

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 773 562 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
14.05.1997 Patentblatt 1997/20

(51) Int Cl.⁶: **H01C 7/12**, H01C 1/08

(21) Anmeldenummer: **96810736.7**

(22) Anmeldetag: **05.11.1996**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

(30) Priorität: **11.11.1995 DE 19542162**

(71) Anmelder: **ABB RESEARCH LTD.**
CH-8050 Zürich 11 (CH)

(72) Erfinder:
• **Baiatu, Tudor, Dr.**
5200 Brugg (CH)

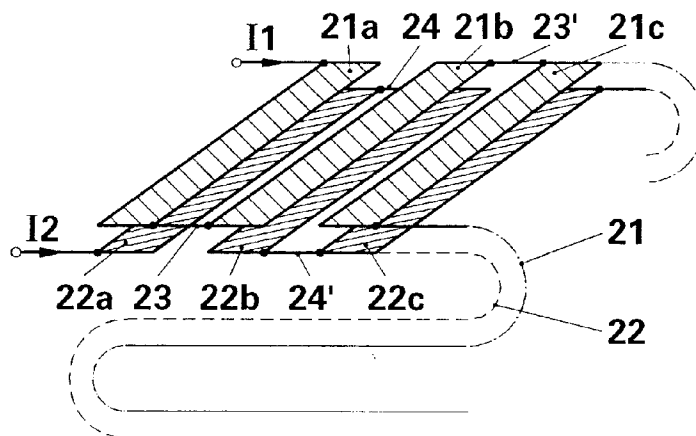
- **Etter, Peter**
5422 Oberehrendingen (CH)
- **Fried, Reinhard**
5415 Nussbaumen (CH)
- **Wiesmann, Hans-Jürgen, Dr.**
8607 Seegräben (CH)

(74) Vertreter: **Rzehak, Herbert et al**
Asea Brown Boveri AG
Immaterialgüterrecht (TEI)
Haselstrasse 16/699 I
5401 Baden (CH)

(54) Strombegrenzer

(57) Strombegrenzer, vorzugsweise aus Kaltleitern (21, 22), werden zur Kurzschlußstrombegrenzung in Reihenschaltung zu Kondensatoren und Stromrichter-ventilen eingesetzt. Mit diesen Kaltleitern (21, 22) betriebene Schutzeinrichtungen können reversibel arbeiten und lichtbogenfrei ansprechen. Sie sind niederinduktiv und raumsparend einsetzbar. Schutzschaltungen mit derartigen Kaltleitern (21, 22) sind verlustarm, rüttelfest und in einen bestehenden Kühlkreislauf integrierbar; sie sprechen autonom an und ermöglichen eine flexible Applikation. Die Kaltleiter (21, 22) sind vorzugsweise mäanderförmig aus porösem Metallschaum oder aus einem Metallgeflecht oder -gewebe ausgeführt und

weisen elektrische Kontaktbrücken (23, 23'; 24, 24') zwischen ihren Widerstandsbahnen (21a - 21c; 22a - 22c) auf. Mindestens 2 elektrisch parallelgeschaltete Widerstandsbahnen sind in geringem Abstand übereinander derart angeordnet, daß Teilströme (I1, I2) durch so gebildete Widerstandszweige in übereinanderliegenden Bahnbereichen in zueinander entgegengesetzten Richtungen fließen. Die Widerstandsbahnen können auch in Nuten eines Kühlkörpers angeordnet sein oder kreisförmige Gestalt aufweisen. In einer Reihenschaltung zu mäanderförmigen, parallelgeschalteten Widerstandsbahnen kann ein Kompensationswiderstand zur Kompensation von unkompensierten Randbereichen dieser Widerstandsbahnen vorgesehen sein.

**FIG. 15**

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

5 Bei der Erfindung wird ausgegangen von einem Strombegrenzer nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

STAND DER TECHNIK

10 Mit dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 nimmt die Erfindung auf einen Stand der Technik Bezug, wie er aus der CH-PS 581 377 bekannt ist. Dort wird ein Widerstand bzw. ein Kaltleiter-Bauelement angegeben, bei dem 3 verschieden dimensionierte Kaltleiter aus Sinterkörpern zueinander parallelgeschaltet sein können, welche bei einem Kurzschlußstrom zeitlich nacheinander ansprechen. Zu diesen Kaltleitern kann noch ein Festwiderstand und ein Schalter parallelgeschaltet sein. Derartige Strombegrenzer sind in der Lage, Kurzschlußströme reversibel auf Werte zu begrenzen, die unterhalb der Zerstörungsgrenze der aktiven Bauelemente, z. B. von Stromrichtern, liegen. In einem Fehlerfall erwärmt sich der Kaltleiter über seine Ansprechtemperatur und begrenzt den Kurzschlußstrom auf Werte, die für den Stromkreis unschädlich sind. Die thermische Zerstörung des Kaltleiters wird durch die Kommutation des Kurzschlußstromes auf den Parallelwiderstand verhindert.

