

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
17. Januar 2019 (17.01.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2019/011624 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01R 1/20 (2006.01) G01R 15/00 (2006.01)  
H01C 3/02 (2006.01) G01R 19/00 (2006.01)

(74) Anwalt: V. BEZOLD & PARTNER PATENTANWÄLTE - PARTG MBB; Akademiestraße 7, 80799 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/066706

(22) Internationales Anmeldedatum:  
22. Juni 2018 (22.06.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2017 115 649.6  
12. Juli 2017 (12.07.2017) DE

(71) Anmelder: ISABELLENHÜTTE HEUSLER GMBH & CO. KG [DE/DE]; Eibacher Weg 3-5, 35683 Dillenburg (DE).

(72) Erfinder: HETZLER, Ullrich; Bergstr. 9a, 35688 Dillenburg-Oberscheld (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,

(54) Title: COAXIAL RESISTOR

(54) Bezeichnung: KOAXIALWIDERSTAND

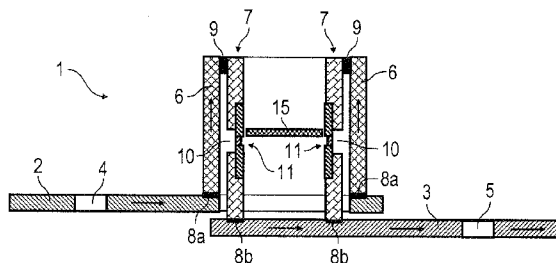


Fig. 1A  
Schnitt A-A  
AA

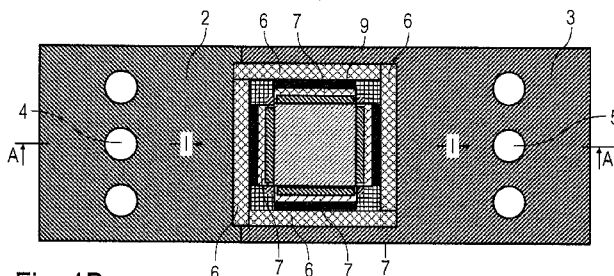


Fig. 1B

AA Section A-A

(57) Abstract: The invention relates to a coaxial resistor (1), comprising a forward conductor (6) and a return conductor (7) for conducting the current to be measured in opposite directions and comprising a resistance element made of a resistive material. The resistance element is arranged in the forward conductor (6) or in the return conductor (7) such that the current flows through the resistance element. According to the invention, the cross-section of at least the inner return conductor (7) at a right angle to the direction of current flow is angular, which simplifies the production of the coaxial resistor (1). Errors caused by thermoelectric voltages, the temperature coefficient of the resistance element and inhomogeneous current distribution are eliminated by the design.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Koaxialwiderstand (1) mit einem Hinleiter (6) und einem Rückleiter (7) zum Führen des zu messenden Stroms in entgegengesetzten Richtungen sowie mit einem Widerstandselement aus einem Widerstandsmaterial, wobei das Widerstandselement in dem Hinleiter (6) oder in dem Rückleiter (7) angeordnet ist, so dass der Strom durch das Widerstandselement fließt. Die Erfindung sieht vor, dass der Querschnitt zumindest des innenliegenden Rückleiters (7) rechtwinklig zu der Stromflussrichtung eckig ist, was die Herstellung des Koaxialwiderstands (1) vereinfacht. Fehler durch Thermospannungen, TK des Widerstandselementes und inhomogene Stromverteilung werden konstruktionsbedingt eliminiert.

WO 2019/011624 A1

SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,  
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

**BESCHREIBUNG****KOAXIALWIDERSTAND**

5

Die Erfindung betrifft einen Koaxialwiderstand zur Messung eines elektrischen Stroms.

Ein derartiger Koaxialwiderstand ist beispielsweise aus WO 2007/068409 A1 (DE 10 2005 059 561 A1) bekannt und in Figur 6 dargestellt. Hierbei wird der zu messende elektrische Strom über einen  
10 rohrförmigen Hinleiter zugeführt und fließt dann in entgegengesetzter Richtung durch einen ebenfalls rohrförmigen, koaxial zu dem Hinleiter angeordneten Rückleiter zurück. Vorteilhaft an dieser Stromführung in entgegengesetzten Richtungen ist die Tatsache, dass sich die von dem elektrischen Strom erzeugten Magnetfelder in gewissen Bereichen im Inneren weitgehend aufheben. Hierbei ist der Querschnitt von Hinleiter und Rückleiter kreisrund, was jedoch bei extrem  
15 niedrigen Widerstandswerten von wenigen  $\mu\text{Ohm}$  mit einem relativ hohen Herstellungsaufwand vor allem wegen der schwer zu montierbaren Spannungsanschlüsse und der damit verbundenen zusätzlichen Fehlerquellen verbunden ist.

20

Zum technischen Hintergrund der Erfindung ist auch hinzuweisen auf DE 10 2014 011 593 B4.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen entsprechend verbesserten Koaxialwiderstand zu schaffen.

25

Diese Aufgabe wird durch einen erfindungsgemäßen Koaxialwiderstand gemäß dem Hauptanspruch gelöst.

30

Die Erfindung sieht vor, dass der Koaxialwiderstand zumindest bei dem innen liegenden Rückleiter einen eckigen Querschnitt aufweist, was die Herstellung wesentlich vereinfacht, weil der Rückleiter dann aus eckigen Platten zusammengesetzt werden kann.

