

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 709 865 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
01.05.1996 Patentblatt 1996/18

(51) Int. Cl.⁶: **H01F 38/30**, H01F 30/16,
H01F 17/00

(21) Anmeldenummer: 95114031.8

(22) Anmeldetag: 07.09.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FR GB IT LI NL PT SE

(72) Erfinder: **Alff, Jean-Jacques, Dr. Ing./ETH**
CH-5634 Merenschwand (CH)

(30) Priorität: 26.10.1994 CH 3209/94

(74) Vertreter: **Hotz, Klaus, Dipl.-El.-Ing./ETH**
Patentanwalt
c/o OK pat AG
Hinterbergstrasse 36
Postfach 5254
CH-6330 Cham (CH)

(71) Anmelder: **LEM S.A.**
CH-1228 Plan-les-Ouates, Genève (CH)

(54) Verfahren und Anordnung zur Verkopplung magnetisch leitenden Materials mit elektrischen Wicklungen

(57) Beim vorliegenden Verfahren und bei der entsprechenden Anordnung geht es um die Verbesserung der Verkopplung des elektrischen Flusses mit den zugehörigen elektrischen Wicklungen einer Wicklung (36) bzw. eines Wicklungspaketes. Der magnetische Fluss wird dabei auf einem magnetischen Pfad (30, M), die Windungen der Wicklung (36) spiralförmig umschlin-

gend, so geführt, dass die Windungen die Fläche F eines Hohlkorpus diese mehrfach durchstossen. Die dazu konstruktiv über Stege 32 miteinander verbundenen Brückenelemente 31 bilden die Randzone der Fläche F. Somit ergibt sich pro Umgang eine Mehrfach-Verkopplung des magnetischen Flusses M mit den entsprechenden elektrischen Wicklungen der Wicklung (36).

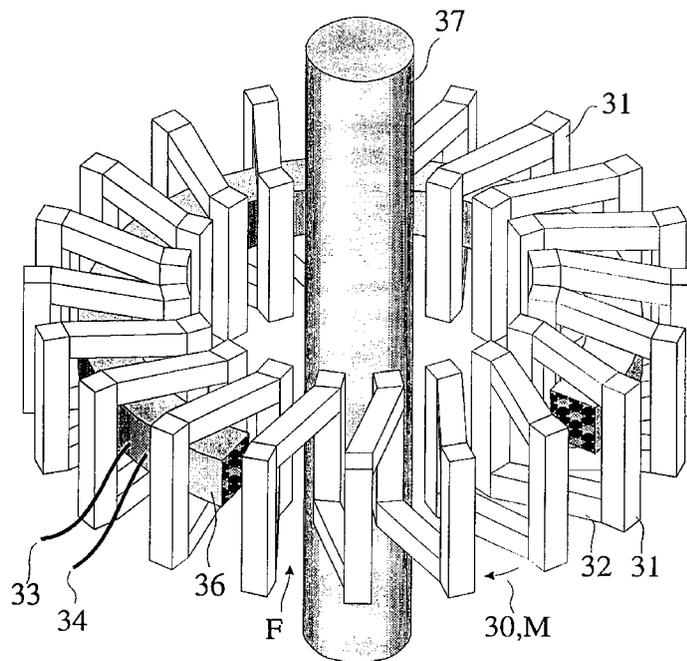


Fig.3

EP 0 709 865 A1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Anordnung zur Verkopplung magnetisch leitenden Materials mit wenigstens einer elektrischen Wicklung, insbesondere zum Einsatz bei elektrischen Strom- und Spannungswandlern.

Wandler dienen einerseits zur Transformierung von Wechsel- bzw. Drehstrom auf hohe Spannungen, um beim Transport elektrischer Energie über grosse Entfernungen hohe Verluste zu vermeiden oder um hohe Ströme zu erzeugen, die in der Technik hauptsächlich bei der Aluminiumindustrie und in der Schweissttechnik Anwendung finden, wo die Beherrschung und Überwachung des hohen Energieverbrauches eine unumgängliche Forderung ist.

Andererseits werden sie als Strom- und Spannungswandler für die Traktion in der Hochgeschwindigkeits-Zügen verwendet, wobei sowohl der Stromverbrauch der entsprechenden Messsysteme als auch die Wiedergabe der Signale grosse Anforderungen an konstruktive Abmessungen, wie auch an Qualität stellen.

Die grösste Bedeutung stellt der Strom- und/oder Spannungswandler aber als Verbindungselement Zwischen Elektronik- und Leistungskreisen bei der Messung und Steuerung des magnetischen Flusses dar. Dabei geht es meistens um die isolierte Messung (ohne Unterbrechung des elektrischen Kreises) aller Arten von Spannungen und Strömen. Zudem werden dabei elektronische Kontrollkreise mit genauen Signalen über die Leistungskreise, bei galvanischer Trennung, versorgt.

Üblicherweise wird dabei mittels Ring- oder Kerntransformatoren oder -Wandler über eine erste Wicklung ein magnetischer Fluss erzeugt, der in einer zweiten Wicklung eine höhere oder niedere Spannung oder Strom -je nach Windungzahl-Verhältnis der ersten zur zweiten Wicklung- induziert. Will man also ein grosses Übersetzungsverhältnis erreichen, so erreicht man dies durch grosse unterschiedliche Windungszahlen.

Es hat sich somit als nachteilig erwiesen, dass damit solche Wandler allein aufgrund der hohen Windungszahlen erhebliche ohmsche Verluste aufweisen, die kaum vermeidbar sind.

Es wurde auch schon versucht das den magnetischen Fluss leitende weichmagnetische Material durch anisotropisches Material zu ersetzen, um eine Minimalisierung der Verluste zu erreichen.

Es ist die Aufgabe der Erfindung ein Verfahren und eine Anordnung zur Verkopplung magnetischen Materials mit elektrischen Wicklungen so zu verbessern, dass

- mit weniger elektrischer Leistung ein hoher magnetischer Fluss erzeugbar ist,
- mit weniger hohem elektrischem Strom ein höherer magnetischer Fluss erreichbar ist und
- eine geringere kapazitive Kopplung vorliegt,
- eine einfachere Herstellung der elektrischen Wicklung möglich ist.

Der Grundgedanke zur Lösung der Aufgabe liegt darin, ein magnetisch leitendes Material so zu verformen, dass die von diesem Material geleiteten Flusslinien eine Fläche aufspannen, deren Rand flügelartige Ausbuchtungen aufweist. Diese 'Flügel' werden dann so angeordnet, dass auf einem einfachen Pfad, also Liniensegment, Kreis oder Teilkreis mehrere solcher Flügel (magnetische Windungen) durchdrungen werden können.

Um praxisgerechte Flächen mit derartigen 'Flügeln' (magnetische Windungen) zu erhalten, muss das magnetisch leitende Material spiralförmig geführt werden oder anisotrope Eigenschaften besitzen, die die Flusslinien auf eine spiralförmige Bahn bringen.

Durch diese spiralförmige (mäanderförmige) Pfadführung für den magnetischen Fluss erreicht man eine Mehrfachverkopplung jeder einzelnen Windung, die sich mit der einfachen Formel beschreiben lässt:

$$\text{Anz. Verkopplungen} = \text{Anz. elektr.} \times \text{Anzahl magn. Windungen}$$

Vorteile der erfindungsgemässen Lösung sind folgende:

- Mit einfach herzustellenden elektrischen Wicklungen kann ein hoher Magnetfluss im magnetischen Material erzeugt werden.
- Die elektrischen Wicklungen können niederohmiger ausgelegt werden und grösseren Drahtquerschnitt aufweisen.
- Mit einer kleinen Flussänderung kann in der entsprechenden elektrischen Wicklung eine hohe Spannung erzeugt werden. (Dies wirkt sich insbesondere bei derart ausgestalteten allen Arten von Sensoren, bei denen der Magnetfluss bzw. eine Magnetflussänderung in ein elektrisches Signal gewandelt werden muss, vorteilhaft aus.)
- Dieses Verfahren lässt symmetrische Konstruktionen zu, bei denen das Risiko von lokalen Kernsättigungen minimalisiert werden kann.