15 Wünschenswert für einen Stromrichterbetrieb ist eine deutliche Verringerung der Zwischenkreisinduktivität bei Nennbetrieb. Hierdurch steigen jedoch in einem Kurzschlußfall die zu erwartenden Kurzschlußstromamplituden auf Werte an, die derzeit in Traktionssystemen nicht beherrscht werden können. Da die erforderlichen Reaktionszeiten der Schutzeinrichtung im μs -Bereich liegen, kann auf einen Strombegrenzer nicht verzichtet werden. Bei dem bekannten Strombegrenzer ist jedoch die Eigeninduktivität zu hoch. Gefordert werden Eigeninduktivitäten im nH-Bereich.

20 Zum einschlägigen Stand der Technik wird zusätzlich auf die EP 0 548 606 A2 verwiesen, aus der ein Strombegrenzer bekannt ist, der parallel zu einem Kaltleiter einen Varistor aufweist, welcher mit dem Kaltleiter zu einem Bauelement vereint sein kann.

25 Aus dem Taschenbuch Elektrotechnik, Band 3, Bauelemente und Bausteine der Informationstechnik, Herausgeber Prof. Dr. E. Philippow, 1. Auflage, VEB Verlag Technik, Berlin, 1978, S. 250, sind Wicklungsausführungen für induktivitätsarme Widerstände bekannt, z. B. die bifilare Wicklung, die Chaperon-Wicklung und die Mäanderform.

30 DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Die Erfindung, wie sie im Patentanspruch 1 definiert ist, löst die Aufgabe, einen Strombegrenzer der eingangs genannten Art derart weiterzuentwickeln, daß er eine niedrigere Induktivität aufweist.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert.

35 Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, daß mit diesen Kaltleitern betriebene Schutzeinrichtungen reversibel arbeiten, lichtbogenfrei ansprechen sowie niederinduktiv und raumsparend einsetzbar sind. Die Schutzschaltungen sind verlustarm, rüttelfest und in einen bestehenden Kühlkreislauf integrierbar; sie sprechen autonom an und ermöglichen eine flexible Applikation. Die Zuverlässigkeit des Schutzsystems wird durch zusätzliche elektronische Baugruppen und Komponenten nicht beeinträchtigt.

40 Werden die Strombegrenzer in Reihenschaltung zu Stromrichterventilen eingesetzt, so kann auf eine Stromanstiegsbegrenzungs-drossel verzichtet werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann von einer Flüssigkeitskühlung abgesehen werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

45 Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigen:

- | | |
|-----------------|---|
| Fig. 1 | einen Strombegrenzer aus isoliert übereinander angeordneten, elektrisch parallelgeschalteten Kaltleitern mit mäanderförmigen Widerstandsbahnen, |
| 50 Fig. 2 und 3 | Kaltleiter von Fig. 1, |
| Fig. 4 | einen Kompensationswiderstand, der zu dem Strombegrenzer gemäß Fig. 1 in Reihe schaltbar ist, |
| Fig. 5 | ein elektrisches Schaltbild für die Schaltung der Widerstände gemäß den Fig. 1 - 4, |
| Fig. 6 | eine Darstellung der Schichtenfolge der Kaltleiter gemäß den Fig. 2 und 3 im Strombegrenzer von Fig. 1, |
| 55 Fig. 7 | eine Darstellung der Schichtenfolge der Kaltleiter gemäß den Fig. 2 und 3 mit dem Kompensationswiderstand gemäß Fig. 4, |
| Fig. 8 | eine Darstellung der Schichtenfolge von 4 Kaltleitern gemäß den Fig. 2 und 3, |
| Fig. 9 - 12 | unterschiedliche Ausführungsformen von Kaltleitern, |

- Fig. 13 eine Anordnung von Kaltleitern gemäß den Fig. 2 und 3 in Nuten eines fluidgekühlten Kühlkörpers,
 Fig. 14 einen in einem Kühlbehälter angeordneten Strombegrenzer mit 2 Kaltleitern aus porösem Metallschaum und
 Fig. 15 2 Widerstandsbahnen mit antiparalleler Stromführung und elektrischen Kontaktbrücken zwischen Leiterbahnen aus einem Metallgeflecht oder -gewebe.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

In den Figuren sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

Fig. 1 zeigt in Draufsicht 2 elektrisch parallelgeschaltete mäanderförmige PTC-Widerstände bzw. Kaltleiter (1, 2), die gegenseitig elektrisch isoliert sind und einen geringen Abstand (a) im Bereich von 0,01 mm - 1 mm, vorzugsweise im Bereich von 0,01 mm - 0,8 mm aufweisen, vgl. Fig. 6, mit gemeinsamen endseitigen elektrischen Anschlüssen (A, B), vgl. auch Fig. 5. Für die galvanische Trennung der Kaltleiter (1, 2) können organische oder anorganische Isolationsschichten verwendet werden. Bei einseitiger Kühlung (nicht dargestellt) soll die Isolationsschicht zusätzlich eine thermische Leitfähigkeit aufweisen. Eine solche Isolationsschicht kann beispielsweise eine Folie auf Duromer-, Thermoplast- oder Elastomerbasis, gefüllt mit anorganischen, thermisch leitfähigen Partikeln z. B. aus AlN, Al₂O₃ oder BN, sein.