35

Der erfindungsgemäße Koaxialwiderstand weist zunächst in Übereinstimmung mit dem bekannten Koaxialwiderstand einen Hinleiter und einen Rückleiter zum Führen des zu messenden elektrischen Stroms auf, wobei der Hinleiter und der Rückleiter koaxial angeordnet und elektrisch in Reihe geschaltet sind, so dass der Strom in dem Hinleiter und in dem Rückleiter in entgegengesetzten Stromflussrichtungen fließt. Diese Stromführung in entgegengesetzten Richtungen ist - wie bereits eingangs zum Stand der Technik erwähnt - vorteilhaft, weil sich dadurch die von dem

chen Widerstandselementes (siehe unten) weitgehend aufheben.

Darüber hinaus umfasst der erfindungsgemäße Koaxialwiderstand in Übereinstimmung mit dem  
5 bekannten Koaxialwiderstand ein Widerstandselement aus einem Widerstandsmaterial (z.B. Kupfer-Mangan-Nickel-Legierung) auf, wobei das Widerstandselement in dem Hinleiter oder in dem Rückleiter angeordnet ist, so dass der Strom durch das Widerstandselement fließt. Die über dem Widerstandselement abfallende elektrische Spannung ist entsprechend dem Ohm'schen Gesetz proportional zu dem elektrischen Strom und bildet deshalb ein Maß für den zu messenden  
10 elektrischen Strom. Dies ermöglicht eine Strommessung gemäß der Vierleitertechnik, die beispielsweise auch aus EP 0 605 800 A1 bekannt ist.

Der erfindungsgemäße Koaxialwiderstand unterscheidet sich nun von dem eingangs beschriebenen bekannten Koaxialwiderstand dadurch, dass der Querschnitt zumindest des innenliegenden  
15 Rückleiters in einer Schnittebene rechtwinklig zu der Stromflussrichtung eckig ist, insbesondere rechteckig. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der Querschnitt des Rückleiters quadratisch, jedoch kann der Querschnitt auch andere Rechteckformen haben. Darüber hinaus besteht im Rahmen der Erfindung auch die Möglichkeit, dass der Querschnitt des Rückleiters dreieckig, fünfeckig oder allgemein vieleckig ist. Der eckige Querschnitt bietet - wie bereits  
20 vorstehend kurz erwähnt - den Vorteil, dass der Rückleiter aus mehreren ebenen Platten zusammengesetzt werden kann, wodurch die Herstellung des erfindungsgemäßen Koaxialwiderstands wesentlich vereinfacht wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Koaxialwiderstand besteht der Rückleiter und optional auch der  
25 Hinleiter also aus mehreren ebenen, vorzugsweise rechteckigen Platten, die zu dem Hinleiter bzw. zu dem Rückleiter zusammengesetzt werden können.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind sowohl der Hinleiter als auch der Rückleiter aus rechteckigen Platten zusammengesetzt. Hierbei liegt vorzugsweise jeweils eine  
30 Platte des Hinleiters parallel zu einer Platte des Rückleiters. In diesem Ausführungsbeispiel haben also sowohl der Rückleiter als auch der Hinleiter einen eckigen Querschnitt.

Es ist jedoch alternativ auch möglich, dass nur der innenliegende Rückleiter einen eckigen Querschnitt aufweist, während der außenliegende Hinleiter einen runden Querschnitt aufweisen kann.  
35 Beispielsweise kann der außenliegende Hinleiter einen kreisrunden Querschnitt aufweisen und somit rohrförmig sein. Hierbei ist der außenliegende Hinleiter also herkömmlich als Rohr ausge-

mehreren Platten besteht.

Das vorstehend erwähnte Widerstandselement kann hierbei wahlweise in dem außenliegenden  
5 Hinleiter oder in dem innenliegenden Rückleiter angeordnet sein. Entscheidend ist lediglich, dass  
das Widerstandselement von dem zu messenden elektrischen Strom durchströmt wird, so dass  
der Spannungsabfall über dem Widerstandselement entsprechend dem Ohm'schen Gesetz ein  
Maß für den zu messenden elektrischen Strom bildet.

10 In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das Widerstandselement jedoch in dem  
innenliegenden Rückleiter angeordnet. Dies ist vorteilhaft, weil dadurch die Spannungsmessung  
an dem Widerstandselement im magnetfeldfreien Raum durch eine innerhalb des Koaxialwider-  
stands liegende Messschaltung vereinfacht wird, wie noch detailliert beschrieben wird.

15 In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die beiden Anschlussteile zur Strom-  
zuführung bzw. Stromabführung sowie Hin- und Rückleiter aus massiven Cu-Platten hergestellt,  
um die bei hohen Strömen unvermeidliche Verlustleistung in den Zuleitungen zu minimieren.

In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das Widerstandselement jeweils in  
20 einem Einlegeteil angeordnet, wobei das Einlegeteil in den Hinleiter oder Rückleiter eingelegt ist  
und einen quer zur Stromflussrichtung verlaufenden Spalt in dem Hinleiter oder dem Rückleiter  
überdrückt. Der zu messende elektrische Strom fließt hierbei also durch das Einlegeteil, welches  
das Widerstandselement enthält, wobei der quer zur Stromflussrichtung verlaufende Spalt in dem  
Hinleiter bzw. dem Rückleiter einen unerwünschten Nebenschluss vorbei an dem Einlegeteil ver-  
25 hindert.

Das Einlegeteil mit dem Widerstandselement besteht vorzugsweise aus einer Verbundmaterial-  
platte mit zwei plattenförmigen Leiterelementen aus einem Leitermaterial (z.B. Kupfer) und dem  
in Stromflussrichtung dazwischen liegenden plattenförmigen Widerstandselement aus dem Wi-  
30 derstandsmaterial (z.B. Kupfer-Mangan-Nickel-Legierung). Derartige Verbundmaterialplatten sind  
beispielsweise aus EP 0 605 800 A1 bekannt und können kostengünstig aus einem Verbundmate-  
rialband hergestellt werden.