Im folgenden wird die Erfindung anhand mehrerer prinzipieller Darstellungen und einer Anzahl von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1a** Ein erste Ringkern-Anordnung mit einer Wicklung nach dem Stand der Technik;
- Fig. 1b** eine erste Modell-Vorstellung mit Hilfe einer Ringkern-Anordnung;
- 5 **Fig. 1c** eine zweite Modell-Vorstellung mit Hilfe einer Ringkern-Anordnung;
- Fig. 2a** eine zweite Ringkern-Anordnung nach dem Stand der Technik;
- Fig. 2b** die zweite Ringkern-Anordnung mit einer dritten Modell-Vorstellung;
- 10 **Fig. 2c** die zweite Ringkern-Anordnung mit einer Modell-Vorstellung analog **Fig. 1b**;
- Fig. 2d** die zweite Ringkern-Anordnung mit einer Modell-Vorstellung analog **Fig. 1c**;
- 15 **Fig. 2e** die zweite Ringkern-Anordnung mit einer verdrehten Wicklung und erfindungsgemässer Lösung;
- Fig. 2f** die zweite Ringkern-Anordnung mit einer regelmässigen 2-Windungs-Wicklung gemäss erfindungsgemässer Lösung;
- 20 **Fig. 3** ein erstes Ausführungsbeispiel eine praktischen Anordnung;
- Fig. 4a** eine Prinzipdarstellung eines Rechteck-Kerns mit zwei Wicklungen nach dem Stand der Technik;
- Fig. 4b** die Prinzipdarstellung aus **Fig. 4a** mit der dritten Modell-Vorstellung analog **Fig. 2b**;
- 25 **Fig. 4c** die Prinzipdarstellung aus **Fig. 4a** geformt nach der erfindungsgemässen Lehre;
- Fig. 4d** die Prinzipdarstellung aus **Fig. 4a** geformt nach der erfindungsgemässen Lehre mit regelmässiger 2-Draht-Wicklung;
- 30 **Fig. 5** die Prinzipdarstellung aus **Fig. 4d** mit inhomogener Rechteck-Kern-Ausbildung;
- Fig. 6** die Prinzipdarstellung aus **Fig. 4d** mit zwei getrennten magnetischen Wicklungszügen;
- 35 **Fig. 7** eine Prinzipdarstellung eines Drei-Steg-Kernwandlers mit Anwendung der erfindungsgemässen Lehre auf dem Mittelsteg;
- Fig. 8** ein zweites Ausführungsbeispiel einer praktischen Anordnung;
- 40 **Fig. 9** die Verifikation der praktischen Anordnung aus **Fig. 8** mit Modell-Annahmen;
- Fig. 10** ein drittes Ausführungsbeispiel einer praktischen Anordnung;
- Fig. 11** eine Prizipdarstellung einer Variante der Anwendung der erfindungsgemässen Lehre;
- 45 **Fig. 12** eine Variante des in **Fig. 8** gezeigten Ausführungsbeispiels;
- Fig. 13** die Verifikation der praktischen Anordnung aus **Fig. 12** mit Modell-Annahmen.

50 **Fig 1a** zeigt eine Anordnung aus dem Stand der Technik mit einem sogenannten ersten in der Wandler-Technik bekannten, Ringkern 1 aus weichmagnetischem Material (z.B. Ferrit oder Eisen, also Material mit einer Permeabilität 1), auf dem eine Wicklung 2 (elektrischer Leiter) aus elektrisch leitfähigem Material (z.B. Kupfer) mit Wicklungsanfang 3 und Wicklungsende 4, vorgesehen ist.

Bei dieser Anordnung besitzt die Wicklung 8 (acht) Windungen, das heisst der Draht der Wicklung 2 wurde achtmal durch die Öffnung des Ringkern 1 hindurchgeführt.

Weichmagnetisches Material wirkt wie ein Leiter für die magnetischen Flusslinien und zwar grob gesagt um den Wert μ besser als Luft oder Vakuum. Die Flussliniendichte entspricht der magnetischen Induktion B mit der SI Einheit *Tesla* (Vsm) und das Flächenintegral der Flussliniendichte einem Fluss oder Magnetfluss mit der SI Einheit *Weber* (Vs). Flusslinien sind dabei immer geschlossene Kurven. Wenn man nun in Gedanken den Querschnitt des Ringkernes

zu Null schrumpfen lässt ohne die Anzahl der Flusslinien (beziehungsweise den Magnetfluss) zu beeinflussen, dann konzentrieren sich schliesslich alle Flusslinien auf die Mittenlinie des Ringkernes (Flusslinien und Mittenlinie sind in den Figuren der Übersichtlichkeit halber nicht eingezeichnet). Diese Mittenlinie ist in der vorliegenden Anordnung eine Kreislinie, die eine Kreisfläche aufspannt. Die Anzahl der Durchdringungen des elektrischen Leiters durch diese Fläche entspricht der Anzahl der Windungen. Obwohl diese Kreisfläche keine physikalische Bedeutung hat, handelt es sich um eine anschauliche Methode, um zu bestimmen, wie oft der Magnetfluss von einem elektrischen Leiter erfasst wird, beziehungsweise wieviel Windungen im klassischen Sinn eine Wicklung aufweist. Das elektrische Signal an den Drahtenden verhält sich nämlich so, als wäre der tatsächlich vorhandene Magnetfluss um die Anzahl der Windungen (beziehungsweise mit den Durchdringungen) multipliziert.

In einer weiteren modellhaften Anordnung, wie sie **Fig 1b** zeigt, hat man sich vorzustellen, ein zweiter Ringkern **1*** aus weichmagnetischem Material sei plastisch verformbar. Wenn man einen elektrischen Leiter **2*** immer mehr spannt, dann würde sich dieser plastisch deformierbare zweite Ringkern **1*** so verformen, dass zweiter Ringkern **1*** und elektrischer Leiter **2*** sich zunächst gegenseitig umschlingen würden. Die Mittenlinie des zweiten Ringkerns **1*** wäre jetzt keine ebene Kurve mehr, sondern eine Spirale. Die Fläche die von dieser Mittenlinie aufgespannt würde, besäße einen achtfach verformten, welligen Rand. Trotzdem durchdringt die elektrische Wicklung diese aufgespannte Fläche achtmal, also immer noch gleich wie in **Fig. 1a**.

In der Weiterführung der Modellvorstellung wird nun der elektrische Draht immer weiter verkürzt -wie in **Fig. 1c** gezeigt-, d.h. der plastisch verformbar angenommene dritte Ringkern **1**** muss immer mehr weichen bis er zuletzt den elektrischen Draht in Form einer Spirale umschlingt und damit eine erste Ausführung der erfindungsgemässen Lehre darstellt.

Die Mittenlinie des dritten Ringkerns **1**** spannt nun eine Fläche mit acht Flügeln auf. In Praxis gesehen ähnelt eine solche Oberfläche der Oberfläche eines Lüfters (Ventilators) oder einer Schiffsschraube. Die acht Flügel werden also vom elektrischen Leiter, der jetzt zu einer Windung geworden ist, durchdrungen. Die ursprüngliche Wicklung 'mit acht Windungen' reduziert sich jetzt auf eine einfache Kreislinie, die elektrisch immer noch den achtfachen Magnetfluss des verformten dritten Ringkerns erzeugt.

Eine weitere Anordnung, wie in **Fig. 2a** gezeigt, lässt eine prinzipielle Konfiguration mit zwei Wicklungslagen in der modellhaften Vorgehensweise gleich den **Figuren 1a, 1b** und **1c**, erläutern. Um einen ersten Ringkern **1** sind zunächst zwei, eine erste Wicklung **2a**, mit einem Wicklungsanfang **3a** und einem Wicklungsende **4a**, und eine zweite Wicklung **2b** mit ebenfalls einem Wicklungsanfang **3b** und einem Wicklungsende **4b**, Wicklungen **2a** und **2b** angeordnet. (Der Übersichtlichkeit halber ist die zweite Wicklung **2b** entlang des ersten Ringkerns mit einer weissen Mittenlinie ausgeführt)

Gemäss **Fig. 2b** wird das Wicklungsende **4a** der ersten Wicklung **2a** mit dem Wicklungsanfang **3b** elektrisch durch eine Zusammenführung **5** fest verbunden. Beide Wicklungen **2a** und **2b** verschmelzen damit zu einer einzigen Wicklung mit insgesamt 16 (sechzehn) Windungen.