Der Kaltleiter (1) mit endseitigen elektrischen Anschlüssen (A', B') und Mäandern (1a - 1d) ist in Fig. 2 gestrichelt dargestellt und der Kaltleiter (2) mit endseitigen elektrischen Anschlüssen (A'', B'') und Mäandern (2a - 2d) ausgezogen in Fig. 3. Die beiden elektrischen Anschlüssen (A') und (A'') bilden den gemeinsamen Anschluß (A) und die beiden elektrischen Anschlüsse (B') und (B'') den gemeinsamen Anschluß (B). Die beiden gleich geformten Kaltleiter (1, 2) sind im Abstand (a) spiegelbildlich übereinander angeordnet.

Die Kaltleiter (1, 2) bestehen aus einer strukturierten Folie oder aus einer mittels eines chemischen oder elektrochemischen Prozesses erzeugten Schicht eines vorzugsweise ferromagnetischen Metalles oder einer Metallegierung. Besonders geeignet sind Materialien auf der Basis von Nickel, Eisen oder Kobalt und deren Legierungen. Der gegenüber nichtferromagnetischen reinen Metallen besonders hohe positive Temperaturkoeffizient des spezifischen Widerstandes dieser Materialien weist ein für die Anwendung günstiges nichtlineares Verhalten auf mit einem Maximum im Bereich der Curietemperatur. Prinzipiell können jedoch auch nichtferromagnetische Metalle, wie Beryllium oder Ruthenium, mit einem Temperaturkoeffizienten des Widerstandes von $> 4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ verwendet werden.

Das notwendige dynamische Ansprechverhalten der Kaltleiter (1, 2) unter Kurzschlußbedingungen wird durch die Ausbildung einer geringen Querschnittsfläche des Aktivteiles erreicht. Typische Werte der Querschnittsfläche liegen für eine Schaltung gemäß Fig. 1 im Bereich von 0,1 mm² bis 5 mm², vorzugsweise im Bereich von 0,5 mm² bis 1,5 mm². Die Kaltwiderstandswerte bei Zimmertemperatur liegen im Bereich von einigen 10 mΩ - 100 mΩ.

Ein Vorteil dieser Anordnung gemäß Fig. 1 ist die relativ geringe Spannungsbelastung der Zwischenisolationschicht, die im Nennbetrieb nur einige Volt beträgt und im Kurzschlußfall kurzzeitig maximal mit der Zwischenkreisspannung eines Gleichspannungszwischenkreises eines nicht dargestellten Umrichters belastet wird.

Ein in Fig. 1 durch einen Pfeil angedeuteter Summenstrom (I) teilt sich in den Kaltleitern (1, 2) in 2 gleich große Teilströme (I₁, I₂) auf, welche in den übereinanderliegenden Mäandern (1a - 1d) und (2a - 2d) in entgegengesetzter Richtung fließen, so daß diese parallelgeschalteten Kaltleiter (1, 2) eine besonders geringe Eigeninduktivität aufweisen. Nur in den oberen und unteren Ein- und Austrittsbereichen sowie in linken und rechten Randbereichen (4l, 4r) eines Strombegrenzers (4) gemäß Fig. 1 sind die Teilströme (I₁, I₂) unkompensiert, so daß eine geringe Induktivität der Kaltleiter (1, 2) resultiert.

Um diese geringe Induktivität zu reduzieren, wird zu den beiden parallelgeschalteten Kaltleitern (1, 2) ein Kompensationswiderstand (3) aus einem nichtlinearen PTC-Widerstandsmaterial oder aus einem metallischen Leitermaterial, wie z. B. Kupfer, elektrisch in Reihe geschaltet, vgl. Fig. 5. Bei Verwendung eines metallischen Leitermaterials als Rückleitung entfällt die Notwendigkeit ihrer Zwangskühlung.

Fig. 4 zeigt die geometrische Strukturierung dieses Kompensationswiderstandes (3) mit linken und einen rechten Kompensationszweigen (3l, 3r) sowie oberen und unteren Stromführungen, welche die gleiche Form aufweisen wie die unkompensierten Randbereiche (4l, 4r) des Strombegrenzers (4) und die oberen und unteren Widerstandsbahnen der Kaltleiter (1, 2). Dieser Kompensationswiderstand (3) ist in geringem Abstand zu dem Kaltleiter (2) angeordnet, vgl. die Schichtenfolge in Fig. 7, wobei ein elektrischer Anschluß (B) mit dem Anschluß (B) des Strombegrenzers (4) gemäß Fig. 1 elektrisch verbunden und ein endseitiger Anschluß (C) oberhalb des Anschlusses (A) angeordnet ist. Diese Strombegrenzerschaltung gemäß Fig. 5 weist eine um einen Faktor 7 - 8 geringere Eigeninduktivität als der Strombegrenzer (4) gemäß Fig. 1 auf.

Fig. 8 zeigt eine 4fache Schichtung von Leitern mit antiparalleler Stromführung, bei der zusätzlich zu den Kaltleitern (1, 2) gemäß Fig. 1 noch ein weiteres Paar gleich aufgebauter Kaltleiter (1', 2') übereinander angeordnet und elektrisch zu den Kaltleitern (1, 2) parallelgeschaltet sind. Diese Anordnung gemäß Fig. 8 weist eine Halbierung der Eigeninduktivität gegenüber der Anordnung gemäß den Fig. 1 und Fig. 6 auf.

