 12b) jeweils kleiner sind als die
- 15 maximale Querschnittsfläche (8) und wobei der Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche (8) und jeder der zwei freigelegten Querschnittsflächen (12a, 12b), insbesondere zur Konzentration des magnetischen Flusses und hierdurch bewirkten Erhöhung der Flussdichte, fließend, insbesondere durchgehend fließend, ausgebildet ist.
- 20
- 2) Strommesssystem (1) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (14) zur positionstremen Anordnung im Luftspalt (10) an wenigstens einer der zwei freigelegten Querschnittsflächen (12a, 12b) montiert ist, insbesondere angeklebt ist.
- 25
- 3) Strommesssystem (1) gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (14) mittig auf wenigstens einer der zwei freigelegten, gegenüberliegenden Querschnittsflächen (12a, 12b) angeordnet ist.
- 30
- 4) Strommesssystem (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontur der zwei freigelegten Querschnittsflächen (12a, 12b) der Kontur des Sensors (14) folgend angepasst ist.
- 5) Strommesssystem (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche, dadurch
- 35 gekennzeichnet, dass der Magnetkern (4) eine Kontur aufweist, bei welcher sich die

Querschnittsfläche im Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche (8) und jeder der zwei freigelegten Querschnittsflächen (12a, 12b) asymptotisch der Kontur des Sensors (14) annähert.

- 5 6) Strommesssystem (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Magnetkern (4) eine im wesentlichen ringförmig Struktur besitzt und die Mittelpunkte aller Querschnittsflächen beim Übergang zwischen der maximalen Querschnittsfläche (8) und jeder der zwei freigelegten Querschnittsflächen (12a, 12b) im Wesentlichen stets auf dem gleichen Radius liegen.

10

7) Strommesssystem (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner gekennzeichnet durch eine mit dem mindestens einen Sensor (14) verbundene Verarbeitungseinheit (18).

- 15 8) Strommesssystem (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (14) ein Hall-Sensor ist.

- 9) Verfahren zur Messung, insbesondere zur indirekten Messung, eines durch einen elektrischen Stromleiter (2) fließenden Stroms, bei welchem der Stromleiter (2) hierzu  
20 durch eine Durchgangsöffnung (6) eines Magnetkerns (4) geführt wird und sich in Folge ein magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) im Magnetkern (4) einstellt, wobei der Magnetkern (4) zur Bildung eines Luftspaltes (10) an einer Stelle aufgetrennt wird, mindestens ein Sensor (14), insbesondere ein Hall-Sensor, zur Messung des magnetischen Flusses ( $\Phi$ ) am Magnetkern montiert und positionstreu in diesem Luftspalt (10) angeordnet  
25 wird, und wobei eine Verstärkung der Signalauslenkung des Sensors bewirkt wird, indem ein durch den Sensor geführter Anteil des magnetischen Flusses bei gleichzeitiger Erhöhung der Flussdichte durch eine fließende Verjüngung der Magnetkern-Querschnittsfläche hin zum Luftspalt vergrößert wird.