Wie in **Fig. 1b** modellhaft angenommen, hat man sich jetzt wieder vorzustellen, der weichmagnetisch aufgebaute zweite Ringkern **1*** sei plastisch verformbar -wie in **Fig. 2c** dargestellt-. Durch Spannen des elektrischen Drahtes, beziehungsweise der Wicklung weicht der Ringkern auch diesmal zu einer Spiralförmigkeit aus. Dieses Spannen kann man sich so vorstellen, dass immer eine Windung der ersten Wicklung **2a** und eine Windung der zweiten Wicklung **2b** nahe zusammenliegen. Der plastisch gedachte zweite Ringkern **1*** verformt sich also zu einer Spirale mit acht Umgängen, obwohl die gesamte elektrische Windungszahl sechzehn (16) beträgt.

In **Fig. 2d** ist der dritte Ringkern **1**** fertig verformt, jedoch sind die erste und zweite Wicklung **2a** und **2b** noch verdrillt. Es zeigt sich jedoch, dass ganz gleich ob die erste und zweite Wicklung **2a** und **2b** verdrillt sind, wie in dieser Figur gezeigt, oder ob die beiden Wicklungen glatt nebeneinander verlaufen, wie dies in **Fig. 2e** gezeigt ist, die vom Ringkern aufgespannte Fläche wird vom elektrischen Leiter 16 (sechzehn)-mal durchdrungen und besitzt damit die Eigenschaft einer Wicklung mit 16 Windungen.

Gemäss **Fig. 2f** ist das eigentliche Endergebnis der Modellvorstellung gezeigt: Es braucht also nicht mehr zwei gesonderte Wicklungen **2a** und **2b**, sondern die Anordnung kann prinzipiell aus einer zweifachen Schlaufe bestehen, die in den dritten Ringkern **1**** eingelegt ist.

In **Fig. 3** ist ein erstes praktisch erprobtes Ausführungsbeispiel gezeigt, das sich besonders gut als Stromtransformator mit hohem Übersetzungsverhältnis einerseits und als Gleichstrommesseinrichtung andererseits eignet.

Die gezeigte Anordnung spannt eine durch einen Rand eines magnetischen Pfades **30, M** begrenzte Fläche **F**, gebildet durch zwanzig (20) sogenannte Brückenelemente **31**, jeweils mäanderartig miteinander durch entsprechende Stegelemente **32** so verbunden, dass sie käfigartig ein im Innern vorgesehene Wicklungspaket **36** (was aus einer oder mehreren Wicklungen mit je einer oder mehreren Windungen bestehen kann) umgeben. Jedes Wicklungspaket **36** kann dabei einen oder mehrere Wicklungen mit je einem Wicklungsanfang **33** und einem Wicklungsende **34** umfassen, wobei jede einzelne Windung durchdringt die aufgespannte Fläche **F** also zwanzig Mal. Ein im Zentrum der Fläche **F**, senkrecht zu dieser verlaufender Stromleiter **37** (von dem der Übersichtlichkeit wegen nur ein kurzer Abschnitt gezeichnet ist), durchdringt die Fläche **F** hingegen nur ein einziges Mal.

Das ergibt also für einen Stromtransformator ein hohes Übersetzungsverhältnis zwischen dem Stromleiter 37 und dem Wicklungspaket 36. Eingesetzt für die Gleichstrommessung wird der Strom in das Wicklungspaket 36 eingespiessen und der Magnetfluss **M** im magnetischen Pfad 30 zu Null geregelt (Kompensationsprinzip).

Die Konstruktion des mäanderförmigen Käfigs aus Brückenelementen 31 und Stegelementen 32 erfolgt aus Ferritstäben oder aus Eisenblechpaketen, die zusammensetzbar gestaltet sind.

Als Variante dieser konstruktiven Gestaltung für die Herstellung solcher Wicklungskäfige ist das Umwickeln bzw. Umschlingen des elektrischen Wicklungspaketes 36 mit weichmagnetischem Draht (Drähten) oder einem oder mehreren Bändern oder die Ausbildung von Paketen weichmagnetischer Drähte (Bänder) zu einer Spirale vorgesehen.

Eine weitere Variante dieser konstruktiven Gestaltung für die Herstellung solcher Wicklungskäfige stellt die Verwendung eines anisotropen Materials dar, aus der der Käfig als Hohltorus gefertigt wird, wobei das anisotrope Material so erzeugt wird, dass ein spiralförmiger Verlauf des magnetischen Flusses gewährleistet ist.

Ferner ist wichtig zu beachten, dass der Kern für die Führung des magnetischen Flusses erstens keine Rotations-symmetrie aufweisen muss. In Fig. 4a ist ein Kern 48 aus magnetisch leitendem Material gezeigt, der eine rechteckige Fläche umspannt und auf dessen einem Steg eine Doppelwicklung 42 mit drei Windungen, den entsprechenden Wicklungsanfängen 43 und den entsprechenden Wicklungsenden 44, aufgewickelt ist. Wieder wird von der in den Figuren 1a, 1b, und 1c skizzierten Modellvorstellung ausgegangen durch schrittweises Verformen des Kern zu einem solchen zu gelangen, dessen Rand 46 die Form einer Spirale aufweist -siehe Fig. 4c und 4d- und dessen Inneres 47 die käfigartige Umschlingung eines über einen Verbindungspunkt 45 -wie in Fig. 4b gezeigt miteinander verbundenen zwei Windungen, darstellt.

Zudem muss erwähnt werden, dass der Kern für die Führung des magnetischen Pfades zweitens nicht dem ganzen Pfad entlang einen konstanten Querschnitt aufweisen muss. In Fig. 5 ist ein Rechteck-U-Kern 50 aus magnetisch leitendem Material mit einem Luftspalt 52, einem Teilluftspalt 53 sowie einer lokalen Verdickung 51 dargestellt. Alle diese 'Unregelmässigkeiten' können einzeln und in beliebiger Kombination in einer Führung eines solchen magnetischen Pfades vorkommen.

Zur Verstärkung des Feldes kann auch vorgesehen werden, Teilzonen 60a und 60b auf den Schenkeln eines Rechteck-, U- oder Schnittband-Kernes 61 -siehe dazu Fig. 6- unabhängig voneinander in Spiralförmigkeit auszuführen und getrennte Wicklungen darin zu plazieren. Die Querstege sind bei dieser Ausführungsform nicht mit magnetischen Windungen beaufschlagt.

Eine weitere prinzipielle Variante -wie in Fig. 7 dargestellt stellt die Verwendung eines E-schenkelförmig gebildeten Kerns dar. Dabei werden zwei, auf je einem ersten Teilschenkel 70 und auf je einem zweiten Teilschenkel 71 angeordneten ersten 73 und zweiten 74 Wicklungen erzeugten Flüsse auf dem mit magnetischen Windungen versehenen Mittelschenkel 72, der wiederum Spiralförmigkeit aufweist, zusammengeführt. Auf dem Mittelschenkel 72 ist dann eine weitere Wicklung 75 angeordnet.

In der Praxis ist es bei einer weiteren Ausführung, wie in Fig. 8 dargestellt, teilweise notwendig auch die Windungen einer Wicklung konstruktiv der Führung des magnetischen Flusses anzupassen. Die Spiralförmigkeit des magnetischen Pfades kann nämlich unter Umständen so schwach ausgebildet sein, dass die Stromleiter -würden sie auf perfekten Geraden oder Kreisbögen geführt- die 'Flügel' der aufgespannten Fläche nicht mehr durchdringen können, sondern dies ist nur möglich, wenn die Stromleiter konstruktiv so geführt werden, dass sie von den magnetischen Fluss umschlungen werden.