Anstelle der mäanderförmigen Kaltleiter (1, 2) gemäß den Fig. 2 und 3 können kreisförmige Leiteranordnungen mit einer Chaperonwicklung (5) gemäß Fig. 9 oder mit einer bifilaren Wicklung (6) gemäß Fig. 10 verwendet werden, mit Außenzweigen (5a) bzw. (6a) und Innenzweigen (5b) bzw. (6b). Die elektrischen Anschlüsse (A, B) können hierbei übereinanderliegend angeordnet sein, so daß eine geringere Eigeninduktivität resultiert.

Bei Anordnungen von mäanderförmigen Widerstandsbahnen (7) und (8) gemäß den Fig. 11 und 12 mit Mäanderzweigen (7a) und (8b) werden randseitige Bereiche der Mäanderbahnen durch einen Rückleitungszweig (7b) kompensiert, vgl. Fig. 11, bzw. durch eine Rückleitungsschleife (8b), vgl. Fig. 12. Bei der Anordnung gemäß Fig. 11 sind die elektrischen Anschlüsse (A, B) gegenseitig eng benachbart-, während sie bei der Anordnung gemäß Fig. 12 endseitig angebracht sind und größere Kriechwege aufweisen.

Fig. 13 zeigt einen Aufbau eines Strombegrenzers, bei dem die Mäander (1a - 1d) und (2a - 2d) der Kaltleiter (1, 2) übereinander in obere Nuten (11) eines Kühlkörpers (9) und die Mäander der Kaltleiter (1', 2') in dessen untere Nuten (11) eingelegt sind. Der Kühlkörper (9) besteht aus einer elektrisch isolierenden, thermisch leitfähigen Keramik und weist im Innern einen Kühlkanal (10) zur Umlaufkühlung auf, der als Kühlmittel ein Kühlfluid, vorzugsweise Wasser, enthält.

Die Nuten (11), welche die Leiterbahnen der Kaltleiter (1, 2) vollständig aufnehmen, sind mit einer elektrisch isolierenden, thermisch leitfähigen Vergußmasse (12) ausgefüllt. Diese Vergußmasse (12) stellt den notwendigen thermischen Kontakt der Kaltleiter (1, 2, 1', 2') zum Kühlkörper (9) her. Bei einem mehrlagigen Aufbau, entsprechend den Fig. 6 - 8, isoliert die Vergußmasse (12) gleichzeitig elektrisch die verschiedenen Lagen der Leiterbahnen. Die Vergußmasse (12) besteht vorteilhaft aus einer duromeren, thermoplastischen und/oder elastomeren Polymermatrix, die mit anorganischen, thermisch leitfähigen Partikeln, wie z. B. AlN, Al₂O₃, gefüllt ist. Ein hoher Füllgrad kann hierbei durch Verwendung von bimodal verteilten Partikeln (mit mindestens 2 Häufigkeitsmaxima der Partikelgröße) erreicht werden.

Bei der Ausführung gemäß Fig. 13 befinden sich die Leiterbahnen an den beiden Stirnflächen des Kühlkörpers (9).

Die Leiterbahnen können vorgängig zum Verguß mit einer thermoplastischen oder elastomeren Verklebung vorlaminiert werden.

Fig. 14 zeigt schematisch einen Strombegrenzer mit Kaltleitern (21, 22), welche Mäander (21a - 21d) bzw. (22a - 22d) aufweisen und in der übereinanderliegenden Anordnung den Kaltleitern (1, 2) gemäß Fig. 1 entsprechen, im Querschnitt. Diese Kaltleiter (21, 22) bestehen aus einem hochporösen Schaum eines vorzugsweise ferromagnetischen Metalles oder einer Metallegierung; sie sind durch eine elektrische Isolationsfolie bzw. einen Widerstandsträger (15) mit einer Dicke (a) gegenseitig elektrisch isoliert und in einem geschlossenen Kühlbehälter (13), der Kühlrippen (14) aufweisen kann, gehalten. Dieser Kühlbehälter (13) ist mit einer elektrisch nichtleitenden Flüssigkeit, z. B. mit deionisiertem Wasser, gefüllt, das ohne Zwangsumlauf eine ausreichende Kühlung der Kaltleiter (21, 22) gewährleistet.

Fig. 15 zeigt Kaltleiter (21, 22) aus einem Metallgeflecht oder -gewebe oder -schaum, die so porös sind und eine so große Oberfläche aufweisen, daß eine Gebläseluftkühlung ausreicht, um die Kaltleiter (21, 22) bei geeigneten Betriebstemperaturen zu halten. Die Mäander bzw. Widerstandsbahnen (21a - 21c) des Kaltleiters (21) sind durch elektrische Kontaktbrücken (23, 23') verbunden und Mäander bzw. Widerstandsbahnen (22a - 22c) des Kaltleiters (22) durch elektrische Kontaktbrücken (24, 24'). Derart gebildete 2schichtige Leiterbahnen (21, 22) können in mehreren Lagen raumsparend ausgeführt sein.