30

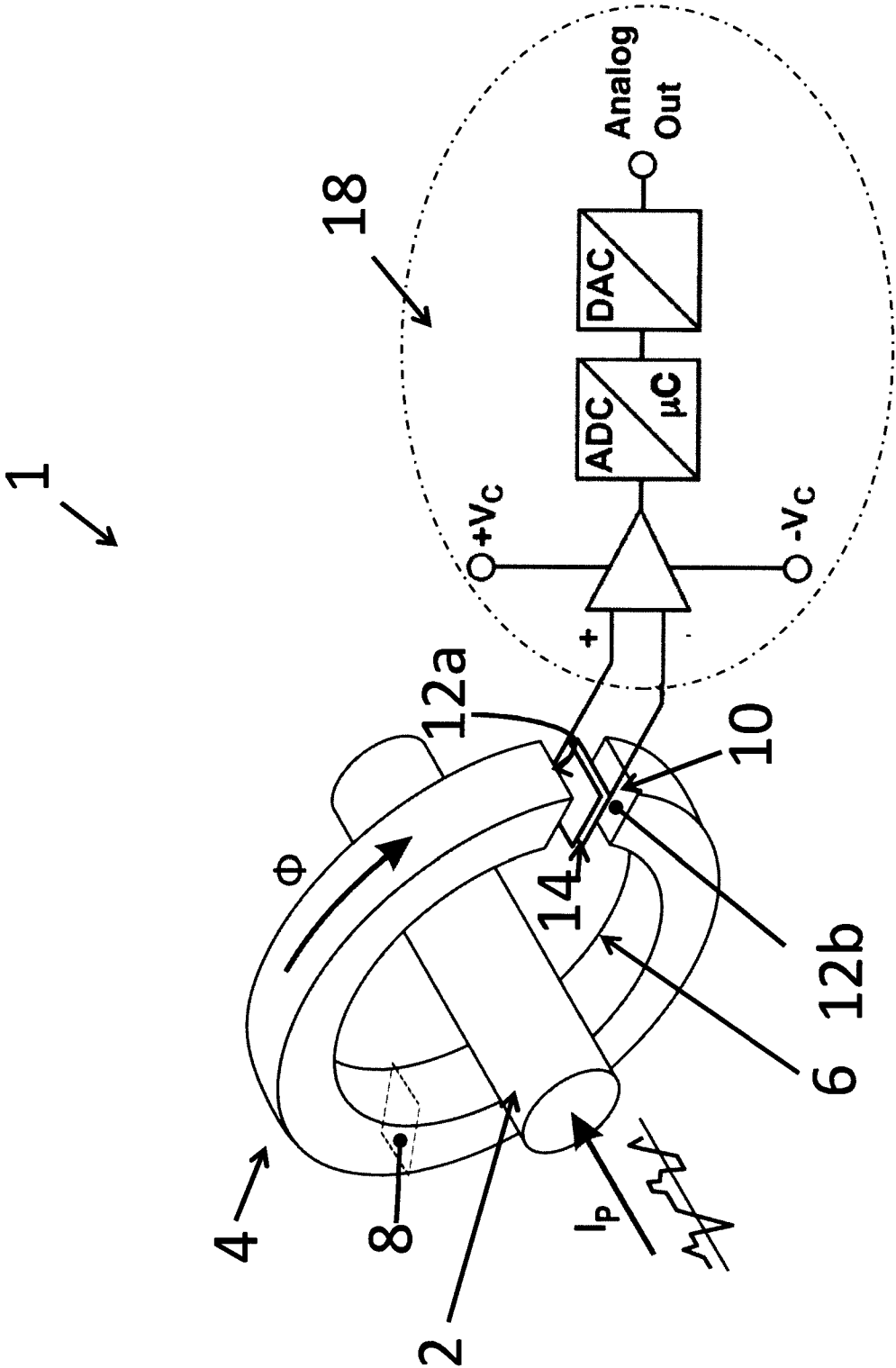


Fig. 1



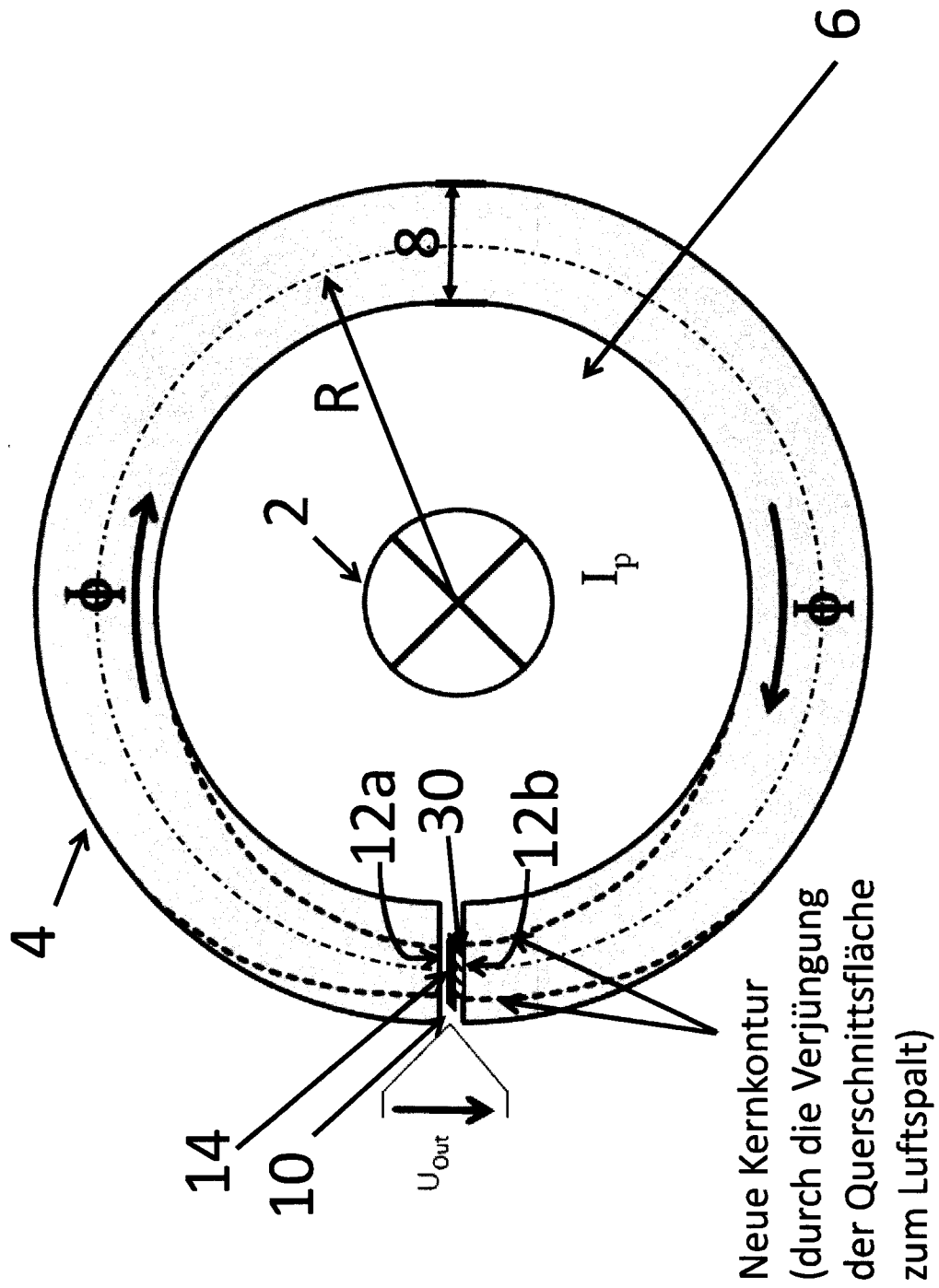