Eine Konstruktion mit solchen wellig verlaufenden Stromleitern ist in Fig. 8 gezeigt. Ein von einer Primärwicklung 87 erzeugter magnetischer Fluss wird über ein erstes magnetisch leitendes Element 84 und mehrere, jeweils paarweise mit ihren Aussenschenkeln 81 und 85 aufeinander abgelegte Z-förmige Kernschenkel 80, die einen in zwei Ebenen verlaufenden gitterförmigen magnetischen Pfad bilden, der im Mittelschenkel 82 von einer elektrischen Wicklung 88 umfasst wird, geführt. Die elektrische Wicklung 88 durchdringt dabei die vom magnetischen Pfad aufgespannte Fläche über zwei Durchgänge 89a und 89b je viermal und besitzt dabei ein Strom-Transformations-Verhältnis von eins zu acht (1:8) mit der Primärwicklung 87, die die Fläche nur einmal durchdringt.

Die wellenförmige Ausbildung 86, die die Windungen der elektrischen Wicklung 88 bei ihrem Weg um die Mittelschenkel 82 aufweisen, sind nicht in Vergleich zu bringen mit den bei elektrischen Wicklungen üblichen Spiralwindungen.

Sowohl das erste magnetische Element 84 wie auch der Z-förmige Kernschenkel 80 mit seinen beiden Aussenschenkeln 81 und 85 sind aus gestanzten und geschichteten Transformatorblechen aufgebaut.

Selbstverständlich kann diese Konstruktion auch vorteilhafterweise, in anderen Grössenverhältnissen als bisher besprochen, in Anlehnung an die in der Halbleiter- und Mikroelektronik üblichen Verfahren, nämlich Ätzen, Aufdampfen, Diffusion und Verwendung von Photomasken, hergestellt werden. Die besonders platzsparende Anordnung -gegenüber den bisher üblichen Verfahren, die Wandler bei diesen Anwendungen in Form von diskreten Bauteilen herzustellen und dann als Teile auf Printplatten aufzusetzen- macht sich hier besonders vorteilhaft bemerkbar.

In Fig. 9 wird das aufgrund der konstruktiven Lösung in Fig. 8 dargelegte Prinzip in Modelldarstellung skizziert. Die aus der Fig. 8 magnetisch aufgespannte und in Fig. 9 übernommene Fläche ist in Fig. 9 als Wirkfläche 91 von der punktierten Mittellinie 99 umrandet. In der perspektivischen Darstellung ist die 'Welligkeit' dieser Fläche erkennbar. Die Fläche besitzt bei diesem Ausführungsbeispiel vier sogenannte Flügel 92. Verfolgt man den elektrischen Pfad einer

Wicklung 98 (in Fig. 8 / Wicklung 88) indem man am Wicklungsanfang 93b startet und in Richtung der Pfeile folgt, dann durchdringt dieser Pfad die Wirkfläche 91 via den ersten Durchdringungen 90a bis 90h bis zum Wicklungsende 94b achtmal. Die Reihenfolge der Durchdringungen entspricht dabei der der alphabetischen.

Die Primärwicklung 97 (in Fig. 8 / 87) mit Primärwicklungsanfang 93a und Primärwicklungsende 94a durchdringt die Wirkfläche 91 nur einmal über die zweite Durchdringung 90i. Im übrigen sind alle Durchdringungen so von den Windungen durchlaufen, dass der elektrische Pfad die Wirkfläche 91 jeweils von unten nach oben durchdringt.

Durch Verwendung von magnetischem Material mit anisotropen magnetischen Eigenschaften kann erreicht werden, dass die Flusslinien elektrische Leiter umschlingen, ohne dass dies aus der äusseren Geometrie des magnetischen Materials ersichtlich ist, wie in den bis hierher erläuterten Ausführungsbeispielen.

In Fig. 10 ist ein Beispiel einer solchen Konstruktion perspektivisch dargestellt. Ein zylinderförmiger Magnetkern 102 mit anisotropen magnetischen Eigenschaften, bewirkt, dass die entsprechenden Flusslinien im Material wie mit den Pfeilen 106 angedeutet einen schrauben- bzw. spiralförmigen Pfad annehmen, da dieser Pfad den geringsten magnetischen Widerstand aufweist.

Dass magnetisches Material anisotrope Eigenschaften aufweisen kann, ist bekannt (Boll: Soft Magnetic Material, SIEMENS, 1979, Seite 27). Solch anisotropes Material kann durch mechanische Verformung oder Glühen im Magnetfeld von besonderen Legierungen sowie durch strukturiertes Einlagern von magnetischen Partikeln in eine Bindemasse hergestellt werden. Die Partikel für diese letzte Variante können mikroskopisch klein sein, sie können aber auch gut sichtbare Dimensionen erreichen, wie beispielsweise bei geschichteten Blechen und/oder Drähten.

Der magnetische Pfad ist in Fig. 10 durch ein Joch 103 aus magnetischem Material geschlossen. Die Sekundärwicklung 104 durchdringt die von den Flusslinien 106 aufgespannte Fläche so oft, wie die Flusslinien im zylinderförmigen Magnetkern 102 spiralförmige Umgänge aufweisen.

Das Transformationsverhältnis zwischen einer Primärwicklung 105 und der Sekundär-Wicklung 104 ist durch die Anisotropie (Steigung) des magnetischen Materials beeinflussbar.

In Fig. 11 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel für den prinzipiellen Aufbau eines magnetischen Pfades 106 eines Transformators mit einem Übersetzungsverhältnis von zwei zu eins in perspektivischer Darstellung skizziert.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Spiralförmigkeit nicht schraubenförmig ausgebildet, sondern liegt in einer Ebene. Die von diesem Pfad aufgespannte Fläche besitzt somit 'Flügel', die ineinander verschachtelt sind.

Die eine Windung der einen Wicklung 117 durchdringt die aufgespannte Fläche zweimal, die eine Windung der anderen Wicklung 118 durchdringt die Fläche jedoch nur einmal.

Der in die Ebene verlegte magnetische Pfad lässt sich vorteilhafterweise weiter nutzen. Wie in einem Ausführungsbeispiel in Fig. 12 gezeigt verläuft eine entsprechende Sekundär-Wicklung 128, mit einem entsprechenden Wicklungsanfang 123b und einem Wicklungsende 124b jetzt noch stärker gewellt (mäanderförmig) als dies im Ausführungsbeispiel der Fig. 8 vorgesehen ist. Solche wellenförmige Ausbuchtungen 126 unterscheiden sich hingegangen deutlich von in der klassischen Transformator-Technik üblichen Windungen.

Ebenfalls wie in Fig. 8 verläuft ein von einer Primär-Wicklung 127, mit einem entsprechenden Wicklungsanfang 123a und einem Wicklungsende 124a, erzeugter magnetischer Fluss über ein ein magnetisch leitendes Element 124, das im Bereich der Kopplung mit der Sekundär-Wicklung 128 eine mäanderförmige Gitterstruktur aufweist.

Auch hier wird die prinzipielle Darstellung der Anordnung wie sie im Ausführungsbeispiel der Fig. 12 gezeigt ist in Modell-Darstellung nachvollzogen. In dieser Fig. 13 ist die von einer Mittenlinie 139 umrandete Wirkfläche 131 im Gegensatz zur Wirkfläche 91 in Fig. 9 eben. Ansonsten gelten alle anderen Aussagen entsprechend.

Anordnungen wie sie in den Figuren 12 und 13 dargestellt sind lassen sich vorteilhaft gemäss den zuvor beschriebenen in Anlehnung an die Halbleiter- und Mikrotechnik bekannten Verfahren herstellen wie Ätzen, Aufdampfen, Diffusion und Verwendung von Photomasken herstellen.