Es versteht sich, daß derartige 2schichtige Leiterbahnen (21a - 21c, 22a - 22c) statt gefaltet auch gewickelt sein können. Die elektrischen Stromzuführungen befinden sich dann an der Peripherie des Wickels, während die entsprechenden Stromableitungen aus dem Zentrum der Wicklung nach außen geführt sind (nicht dargestellt).

Anstelle von Kaltleitern (1, 2) können auch niederinduktive Normalwiderstände mit der oben angegebenen Gestaltung hergestellt werden.

BEZEICHNUNGSLISTE

1, 1'	21	mäanderförmige Widerstandsbahnen
1a - 1d, 21a - 21d		Mäander von 1 bzw. 21
2, 2', 22		mäanderförmige Widerstandsbahnen, spiegelsymmetrisch zu 1 bzw. 21
2a - 2d, 22a - 22d		Mäander von 2 bzw. 22
3		Kompensationswiderstand
3l, 3r		linker bzw. rechter Kompensationszweig von 3
4		Strombegrenzer aus 1 und 2
4l, 4r		unkompensierte linke bzw. rechte Randbereiche von 4
5		Widerstandsbahn mit Chaperon-Wicklung
5a		Außenzweig von 5
5b		Innenzweig von 5
6		Widerstandsbahn mit bifilarer Wicklung

	6a	Außenzweig von 6
	6b	Innenzweig von 6
	7	mäanderförmige Widerstandsbahn mit Rückleitungszweig 7b und nahen endseitigen Anschlüssen A, B
5	7a, 8a	Mäanderzweige von 7 bzw. 8
	7b	Rückleitungszweig von 7
	8	mäanderförmige Widerstandsbahn mit Rückleitungsschleife 8b und entfernten endseitigen Anschlüssen A, B
	8b	Rückleitungsschleife von 8
10	9	Kühlkörper, Kühldose
	10	Kühlkanal
	11	Nuten in 9
	12	Vergußmasse
	13	Kühlbehälter
15	14	Kühlrippen
	15	Widerstandsträger
	23, 23'	elektrische Kontaktbrücken von 21
	24, 24'	elektrische Kontaktbrücken von 22
	a	Abstand
20	A, B, C	elektrische Anschlüsse
	I	Summenstrom
	I1, I2	Teilströme von I

25 Patentansprüche

1. Strombegrenzer

- 30 a) mit mindestens 2 zueinander parallelgeschalteten Widerstands zweigen,
b) wobei jeder dieser Widerstandszweige mindestens einen Widerstand (1, 2; 1', 2'; 5, 6, 7, 8; 21, 22) enthält,

dadurch gekennzeichnet,

- 35 c) daß Widerstände (1, 2; 1', 2'; 21, 22) von je 2 parallelgeschalteten Widerstands zweigen im Betrieb von wenigstens annähernd gleichen Teilströmen (I1, I2) durchflossen sind,
d) daß die Widerstände (1, 2; 1', 2'; 21, 22) in diesen parallelgeschalteten Widerstandszweigen induktivitäts-
arme Widerstandsbahnen (1a - 1d; 2a - 2d; 21a - 21d; 22a - 22d; 5a, 5b; 6a, 6b; 7a, 7b; 8a, 8b) aufweisen,
e) die gegenseitig elektrisch isoliert und mit gleichen Bahnbereichen übereinanderliegend derart angeordnet
40 sind, daß Teilströme (I1, I2) durch diese Widerstandszweige in übereinanderliegenden Bahnbereichen in zu-
einander entgegengesetzten Richtungen fließen.

2. Strombegrenzer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- 45 a) daß je 2 Widerstandsbahnen (1a - 1d; 2a - 2d; 21a - 21d; 22a - 22d; 5a, 5b; 6a, 6b; 7a, 7b; 8a, 8b) einen vorgebbaren, gleichmäßigen gegenseitigen Abstand (a) aufweisen,
b) insbesondere, daß dieser Abstand (a) im Bereich von 0,01 mm - 0,8 mm liegt.

3. Strombegrenzer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß je 2 übereinander angeordnete Wider- standsbahnen (1a - 1d; 2a - 2d; 21a - 21d; 22a - 22d; 7a, 7b; 8a, 8b) mäanderförmige, zueinander spiegelsym- metrische Gestalt aufweisen.

4. Strombegrenzer nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,

- 55 a) daß zu je 2 parallelgeschalteten Widerstandsbahnen (1a - 1d; 2a - 2d) ein Kompensationswiderstand (3) elektrisch in Reihe geschaltet ist,
b) daß dieser Kompensationswiderstand (3) einen linken und einen rechten Kompensationszweig (3l, 3r) auf-
weist,
c) daß diese linken und rechten Kompensationszweige (3l, 3r) elektrisch isoliert und in einem vorgebbaren

Abstand übereinanderliegend zu induktivitätsmäßig unkompensierten Randbereichen (4l, 4r) dieser beiden Widerstandsbahnen (1a - 1d; 2a - 2d) angeordnet sind,
d) insbesondere, daß die linken und rechten Kompensationszweige (3l, 3r) des Kompensationswiderstandes (3) wenigstens annähernd gleiche Gestalt wie die unkompensierten Randbereiche (4l, 4r) dieser beiden Widerstandsbahnen (1a - 1d; 2a - 2d) aufweisen.