Darüber hinaus umfasst der erfindungsgemäße Koaxialwiderstand vorzugsweise plattenförmige  
35 Anschlussteile aus einem Leitermaterial (z.B. Kupfer) zum Zuführen bzw. Abführen des zu mes-  
senden elektrischen Stroms, wobei Hinleiter und Rückleiter jeweils mit einem der beiden An-

5 Anschlusssteile verbunden sind.

Die elektrische Verbindung zwischen dem Hinleiter und dem Rückleiter einerseits und den Anschlusssteilen andererseits kann beispielsweise durch eine Lötverbindung (z.B. Hartlötverbindung) oder eine Schweißverbindung erfolgen. Darüber hinaus können auch Hinleiter und Rückleiter sowie die Einlegeteile durch eine Lötverbindung (z.B. Hartlötverbindung) oder eine Schweißverbindung miteinander verbunden werden, um die gewünschte Reihenschaltung von Hinleiter und Rückleiter zu erreichen.

10 Es wurde bereits vorstehend kurz erwähnt, dass die beiden Anschlusssteile zur Stromzuführung bzw. Stromabführung aus ebenen, vorzugsweise rechteckigen Platten bestehen. Ergänzend ist zu bemerken, dass diese plattenförmigen Anschlusssteile vorzugsweise rechtwinklig ausgerichtet sind zu dem Hinleiter und dem Rückleiter. Darüber hinaus ist zu bemerken, dass die plattenförmigen Anschlusssteile zur Stromzuführung bzw. Stromabführung vorzugsweise parallel zueinander angeordnet sind. Hinleiter und Rückleiter können also quasi auf die plattenförmigen Anschlusssteile aufgesetzt werden.

Es wurde bereits vorstehend erwähnt, dass der Spannungsabfall über dem Widerstandselement gemäß dem Ohm'schen Gesetz ein Maß für den zu messenden elektrischen Strom ist. Zur Messung dieses Spannungsabfalls ist deshalb vorzugsweise mindestens ein Paar von Spannungsabgriffen vorgesehen, wobei der eine Spannungsabgriff vorzugsweise das spannungsseitige Leiterelement des Einlegeteils kontaktiert, während der andere Spannungsabgriff des Paares das masseseitige Leiterelement des Einlegeteils kontaktiert.

25 In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist jedoch nicht nur ein einziges Paar von Spannungsabgriffen vorgesehen, sondern mehrere Paare von Spannungsabgriffen, die räumlich verteilt angeordnet sind. Jedes Paar von Spannungsabgriffen liefert also einen Spannungsmesswert, wobei aus den verschiedenen Spannungsmesswerten dann ein Mittelwert berechnet werden kann. Auf diese Weise können Inhomogenitäten der Stromverteilung in dem Koaxialwiderstand berücksichtigt werden. Grundsätzlich ist dieses Prinzip der Spannungsmessung an verschiedenen Stellen aus DE 10 2013 005 939 A1 bekannt, so dass der Inhalt dieser Patentanmeldung der vorliegenden Beschreibung in vollem Umfang zuzurechnen ist.

Die Spannungsabgriffe können hierbei spannungsseitig oder masseseitig mindestens zwei Kontakte aus einem Leitermaterial (d.h. Doppelabgriffe) aufweisen, um einen guten Wärmekontakt mit einer Leiterplatte zu erreichen. Dies ist vorteilhaft für die Kompensation von unerwünschten

Die Verbindung zwischen den Spannungsabgriffen einerseits und den Leiterelementen der Verbundmaterialplatten (Einlegeteile) andererseits kann beispielsweise durch eine Lötverbindung  
5 (z.B. Hartlötverbindung), eine Schweißverbindung oder eine Sinterverbindung erfolgen.

Weiterhin ist zu erwähnen, dass die Spannungsabgriffe aus Kupfer bestehen können oder aus demselben Verbundmaterial wie das Einlegeteil, insbesondere aus derselben Charge.

10 Zur Bildung der spannungsseitigen Abgriffe bzw. der masseseitigen Spannungsabgriffe kann im Rahmen der Erfindung jeweils ein Stanzteil vorgesehen sein, das mit dem spannungsseitigen bzw. masseseitigen Leiterelement des Einlegeteils (Verbundmaterialplatte) verbunden ist.

Zur elektrischen Verbindung mit einer Leiterplatte können die Stanzteile Kontaktfahnen aufwei-  
15 sen, die auch biegsam sein können. In der bevorzugten Ausführungsform ist es vorteilhaft, wenn bei einem Paar der Spannungsabgriffe aus einem Leitermaterial eine masseseitige schmale und eventuell auch dünnere Kontaktfahne aus Verbundmaterial mittig zwischen zwei spannungsseitigen Kontaktfahnen angeordnet ist. Dies hat den Vorteil, dass die Temperatur der High-Seite (Spannungsseite) über die gute Wärmeleitung wegen des deutlich größeren Querschnittes der  
20 Kontaktfahnen (doppelt, dicker, breiter und bessere Wärmeleitfähigkeit) effektiv auf die Leiterplatte übertragen wird, so dass die Temperatur an den Lötstellen der Leiterplatte gleich ist mit der Temperatur der spannungsseitigen Lötstelle des Einlegeteiles. Damit liegt über der Verbundmaterialfahne die volle Temperaturdifferenz des Shunts an, so dass die Temperaturspannungskompensation korrekt funktionieren kann.