Der Übersichtlichkeit halber sind in den Ausführungsbeispielen ausnahmslos Einphasen-Anordnungen dargestellt. Die erfindungsgemässe Lehre lässt sich jedoch genau gleich bei Mehrphasen-Anordnungen, insbesondere bei Drehstromanordnungen anwenden und/oder verwirklichen. (siehe dazu auch beispielsweise Fig. 7)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verkopplung magnetisch leitenden Materials (1) mit wenigstens einer elektrischen Wicklung (2), insbesondere zum Einsatz bei elektrischen Strom- und Spannungswandlern, **dadurch gekennzeichnet**, dass

Mittel, beziehungsweise Massnahmen, zur Beeinflussung der Führung des magnetischen Flusses im magnetisch leitenden Material (1, 1*, 1**) vorgesehen werden, die es ermöglichen mit pro einer Windung der elektrischen Wicklung (2, 2*) mehr als eine magnetische Verkopplung zu erreichen (Fig. 1c).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

die Mittel zur Beeinflussung der Führung des magnetischen Flusses in der geometrischen Gestaltung des magne-

tisch leitenden Materials liegen und der magnetische Pfad derart geführt wird, dass magnetische Windungen (1**) erzeugt werden.

- 5 3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die magnetischen Windungen durch spiralförmige und/oder mäanderförmige Führung des magnetischen Flusses erzeugt werden (Fig. 1c; Fig. 2e + Fig. 2f; Fig. 3).
- 10 4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
die magnetischen Windungen eine verschachtelte Anordnung (Fig. 11) aufweisen.
- 15 5. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die magnetischen Windungen durch spiralförmige und/oder mäander Führung des magnetischen Flusses in anisotropem Material erzeugt werden (Fig. 10).
- 20 6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 2 - 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die magnetischen Windungen die Windungen der elektrischen Wicklungen umschlingen (Fig. 1c; Fig. 2e + Fig. 2f; Fig 3).
- 25 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die magnetischen Windungen nur in einem Teil des magnetisch leitenden Materials (Fig. 4c + Fig. 4d; Fig. 5, Fig. 7) ausgebildet sind.
- 30 8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die magnetischen Windungen und die elektrischen Windungen (Fig. 13) durch Ätzen, Aufdampfen, Diffusionstechnik, Verwendung von Photomasken und andere in der Microtechnik übliche Verfahren, hergestellt werden.
- 35 9. Verfahren zur Herstellung eines Strommesswandlers, insbesondere in Hochstrom-Messsystemen, mit einer einzigen stabförmigen Windung (37) einer ersten (Primär-) Wicklung und einer ein oder mehrere Windungen umfassenden zweiten (Sekundär-) Wicklung (36)
dadurch gekennzeichnet, dass
 - 40 - die elektrischen Windungen der zweiten (Sekundär-) Wicklung(en) (36) zylinderförmig um die stabförmige Windung (37) angeordnet und
 - die elektrischen Windungen der zweiten (Sekundär-) Wicklung(en) (36) käfigartig von dem magnetisch leitenden Material umschlungen werden.
- 45 10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
als magnetisch leitendes Material weichmagnetische Bänder oder Drähte verwendet werden.
- 50 11. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
das magnetisch leitende Material (1) Zonen aufweist, in denen die Windungen wenigstens einer elektrischen Wicklung (2) mehrfach vom magnetischen Material (1) umschlungen sind.
- 55 12. Anordnung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
das magnetisch leitende Material (1) Zonen aufweist, in denen spiral- und/oder mäanderförmige magnetische Windungen (1**, 31+32, 46+47) vorgesehen sind.
13. Anordnung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass

- das magnetisch leitende Material (1) in Form eines Hohl-Torus um die Windungen einer ersten elektrischen Wicklung (36) geführt
- die Windungen der ersten Wicklung (36) im Bereich des Hohl-Torus senkrecht zu einer (der) Windung(en) einer zweiten elektrischen Wicklung (37) verlaufen.

5

14. Anordnung nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
 der Hohl-Torus durch käfigartig die Windungen der ersten Wicklung (36) übergreifende, durch Stegelemente (32) miteinander verbundene Brückenelemente (31) gebildet ist.

10

15. Anordnung nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die den Hohl-Torus bildenden Stegelemente (32) und Brückenelemente (31) aus Ferritstäben oder aus Eisenblechpaketen zusammensetzbar vorgesehen sind.

15

16. Anordnung nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
 der Hohl-Torus durch käfigartig die Windungen der ersten Wicklung (36) umgreifende weichmagnetische Bänder und/oder Drähte gebildet ist.

20

17. Anordnung nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
 der Hohl-Torus durch ein hohlzylinderförmig die Windungen der ersten Wicklung (36) umgreifendes Rohr aus anisotropem Material gebildet ist.

25

18. Anordnung nach Anspruch 17,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Steigung des spiralförmig verlaufenden magnetischen Flusses im Hohl-Torus ein Mass für die Anzahl der magnetischen Windungen darstellt.

30

19. Anordnung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
 das magnetisch leitende Material (1) in an sich bekannter Kernform (Ring-, U-, E-Form) vorgesehen ist und mehrere Zonen (60a, 60b) aufweist, in denen spiral- und/oder mäanderförmige magnetische Windungen angeordnet sind.

35

20. Anordnung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
 das magnetisch leitende Material (124) sowie die Windungen einer ersten Wicklung (128) direkt auf einer planen Fläche herstellbar sind.

40

21. Anordnung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
 das magnetisch leitende Material (84, 124) Zonen aufweist, in denen U-gitterförmige magnetische Windungen (85) angeordnet sind, zwischen denen elektrische Windungen einer ersten Wicklung (82, 128) hindurchschlaufbar sind.

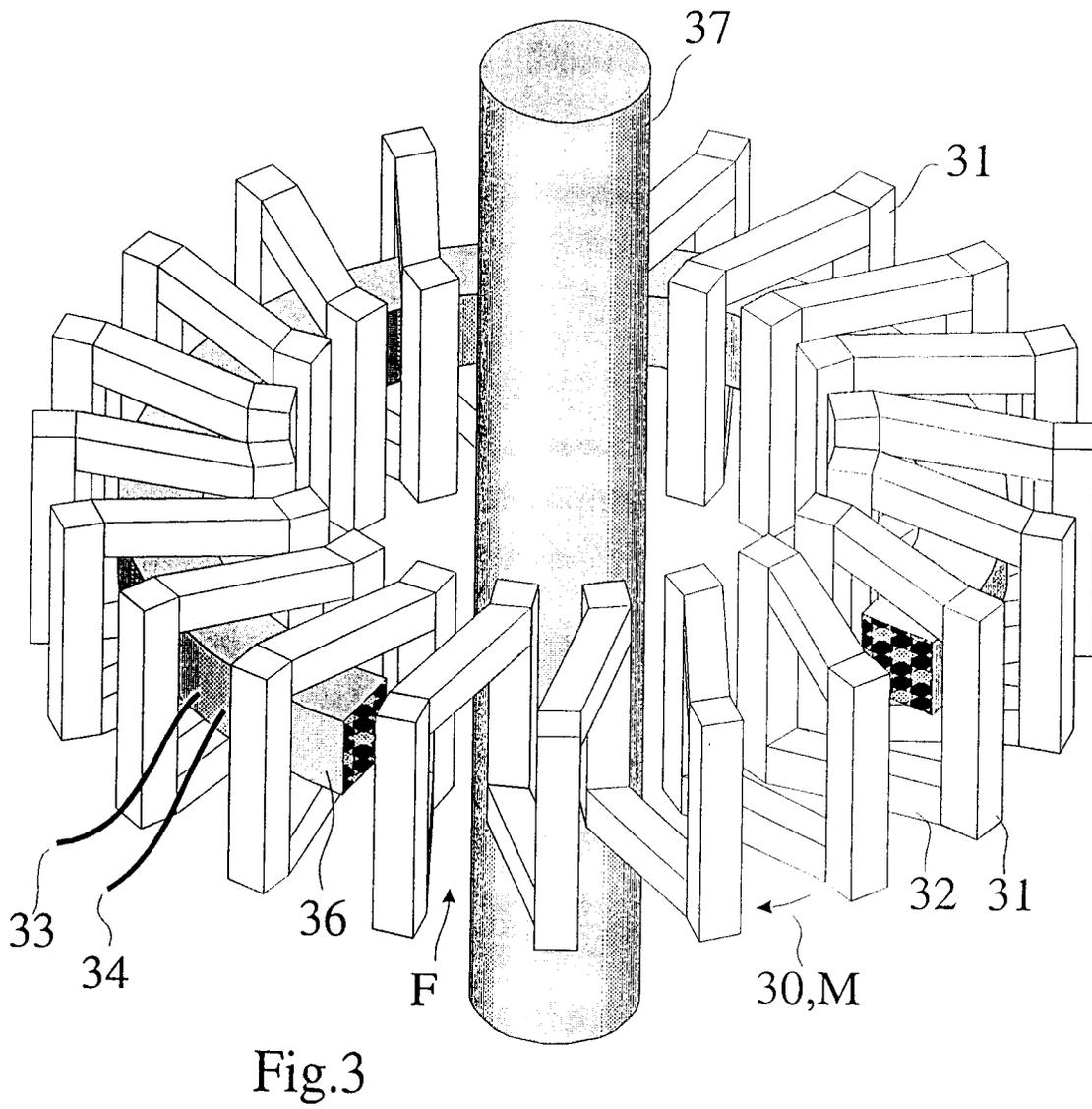
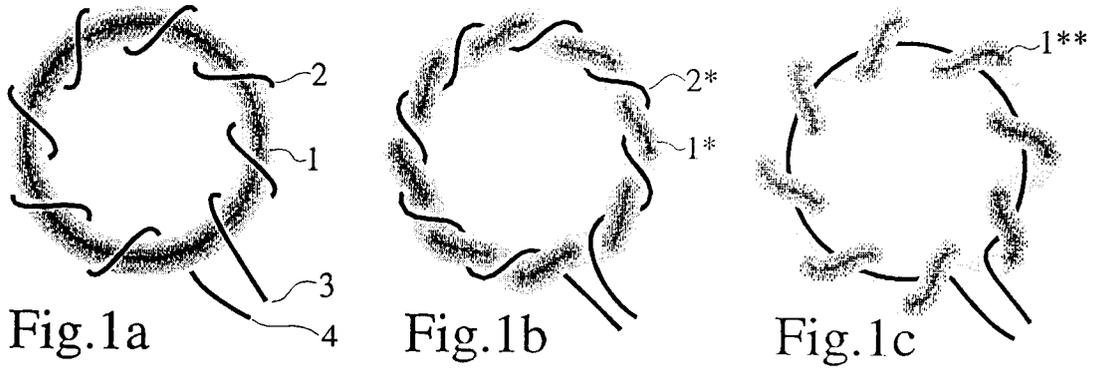
45