5. Strombegrenzer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstandsbahnen (5a, 5b; 6a, 6b; 7a, 7b; 8a, 8b)

a) in der Art einer Chaperon-Wicklung (Fig. 9) oder
b) in der Art einer bifilaren Wicklung (Fig. 10) oder
c) mäanderrförmig (7a) mit einem induktivitätskompensierenden Rückleitungszweig (7b) und nahe benachbarten endseitigen elektrischen Anschlüssen (A, B) oder
d) mäanderrförmig (8a) mit einer Rückleitungsschleife (8b) und voneinander entfernten endseitigen elektrischen Anschlüssen (A, B) ausgeführt sind.

6. Strombegrenzer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

a) daß die übereinanderliegenden Widerstandsbahnen (1a - 1d; 2a - 2d) 2er parallelgeschalteter Widerstandszweige in Nuten (11) eines Kühlkörpers (9) angeordnet sind,
b) insbesondere, daß der Kühlkörper (9) fluidgekühlt ist.

7. Strombegrenzer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstandsbahnen (21a - 21d; 22a - 22d) porösen Metallschaum aufweisen.

8. Strombegrenzer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstandsbahnen (21a - 21c; 22a - 22c) ein Metallgeflecht oder -gewebe aufweisen.

9. Strombegrenzer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstandsbahnen (21a - 21c; 22a - 22c) randseitig durch elektrische Kontaktbrücken (23, 23'; 24, 24') miteinander verbunden sind.

10. Strombegrenzer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens 2 zueinander parallelgeschaltete Widerstände (1, 2; 1', 2'; 5, 6, 7, 8; 21, 22) Kaltleiter sind.