25

Die Stanzteile sind hierbei elektrisch und mechanisch mit den Leiterelementen der Einlegeteile (Verbundmaterialplatten) verbunden. Beispielsweise kann es sich hierbei um eine Sinterverbindung, eine Lötverbindung (z.B. Hartlötverbindung) oder eine Schweißverbindung handeln. Bei einer Sinterverbindung kann diese beispielsweise mittels einer Silber-Sinterpaste realisiert werden, die zuvor strukturiert auf die aus Kupfer bestehenden Leiterelemente gedruckt und getrocknet wird. Die gesinterte Schicht kann beispielsweise aus reinem Silber bestehen und je nach  
30 Druckdichte der Sinterpaste zwischen 30µm und 70µm dick sein.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die Stanzteile ungefähr 0,3mm dick,  
35 jedoch sind im Rahmen der Erfindung auch andere Dicken der Stanzteile möglich.

WO 2019/011624 zu erwähnen, dass zumindest ein (z.B. das masseseitige) Stanzteil und die zugehörigen Verbundmaterialplatten (Einlegeteile) vorzugsweise aus demselben Verbundmaterial bestehen, insbesondere aus derselben Charge eines Verbundmaterialbands. Dies ist vorteilhaft zur Kompensation von Thermospannungen.

5

Es wurde bereits vorstehend kurz erwähnt, dass die über dem Widerstandselement abfallende elektrische Spannung entsprechend dem Ohm'schen Gesetz ein Maß bildet für den zu messenden elektrischen Strom. Zur Messung dieses Spannungsabfalls ist vorzugsweise eine Messschaltung vorgesehen, die innen innerhalb des Rückleiters angeordnet sein kann. Vorzugsweise befindet sich diese Messschaltung auf einer Leiterplatte, die mit den Kontaktfahnen der Stanzteile verbunden ist, wobei die Leiterplatte vorzugsweise quer, insbesondere rechtwinklig, zu der Stromflussrichtung in dem Hinleiter und dem Rückleiter angeordnet ist. An ihren Stirnkanten weist diese Leiterplatte vorzugsweise Anschlüsse (z.B. Löt-Pads) zur Verbindung mit den Spannungsabgriffen auf, um den Spannungsabfall über dem Widerstandselement zu messen. Die Verbindung zwischen den Spannungsabgriffen einerseits und der Leiterplatte andererseits kann hierbei durch die bereits vorstehend erwähnten Kontaktfahnen der Stanzteile erfolgen.

10

15

20

25

Der Außenquerschnitt der Leiterplatte ist vorzugsweise an den Innenquerschnitt des innen liegenden Rückleiters angepasst, so dass die Leiterplatte den freien Innenquerschnitt des innen liegenden Rückleiters bis auf einen umlaufenden Spalt ausfüllt. Die vorstehend erwähnten Kontaktfahnen der Stanzteile können dann den umlaufenden Spalt zwischen der Leiterplatte und dem Rückleiter überbrücken und die Leiterplatte kontaktieren. Bei einem quadratischen Querschnitt des innen liegenden Rückleiters ist also vorzugsweise auch die Leiterplatte quadratisch. Bei einem dreieckigen Querschnitt des innen liegenden Rückleiters ist also vorzugsweise auch die Leiterplatte dreieckig. Jeder Platte des Rückleiters ist also vorzugsweise jeweils eine Stirnkante der Leiterplatte zugeordnet, so dass die Leiterplatte auf einfache Weise alle Einlegeteile in den Platten der Rückleiter kontaktieren kann.

30

Die Leiterplatte weist vorzugsweise mehrere Leiterplattenebenen auf und ist somit mehrlagig. In einer ersten Leiterplattenebene (z.B. an der Oberseite) können sich Symmetrierwiderstände befinden, wobei die Symmetrierwiderstände jeweils mit einzelnen Paaren von Spannungsabgriffen zugeordnet sind, um die einzelnen Spannungsmesswerte zu gewichten, wie es beispielsweise aus DE 10 2013 005 939 A1 bekannt ist.

35

Darüber hinaus kann die erste Leiterplattenebene auch einen Widerstand zur Kompensation der Temperaturabhängigkeit des Widerstandselements enthalten und/oder einen Temperaturfühler.

Eine zweite Leiterplattenebene enthält einen aus Kupfer bestehenden Widerstand, der ebenfalls zur Temperaturkompensation dient. Dieser kann beispielsweise auch aus zwei parallel geschalteten Widerständen bestehen, die eine Mittelwertbildung der beiden Messspannungen von den  
5 Doppelabgriffen ermöglichen. Darüber hinaus kann die Leiterplatte auch eine dritte und eine vierte Leiterplattenebene aufweisen. Dabei können sich beispielsweise an der Unterseite der Leiterplatte Kupferanschlussflächen zum Wärmeausgleich im Bereich der aus Kupfer bestehenden Widerstände befinden.

10 Die Kompensation von Thermospannungen ist beispielsweise aus DE 10 2016 008 415.4 bekannt, so dass der Inhalt dieser früheren Patentanmeldung der vorliegenden Beschreibung ebenfalls in vollem Umfang zuzurechnen ist.

Ferner ist zu erwähnen, dass der erfindungsgemäße Koaxialwiderstand vorzugsweise eine relativ  
15 große Dauerstromfestigkeit aufweist, die beispielsweise mindestens 1kA, 2kA, 3kA, 4kA oder sogar 5kA betragen kann.

Als Leitermaterial findet vorzugsweise Kupfer oder eine Kupferlegierung Anwendung. Es ist jedoch alternativ auch möglich, dass es sich bei dem Leitermaterial um Aluminium oder eine Aluminium-  
20 legierung handelt.

Weiterhin ist zu erwähnen, dass das Leitermaterial vorzugsweise eine größere spezifische elektrische Leitfähigkeit aufweist als das Widerstandsmaterial.

25 Als Widerstandsmaterial kann im Rahmen der Erfindung beispielsweise eine Kupfer-Mangan-Nickel-Legierung verwendet werden, wie beispielsweise Cu<sub>82</sub>Mn<sub>12</sub>Ni<sub>4</sub> (Manganin®). Es ist jedoch alternativ auch möglich, dass als Widerstandsmaterial eine Nickel-Chrom-Legierung verwendet wird oder eine andere Widerstandslegierung.