22. Anordnung nach Anspruch 21,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die U-gitterförmige magnetische Windungen (85) aus Z-förmigen Kernschenkeln (80) und über ihre Aussenschenkel (81, 85), aus gestanzten und/oder geschichteten Transformatorblechen gefertigten, durch Verbinden der Aussenschenkel (81, 85) herstellbar sind.

50

23. Anordnung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
 das magnetisch leitende Material (103) Zonen aufweist, in denen die magnetischen Windungen (102) durch hohlzylinderrohrförmig angeordnetes anisotropisches Material gebildet ist, wobei dabei die elektrische Windung(en) der ersten Wicklung (104) im Zentrum des Hohlzylinders geführt ist.

55



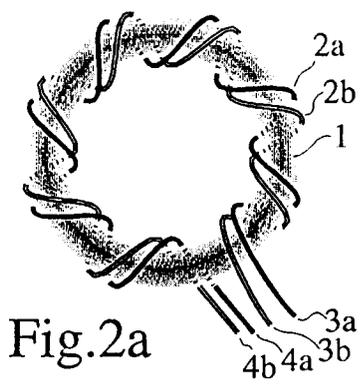


Fig. 2a

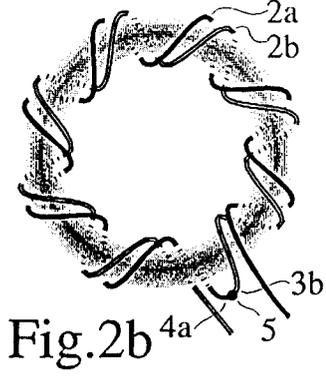


Fig. 2b

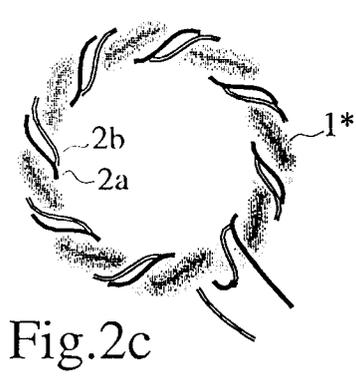


Fig. 2c

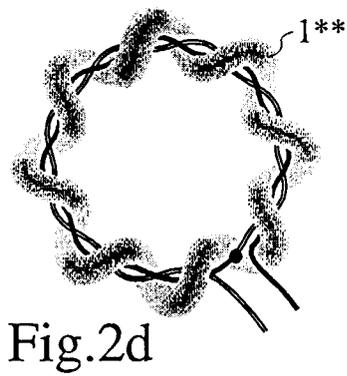


Fig. 2d

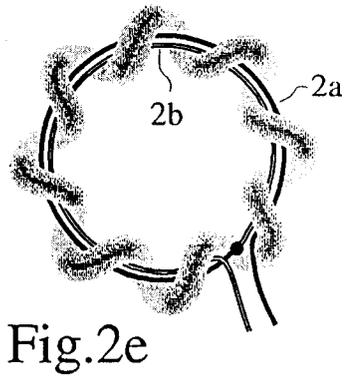


Fig. 2e

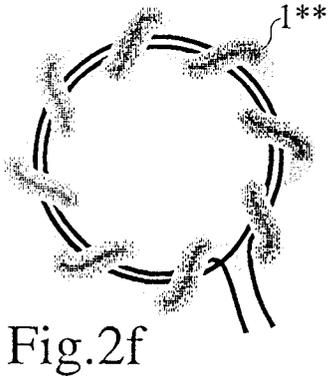


Fig. 2f

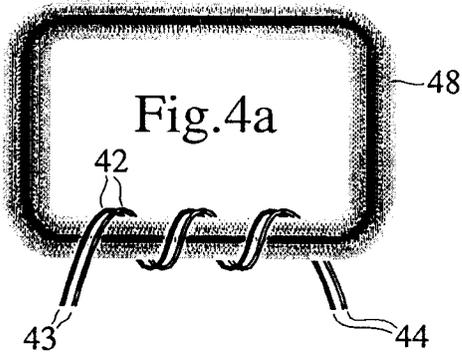


Fig. 4a

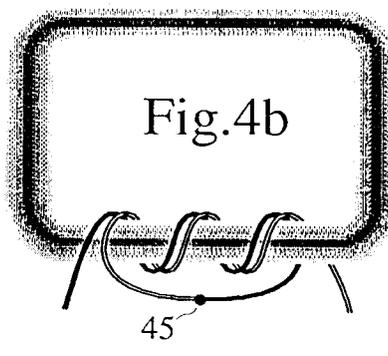


Fig. 4b

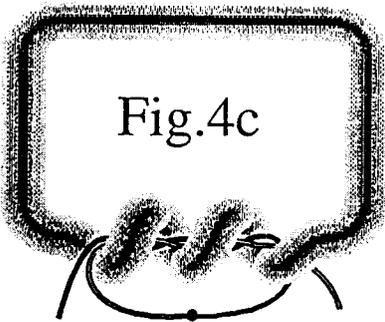


Fig. 4c

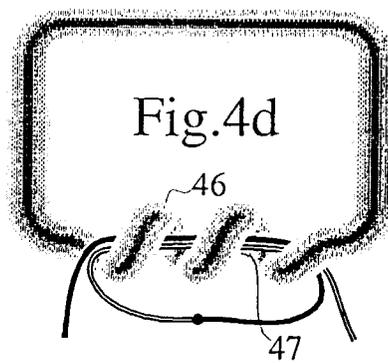