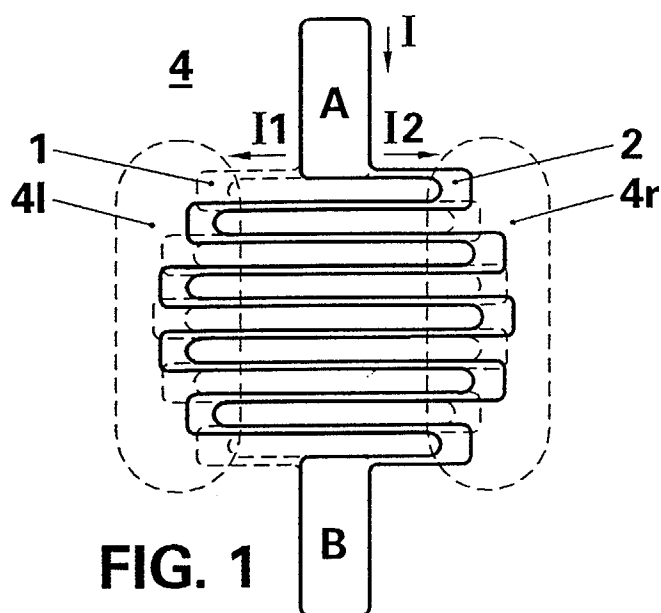


FIG. 1

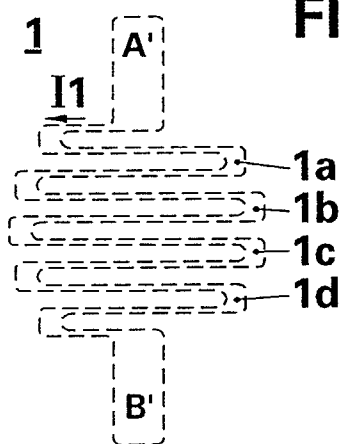


FIG. 2

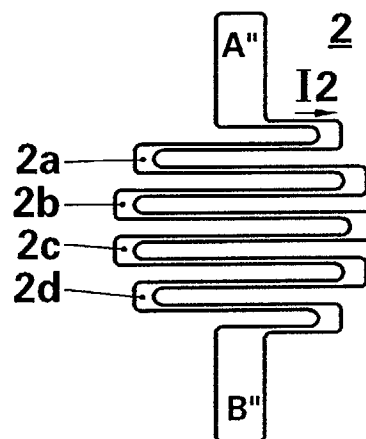


FIG. 3

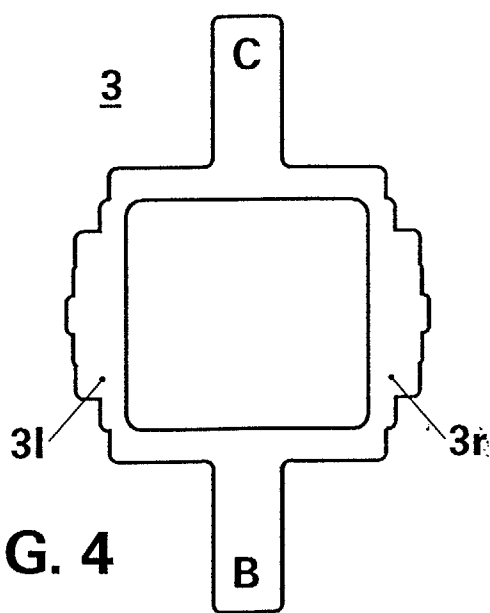


FIG. 4

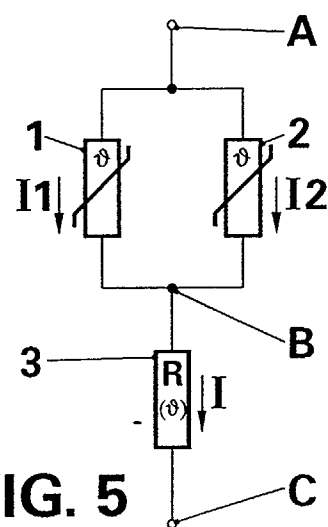


FIG. 5

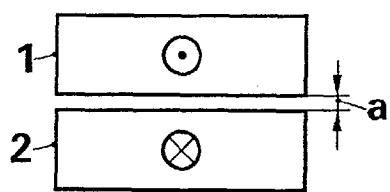


FIG. 6

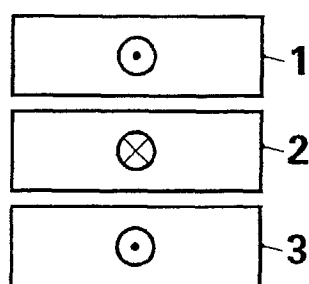


FIG. 7

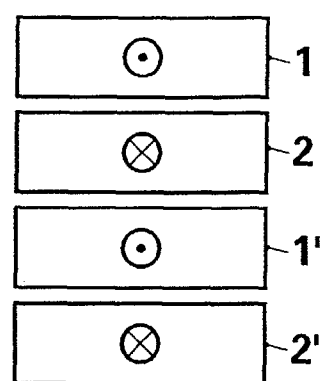