30 Das Widerstandsmaterial des Widerstandselements weist jedoch vorzugsweise einen spezifischen elektrischen Widerstand auf, der im Bereich von  $1 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$  bis  $50 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}$  liegt.

Der Widerstandswert des gesamten Koaxialwiderstands liegt dagegen vorzugsweise im Bereich von  $0,1 \mu\Omega$  bis  $1 \text{m}\Omega$ .

35

Ferner ist zu erwähnen, dass der Widerstandswert des Koaxialwiderstands vorzugsweise sehr

WO 2019/011624 PCT/EP2018/066706  
Temperaturkonstant ist mit einem Temperaturkoeffizienten von weniger als 200 ppm/K oder sogar 50 ppm/K.

5 Andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet oder werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

10 Figur 1A eine Querschnittsansicht durch einen erfindungsgemäßen Koaxialwiderstand entlang der Schnittlinie A-A in Figur 1B,

Figur 1B eine Aufsicht auf den Koaxialwiderstand gemäß Figur 1A,

15 Figur 1C einen Teil des erfindungsgemäßen Koaxialwiderstands mit einem Anschlussteil und aufgesetzten Platten des Rückleiters,

Figur 1D eine Aufsicht auf einen plattenförmigen Rückleiter mit einem eingelegten Einlegeteil,

Figur 1E eine Querschnittsansicht durch den Rückleiter mit dem Einlegeteil gemäß Figur 1D,

20 Figur 2A eine vereinfachte Querschnittsansicht durch das Einlegeteil mit den Stanzteilen zur Kontaktierung und einer Leiterplatte,

Figur 2B eine Aufsicht auf die Anordnung gemäß Figur 2A,

25 Figur 3A eine Aufsicht auf die Leiterplatte für die Messschaltung mit zwölf Paaren von Spannungsabgriffen,

Figur 3B eine vergrößerte Detailansicht eines Paares von Spannungsabgriffen aus Figur 3A,

30 Figur 4 ein schematisches Schaltbild zur Erläuterung der Gewichtung der Spannungsmesswerte der einzelnen Paare von Spannungsabgriffen,

Figur 5 ein vereinfachtes Schaltbild zur Erläuterung der Kompensation von Thermospannungen und der Kompensation des TKs des Widerstandselements, sowie

35

Figur 6 eine Perspektivansicht eines herkömmlichen Koaxialwiderstands gemäß dem Stand der

Die Zeichnungen zeigen einen erfindungsgemäßen Koaxialwiderstand 1 zur Messung eines elektrischen Stroms I gemäß der bekannten Vierleitertechnik.

5

Der zu messende elektrische Strom I wird hierbei über ein plattenförmiges Anschlussstück 2 aus einem Leitermaterial (z.B. Kupfer) in den Koaxialwiderstand 1 eingeleitet und über ein ebenfalls plattenförmiges Anschlussstück 3 aus demselben Leitermaterial wieder aus dem Koaxialwiderstand 1 abgeführt.

10

In den beiden Anschlussstücken 2, 3 befinden sich jeweils Bohrungen 4 bzw. 5 zur Durchführung von Schrauben, so dass die beiden Anschlussstücke 2, 3 beispielsweise mit Stromschienen verschraubt werden können.

15

Der zu messende elektrische Strom I fließt hierbei in Richtung der Pfeile von dem Anschlussstück 2 zunächst durch einen Hinleiter 6 und dann in entgegengesetzter Richtung durch einen Rückleiter 7, zu dem Anschlussstück 3. Der Hinleiter 6 und der Rückleiter 7 bestehen jeweils aus einem Leitermaterial (z.B. Kupfer) und führen den zu messenden elektrischen Strom I in entgegengesetzten Richtungen. Dies ist vorteilhaft, weil dadurch die von dem elektrischen Strom I in dem Hinleiter 6 einerseits und in dem Rückleiter 7 andererseits erzeugten Magnetfelder sich im Inneren wechselseitig weitgehend aufheben.

20

Der Hinleiter 6 besteht aus vier rechteckigen Platten, die rechtwinklig zu dem Anschlussstück 2 ausgerichtet und auf die Oberseite des Anschlussstücks 2 aufgesetzt sind. Die rechteckigen Platten des Hinleiters 6 und des Rückleiters 7 sind hierbei durch Hartlötverbindungen 8a bzw. 8b mit der Oberseite des Anschlussstücks 2 bzw. des Anschlussstücks 3 verbunden.

25

An ihrer Oberseite sind die rechteckigen Platten des Hinleiters 6 ebenfalls durch eine Hartlötverbindung 9 mit den rechteckigen Platten des Rückleiters 7 verbunden.

30

Hierbei ist zu erwähnen, dass die rechteckigen Platten des Rückleiters 7 zweigeteilt sind und durch einen Spalt 10 unterteilt sind, wobei der Spalt 10 einen Stromfluss zwischen den beiden angrenzenden Teilen des Rückleiters 7 verhindert.

35

Der Spalt 10 wird hierbei durch Einlegeeile 11 überbrückt, die jeweils in einen Absatz in den angrenzenden Platten des Rückleiters 7 eingelegt und damit verbunden sind.