Fig. 2

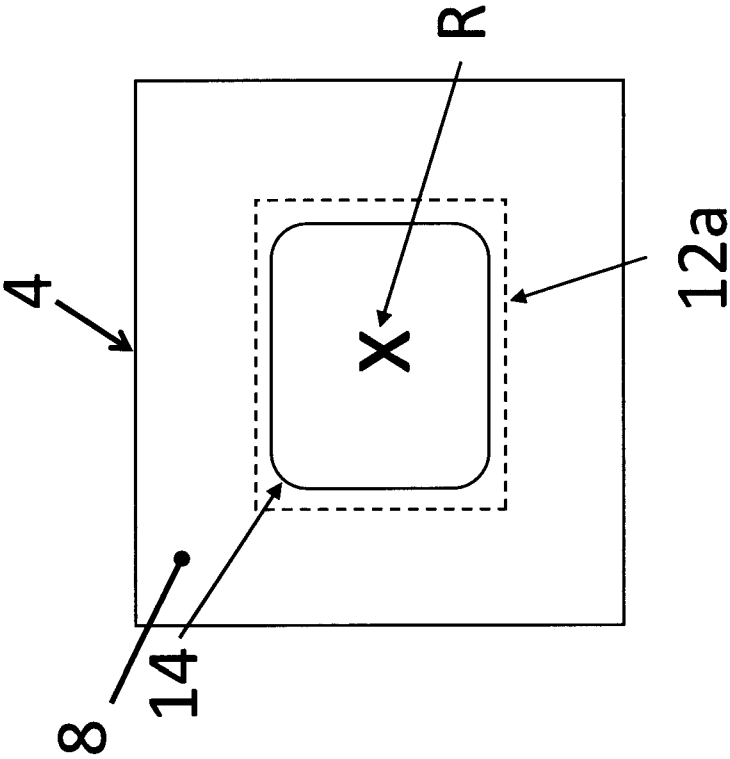


Fig. 3