FIG. 8

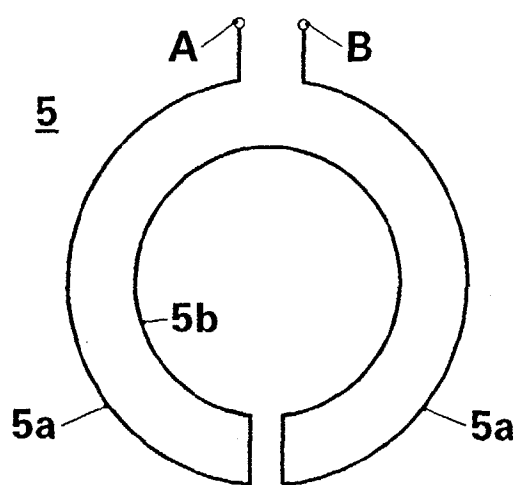


FIG. 9

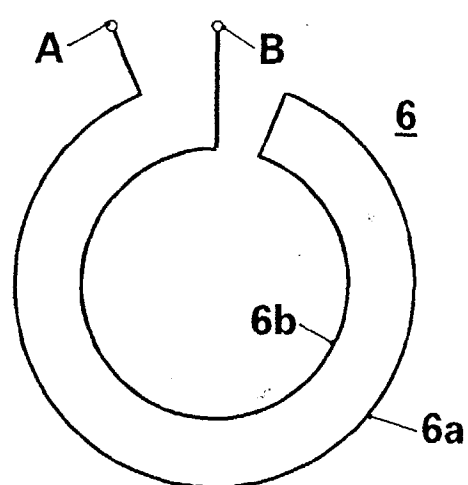


FIG. 10

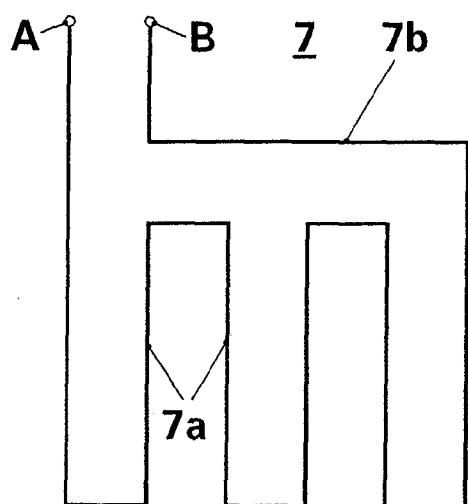


FIG. 11

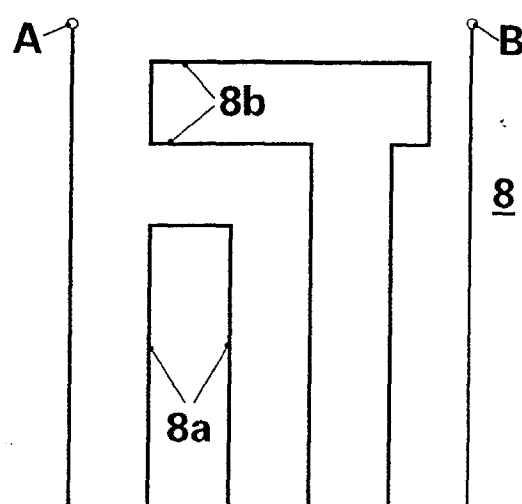


FIG. 12

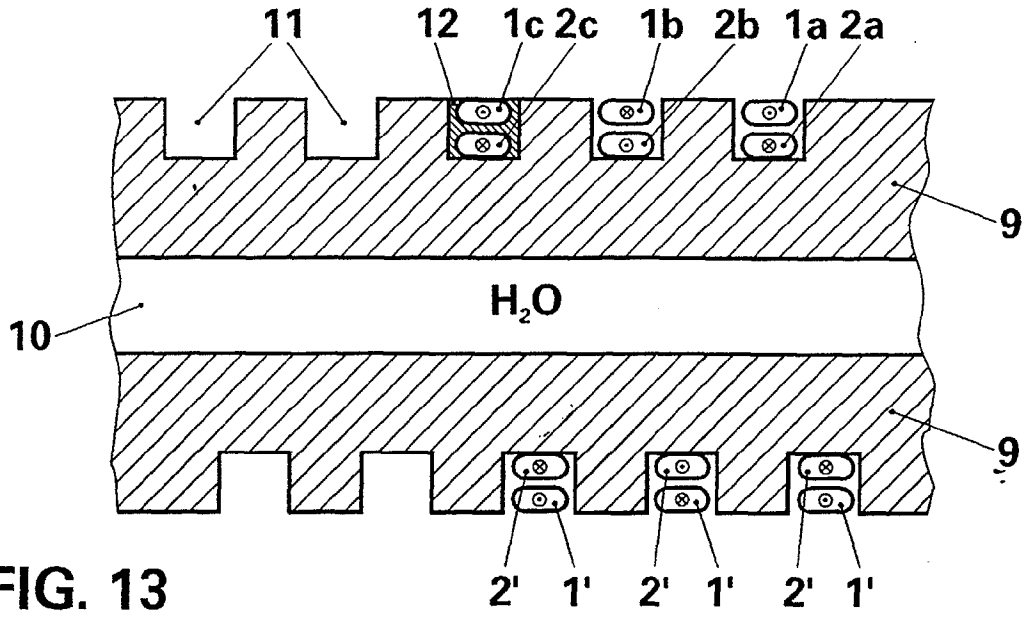


FIG. 13

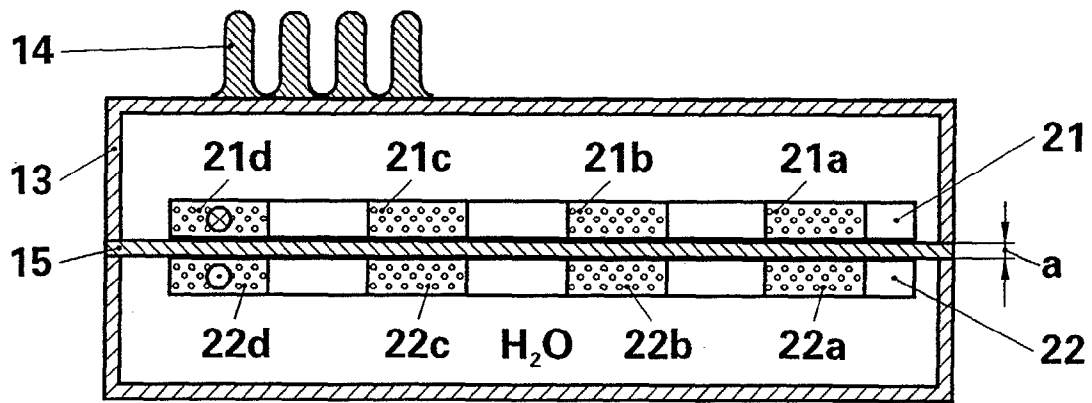


FIG. 14

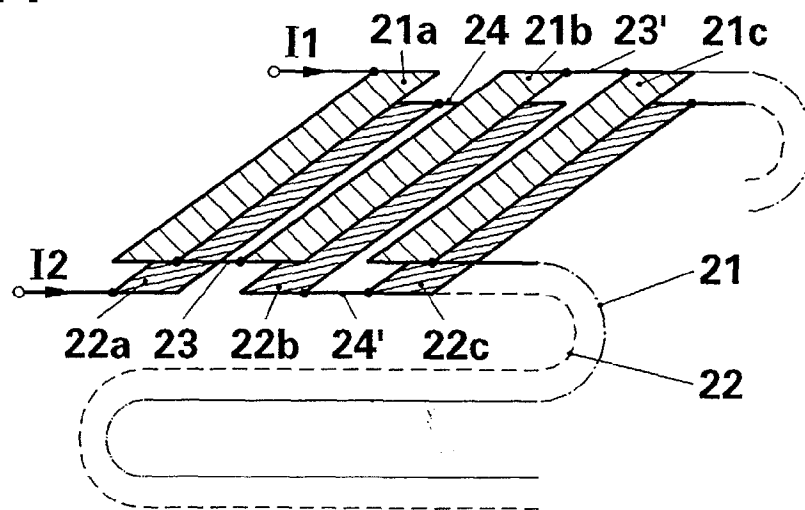


FIG. 15