Die Einlegeteile 11 sind detailliert in den Figuren 1D und 1E dargestellt und bestehen aus zwei plattenförmigen Leiterelementen 12, 13 aus einem Leitermaterial (z.B. Kupfer) und einem dazwischen befindlichen Widerstandselement 14 aus einem Widerstandsmaterial (z.B. Manganin<sup>®</sup>). Die

5 Einlegeteile 12, 13 können beispielsweise aus einem Verbundmaterialband hergestellt werden, wie es beispielsweise aus EP 0 605 800 A1 bekannt ist. Der zu messende elektrische Strom  $I$  fließt also beim Durchströmen des Rückleiters durch die Einlegeteile 11 und damit auch durch das Widerstandselement 14. Der Spannungsabfall  $U$  (vgl. Fig. 2A) über dem Widerstandselement 14 der Einlegeteile 11 bildet also gemäß dem Ohm'schen Gesetz ein Maß für den zu messenden elektrischen Strom. Die Messung dieses Spannungsabfalls erfolgt über eine Messschaltung, die auf einer  
10 Leiterplatte 15 angeordnet ist, wobei die Leiterplatte 15 innerhalb des Rückleiters 7 angeordnet und rechtwinklig zur Stromflussrichtung ausgerichtet ist.

Wegen der zu erwartenden Inhomogenität der Stromverteilung innerhalb des Widerstandes wird  
15 eine Vielzahl von Paaren von Spannungsabgriffen ausgebildet, deren Messwerte in geeigneter Weise gemittelt werden.

In einer vereinfachten Ausführung für niedrigere Ströme bzw. hochohmigere Widerstandswerte kann das Einlegeteil den kompletten Rückleiter inklusive des Rückleiters 7 bilden.

20 Zur elektrischen Verbindung der Leiterplatte 15 mit den beiden plattenförmigen Anschlussteilen 12, 13 des Einlegeteils 11 sind zwei Stanzteile 16, 17 vorgesehen, wie insbesondere aus den Figuren 2A und 2B ersichtlich ist.

25 Die beiden Stanzteile 16, 17 sind bevorzugt durch jeweils eine Sinterverbindung mit den beiden plattenförmigen Anschlussteilen 12 bzw. 13 der Einlegeteile 11 verbunden. Hierzu wird zunächst eine Silber-Sinterpaste strukturiert auf die Leiterelemente 12, 13 gedruckt und getrocknet. Die Stanzteile 16, 17 werden dann passgenau in einem Niedertemperatur-Sinterprozess (250°-260°C) aufgebracht. Die gesinterte Verbindungsschicht besteht aus reinem Silber und ist je nach Druckdichte der Sinterpaste zwischen 30µm und 70µm dick. Diese Verbindung zwischen den Stanzteilen  
30 16, 17 einerseits und den Leiterelementen 12, 13 andererseits übersteht auch den nachfolgenden Hartlötprozess, in dem der gesamte Koaxialwiderstand 1 verlötet wird, unbeschadet. Die Verbindung wird sogar noch stabiler durch eine intensive Diffusion von Kupfer und Silber. Die Verbindung kann aber auch als Schweiß-oder Hartlötverbindung ausgeführt werden.

35

bei an dem masseseitigen Stanzteil 17 eine Kontaktfahne 20 angeformt ist, die mittig zwischen den beiden Kontaktfahnen 18, 19 des spannungsseitigen Stanzteils 16 verläuft. Die Kontaktfahnen 18-20 sind entsprechend gebogen, um die Leiterplatte 15 zu kontaktieren, wie insbesondere auf

5 Figur 2A ersichtlich ist. Bei der Montage liegt die Leiterplatte 15 auf den Schultern der gebogenen Kontaktfahnen 18-20 als Positionierhilfe auf. Die Kontaktfahnen 18, 19 bilden also zusammen einen Spannungsabgriff auf der High-Seite (Spannungsabgriff), während die Kontaktfahne 20 einen Spannungsabgriff auf der Low-seite (Masseseite) bildet.

10 Die Vielzahl der Lötverbindungen zwischen der Leiterplatte 15 und den Einlegeteilen 11 garantiert dem Verbund aus der Leiterplatte 15 und dem Koaxialwiderstand 1 eine gute Festigkeit, wobei die gebogenen Kontaktfahnen 18-20 einen gewissen mechanischen Ausgleich bei den durch Temperaturwechsel möglichen Verspannungen erlauben.

15 Die doppelten Kontaktfahnen 18, 19 auf der Spannungsseite (High-Side) bieten den Vorteil, dass die Temperatur der Spannungsseite durch die gute Wärmeleitung über die Kontaktfahnen 18, 19 (doppelt, kurze Länge, breite Kontakte und sehr hohe Wärmeleitfähigkeit) effektiv auf die Leiterplatte 15 übertragen wird. Damit liegt über der Verbundmaterialfahne 20 die volle Temperaturdifferenz des Shunts an, so dass die Thermospannungskompensation korrekt funktionieren kann.

20 Das masseseitige Stanzteil 17 besteht hierbei aus demselben Verbundmaterialband wie das Einlegeteil 11, um die unvermeidbaren Thermospannungen im Einlegeteil möglichst optimal kompensieren zu können. Vorzugsweise besteht das masseseitige Stanzteil 17 sogar aus derselben Charge desselben Verbundmaterialbands.

25 Die Figuren 3A und 3B zeigen Details der Leiterplatte 15. Fig. 3a zeigt, dass im realisierten Fall jeweils drei Paar von Spannungsabgriffen pro Einlegeteil 11 ausgebildet sind. Aus Figur 3B ist ersichtlich, dass die Leiterplatte 15 für jedes Paar von Spannungsabgriffen jeweils zwei Anschlussflächen 21, 22 für die Kontaktfahnen 18, 19 und eine mittige Anschlussfläche 23 für die Kontaktfahne 20 aufweist.

30

Weiterhin ist zu erwähnen, dass die Leiterplatte 15 mehrlagig ist und auf ihrer Oberseite Symmetrierungswiderstände  $R_{SYM}$  aufweist, wobei die Symmetrierwiderstände  $R_{SYM}$  die Aufgabe haben, die Spannungsmesswerte der einzelnen Paare von Spannungsabgriffen zu gewichten, wie es beispielsweise aus DE 10 2013 005 939 A1 bekannt ist.