Fig. 4d

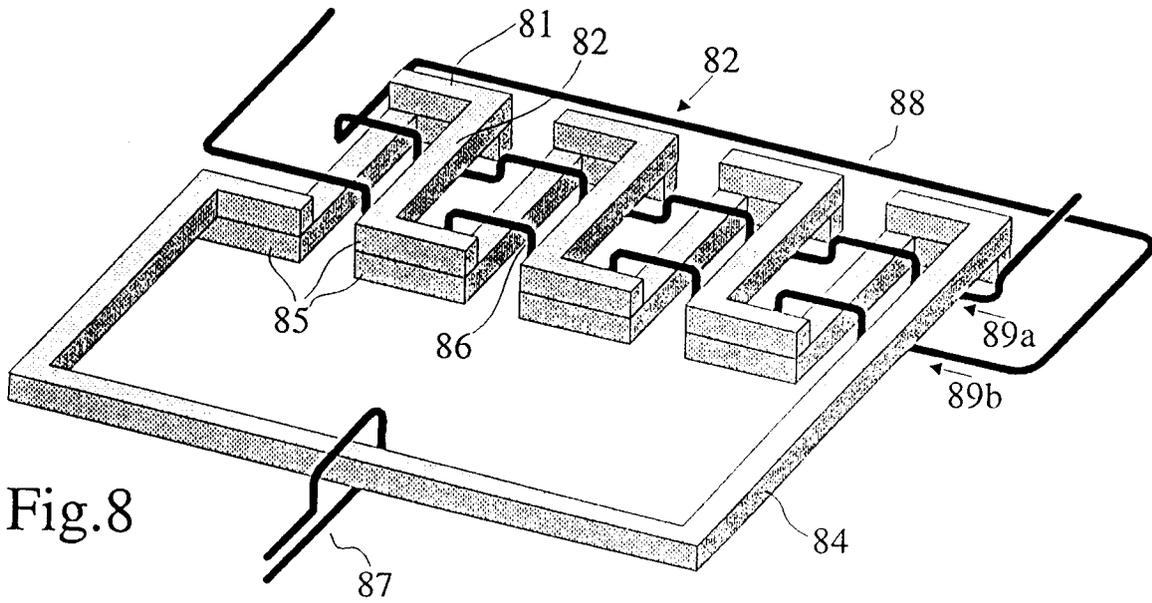


Fig. 8

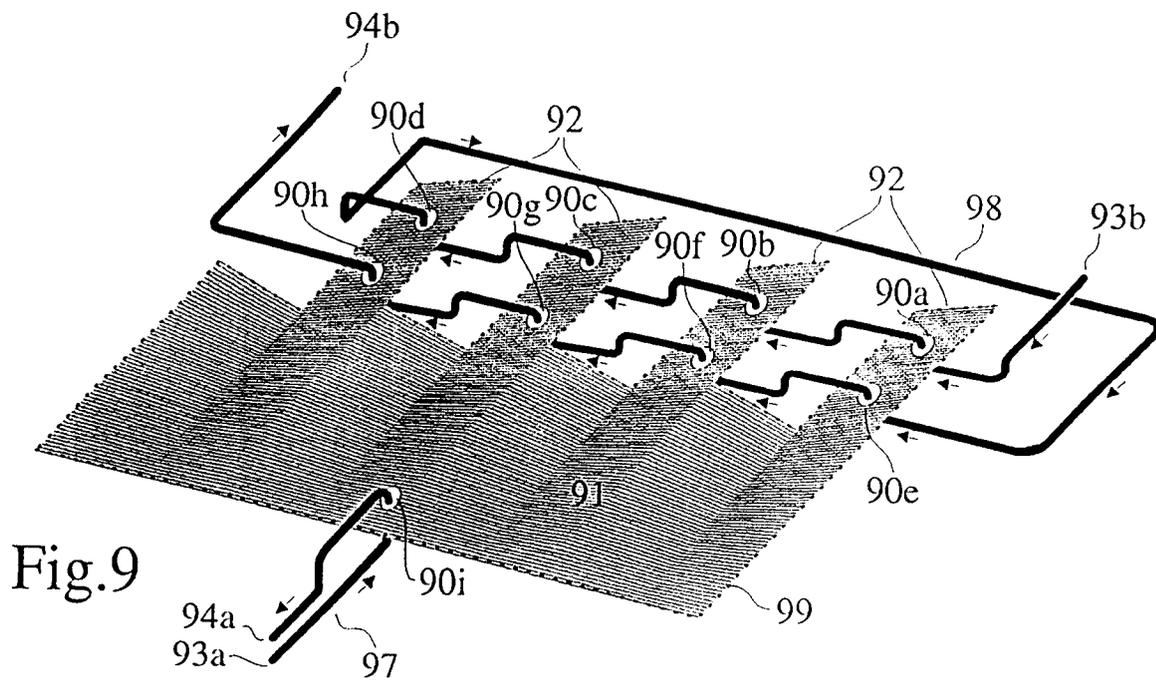


Fig. 9

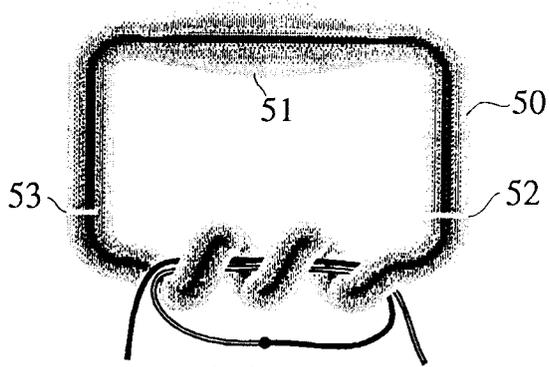


Fig. 5

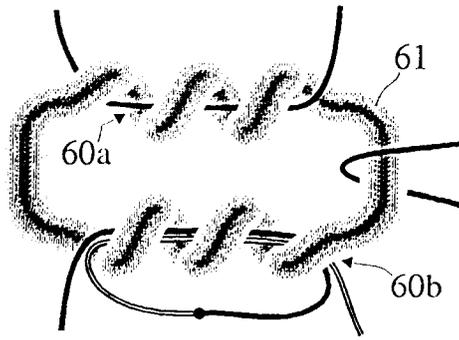


Fig. 6

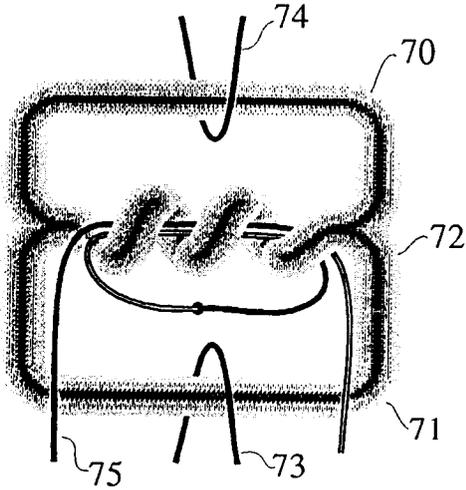


Fig. 7

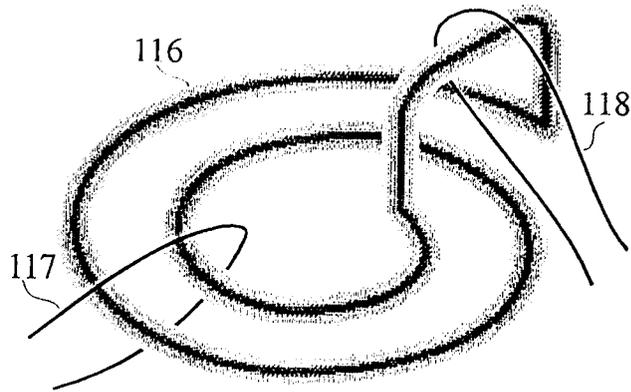


Fig. 11

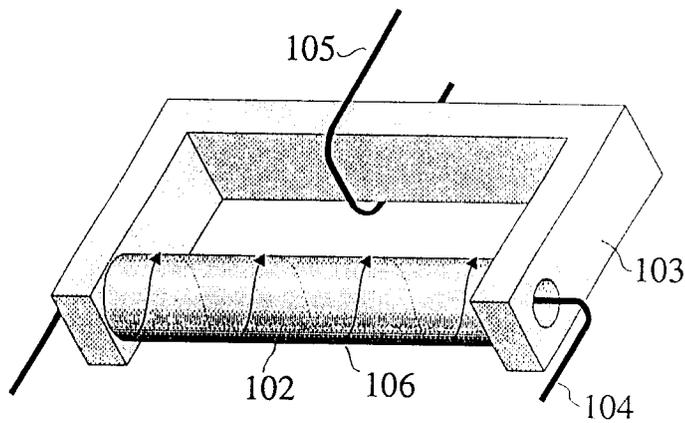
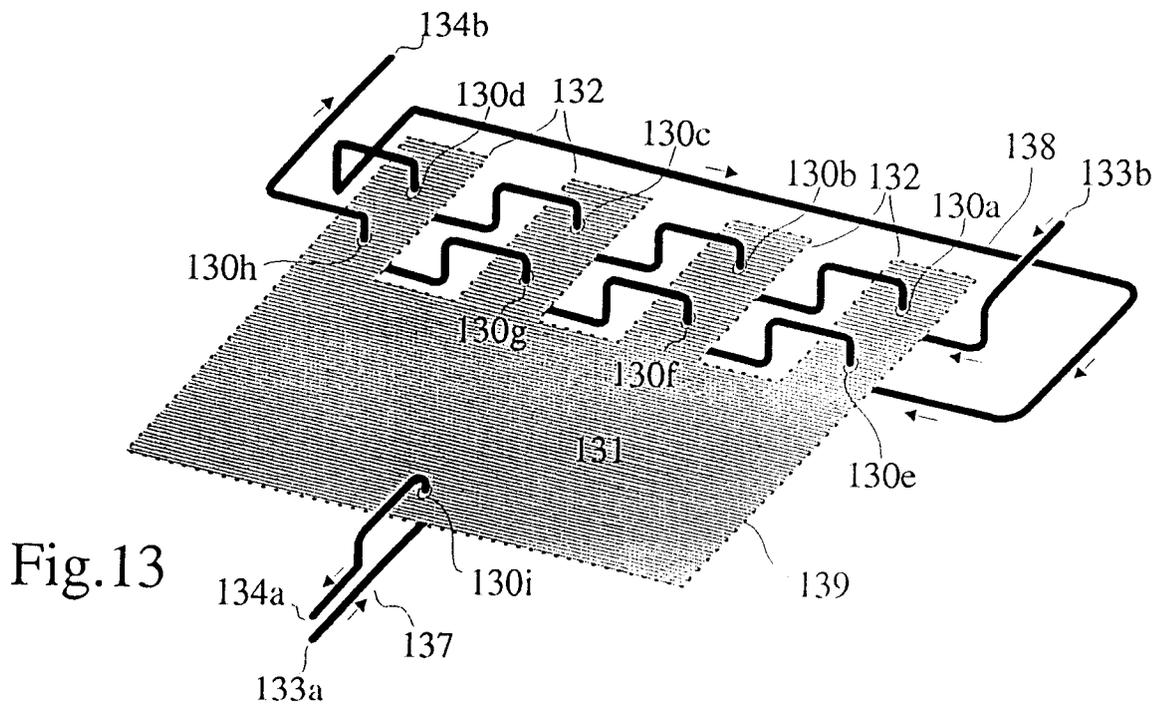
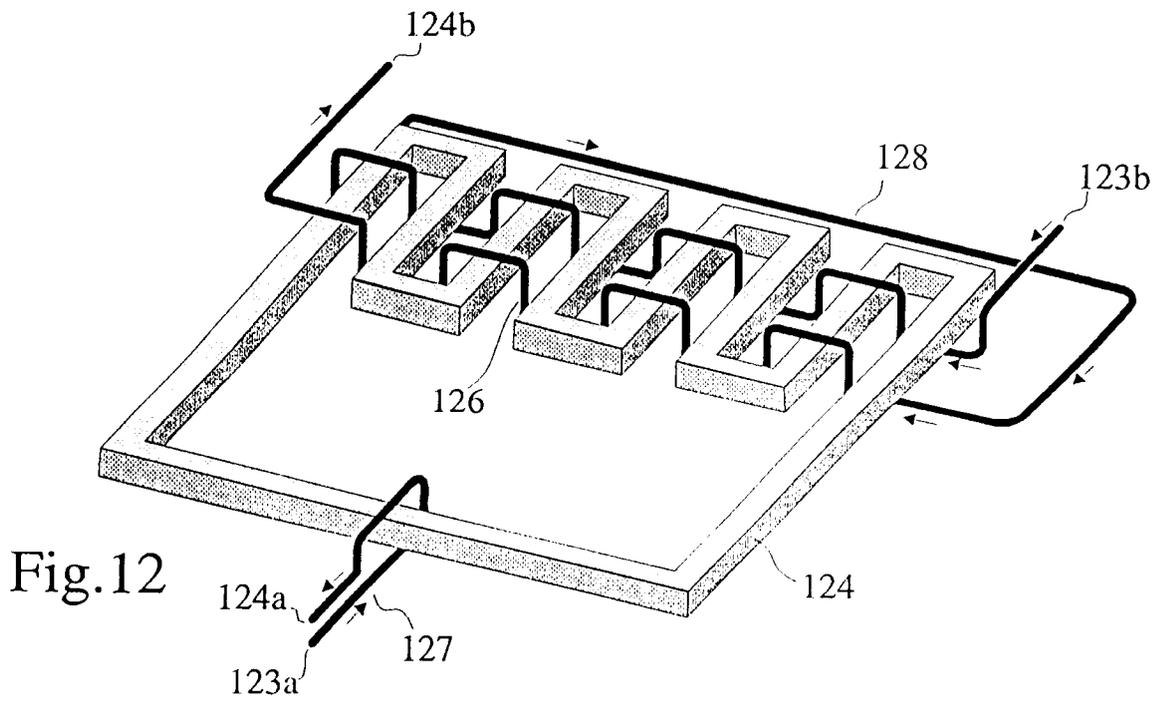


Fig. 10





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 95 11 4031

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	DE-A-20 62 476 (RITZ MESSWANDLER GMBH) 6.Juli 1972 * Seite 4, Zeile 1 - Seite 5, Zeile 12 * ---	1-4,6,9, 11-13	H01F38/30 H01F30/16 H01F17/00
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 9 no. 118 (E-316) [1841] ,23.Mai 1985 & JP-A-60 009109 (FUJITSU K.K.) * Zusammenfassung *	1-3,6,7, 11,12,19	
X	EP-A-0 352 924 (IBM) 31.Januar 1990 * Spalte 2, Zeile 51 - Spalte 3, Zeile 50 *	1-3,6, 11,12, 19-21	
A	EP-A-0 007 405 (GATH NICOLAS) 6.Februar 1980 * Anspruch 6 *	5,17,23	
A	IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Bd. 29, Nr. 6, 1.November 1993 Seiten 3210-3212, XP 000432431 YAMAGUCHI M ET AL 'ESTIMATION OF THE IN-SITU PERMEABILITIES IN THIN-FILM INDUCTORS' * Abbildung 1 *	8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) H01F
A	DE-A-22 25 396 (RITZ MESSWANDLER GMBH) 6.Dezember 1973 * Seite 3, Absatz 1 *	9,10,16	
A	DE-A-24 15 706 (H TIEFENBACH & CO DR) 2.Oktob 1975 * Abbildung 2 *	9,13-15	

-/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 4.März 1996	Prüfer Vanhulle, R
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P/4C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 95 11 4031

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018 no. 091 (E-1508) ,15.Februar 1994 & JP-A-05 299282 (AMORPHOUS DENSHI DEVICE KENKYUSHO:KK) 12.November 1993, * Zusammenfassung *	17,23	
A	----- PROCEEDINGS OF THE ANNUAL APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION (APEC), ORLANDO, FEB. 13 - 17, 1994, Bd. 1, 13.Februar 1994 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, Seiten 10-16, XP 000467294 A H N C H E T A L 'A COMPARISON OF TWO MICROMACHINED INDUCTORS (BAR-TYPE AND MEANDER-TYPE) FRO FULLY INTEGRATED BOOST DC/DC POWER CONVERTERS' * Abbildung 4 *	20,21	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	4.März 1996	Vanhulle, R	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (POMC03)