35

WO 2019/011624 trägt die Oberseite der Leiterplatte 15 noch einen Ausgleichswiderstand  $R_{KOMP}$  zur Kompensation der Temperaturabhängigkeit des Widerstandselementes, wie es beispielsweise aus DE 10 2016 008 415.4 bekannt ist.

5 Figur 4 zeigt ein vereinfachtes Ersatzschaltbild zur Verdeutlichung der Gewichtung der einzelnen Spannungsmesswerte von den einzelnen Paaren von Spannungsabgriffen. Die Widerstände  $R_0$ ,  $R_1$ , ...,  $R_n$  sind hierbei die Widerstandselemente 14 in den einzelnen Einlegeteilen 11. Die Widerstände  $R_a$ ,  $R_b$  entsprechen dagegen den Symmetrierwiderständen  $R_{SYM}$  in Figur 3B. Die Funktionsweise dieser Schaltung ist beispielsweise in DE 10 2013 005 939 A1 beschrieben, so dass dies-  
10 bezüglich auf diese frühere Patentanmeldung verwiesen wird.

Schließlich zeigt Figur 5 ein Ersatzschaltbild zur Verdeutlichung der Kompensation von Thermospannungen  $U_{th}$  durch die Verbundmaterialfahne 20. Die Funktionsweise dieser Kompensation von Thermospannungen ist beispielsweise in DE 10 2016 008 415.4 beschrieben, so dass auch  
15 diesbezüglich auf diese frühere Patentanmeldung verwiesen werden kann.

Die Zeichnung zeigt auch zwei aus Kupfer bestehende und parallel geschaltete Widerstände  $R_{Cu1}$  und  $R_{Cu2}$ , die in einer zweiten Ebene der Leiterplatte 15 angeordnet sind und von spannungsseitigen Kupferanschlüssen ausgehen und als Temperaturfühler für die TK-Kompensation dienen. Zu-  
20 sätzlich nehmen die beiden Widerstände  $R_{Cu1}$  und  $R_{Cu2}$  eine Mittelwertbildung der beiden spannungsseitigen Potentialwerte vor.

Die Erfindung ist nicht auf die vorstehend beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von  
25 dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb in den Schutzbereich fallen. Insbesondere beansprucht die Erfindung auch Schutz für den Gegenstand und die Merkmale der Unteransprüche unabhängig von den jeweils in Bezug genommenen Ansprüchen. Die Erfindung umfasst also verschiedene Erfindungsaspekte, die unabhängig voneinander Schutz genießen.

- 1 Koaxialwiderstand
- 2 Plattenförmiges Anschlussteil zur Zuführung des Stroms
- 5 3 Plattenförmiges Anschlussteil zum Abführen des Stroms
- 4 Bohrung in dem Anschlussteil zum Festschrauben eines Anschlusskontakts
- 5 Bohrung in dem Anschlussteil zum Festschrauben eines Anschlusskontakts
- 6 Hinleiter
- 7 Rückleiter
- 10 8a Hartlötverbindung zwischen Hinleiter und plattenförmigem Anschlussteil
- 8b Hartlötverbindung zwischen Rückleiter und plattenförmigem Anschlussteil
- 9 Hartlötverbindung zwischen Hinleiter und Rückleiter
- 10 Spalt in dem Rückleiter
- 11 Einlegeteil aus Verbundmaterial in dem Rückleiter
- 15 12, 13 Plattenförmige Leiterelemente des Einlegeteils
- 14 Plattenförmiges Widerstandselement des Einlegeteils
- 15 Leiterplatte
- 16 Spannungsseitiges Stanzteil zum Spannungsabgriff
- 17 Masseseitiges Stanzteil zum Spannungsabgriff
- 20 18, 19 Kontaktfahnen des spannungsseitigen Stanzteils zur Kontaktierung der Leiterplatte
- 20 Kontaktfahne des masseseitigen Stanzteils zur Kontaktierung der Leiterplatte
- 21, 22 Anschlussflächen in der Leiterplatte für die spannungsseitigen Kontaktfahnen
- 23 Anschlussfläche in der Leiterplatte für die masseseitige Kontaktfahne
- I Elektrischer Strom durch den Koaxialwiderstand
- 25 Ra, Rb Symmetrierwiderstände in der Leiterplatte
- $R_{CU1}, R_{CU2}$  Widerstände zur Kompensation der Temperaturabhängigkeit
- $R_{KOMP}$  Ausgleichswiderstand auf der Leiterplatte
- $R_0, \dots, R_n$  Widerstandselemente
- $R_{MESS}$  Widerstandselement
- 30  $R_{SYM}$  Symmetrierwiderstände auf der Leiterplatte
- U Spannungsabfall über dem Widerstandselement
- $U_{TH}$  Thermospannung im masseseitigen Stanzteil aus Verbundmaterial
- $U_1, \dots, U_n$  Spannungsabfall über den Widerstandselementen  $R_0, \dots, R_n$

## ANSPRÜCHE

5

1. Koaxialwiderstand (1) zur Messung eines elektrischen Stroms (I), mit
    - a) einem Hinleiter (6) zum Führen des zu messenden Stroms (I),
    - b) einem innerhalb des Hinleiters (6) liegenden Rückleiter (7) zum Führen des zu messenden Stroms (I), wobei der Hinleiter (6) und der Rückleiter (7) koaxial angeordnet und elektrisch
- 10 in Reihe geschaltet sind und den Strom (I) in entgegengesetzten Stromflussrichtungen führen, und mit
- c) einem Widerstandselement (14) aus einem Widerstandsmaterial, wobei das Widerstandselement (14) in dem Hinleiter (6) oder in dem Rückleiter (7) angeordnet ist, so dass der Strom (I) durch das Widerstandselement (14) fließt,

15 **dadurch gekennzeichnet,**

- d) dass der Querschnitt zumindest des innenliegenden Rückleiters (7) in einer Schnittebene rechtwinklig zu der Stromflussrichtung eckig ist, insbesondere rechteckig, insbesondere quadratisch, dreieckig, fünfeckig oder vieleckig.

20 2. Koaxialwiderstand (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) dass der innen liegende Rückleiter (7) aus mehreren ebenen, vorzugsweise rechteckigen Platten besteht, und/oder
- b) dass der außen liegende Hinleiter (6) aus mehreren ebenen, vorzugsweise rechteckigen Platten besteht, und/oder

25 c) wobei die Platten des Hinleiters (6) einerseits und die Platten des Rückleiters (7) andererseits jeweils paarweise parallel zueinander angeordnet sind.

3. Koaxialwiderstand (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der außen liegende Hinleiter (6) einen runden, insbesondere einen kreisrunden Querschnitt aufweist.

30

4. Koaxialwiderstand (1) nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) dass die Platten des Hinleiters (6) oder die Platten des Rückleiters (7) das Widerstandselement (14) enthalten, und/oder
  - b) dass das Widerstandselement (14) jeweils in einem Einlegeteil (11) enthalten ist, das in den
- 35 Hinleiter (6) oder in den Rückleiter (7) eingelegt ist und einen quer zur Stromflussrichtung

verlaufenden Spalt (10) in dem Hinleiter (6) oder dem Rückleiter (7) überbrückt, und/oder

- c) dass die Einlegeteile (11) jeweils aus einer Verbundmaterialplatte bestehen aus zwei plattenförmigen Leiterelementen (12, 13) aus einem Leitermaterial und dem in Stromflussrichtung dazwischen liegenden plattenförmigen Widerstandselement (14).

5

5. Koaxialwiderstand (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**

- a) ein erstes Anschlussstück (2) aus einem Leitermaterial zum Zuführen des Stroms (I) zu dem Koaxialwiderstand (1),  
b) ein zweites Anschlussstück (3) aus einem Leitermaterial zum Abführen des Stroms (I) aus dem Koaxialwiderstand (1),  
c) wobei der Hinleiter (6) und der Rückleiter (7) jeweils mit einem der beiden Anschlussstücke (2, 3) elektrisch und mechanisch verbunden ist.

10

6. Koaxialwiderstand (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) dass die elektrische Verbindung zwischen dem Hinleiter (6) und dem Rückleiter (7) einerseits und den Anschlussstücken (2, 3) andererseits eine Lötverbindung, insbesondere eine Hartlötverbindung (8a, 8b), oder eine Schweißverbindung ist, und/oder  
b) dass die elektrische Verbindung zwischen dem Hinleiter (6) und dem Rückleiter (7) eine Hartlötverbindung (9) oder eine Schweißverbindung ist.

20

7. Koaxialwiderstand (1) nach 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) dass die beiden Anschlussstücke (2, 3) aus ebenen, vorzugsweise rechteckigen Platten bestehen, und/oder  
b) dass die beiden plattenförmigen Anschlussstücke (2, 3) rechtwinklig ausgerichtet sind zu den Platten des Hinleiters (6) und des Rückleiters (7).

25

8. Koaxialwiderstand (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) dass zur Messung der über den Widerstandselementen (14) abfallenden elektrischen Spannungen jeweils mindestens ein Paar von Spannungsabgriffen (18, 19, 20) vorgesehen ist, und/oder  
b) dass mehrere Paare von Spannungsabgriffen (18, 19, 20) vorgesehen sind, wobei die Paare von Spannungsabgriffen (18, 19, 20) an verschiedenen Spannungsmesspunkten angeordnet sind, und/oder

30

- c) dass die Spannungsabgriffe (18, 19, 20) spannungsseitig oder masseseitig mindestens zwei

35

Kontakte (18, 19) als Doppelabgriff aufweisen, um einen guten Wärmeübertrag auf eine Leiterplatte (15) zu erreichen, und/oder

d) dass die Spannungsabgriffe (18, 19, 20) mit den Leiterelementen (12, 13) der Verbundmaterialplatte des Einlegeteils (11) verbunden sind durch

- 5
- d1) eine Lötverbindung, insbesondere eine Hartlötverbindung,
  - d2) eine Schweißverbindung oder
  - d3) eine Sinterverbindung.

9. Koaxialwiderstand (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet,**

- 10
- a) dass die Spannungsabgriffe (18, 19, 20) aus Kupfer bestehen, oder
  - b) die masseseitigen Spannungsabgriffe (20) aus demselben Verbundmaterial bestehen wie die Verbundmaterialplatte des Einlegeteils (11), insbesondere aus derselben Charge.

10. Koaxialwiderstand (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,**

- 15
- a) dass zur Bildung der spannungsseitigen Spannungsabgriffe (18, 19) ein Stanzteil (16) vorgesehen ist, das mit dem spannungsseitigen plattenförmigen Leiterelement (12) des Einlegeteils (11) verbunden ist, und
  - b) dass zur Bildung der masseseitigen Spannungsabgriffe (20) ein Stanzteil (17) vorgesehen ist, das mit dem masseseitigen plattenförmigen Leiterelement (13) des Einlegeteils (11) verbunden ist.
- 20

11. Koaxialwiderstand (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) dass die Stanzteile (16, 17) zur elektrischen Verbindung mit einer Leiterplatte (15) Kontaktfahnen (18-20) haben, und/oder
- 25
- b) dass bei mindestens einem Paar der Spannungsabgriffe (18-20) eine masseseitige Kontaktfahne (20) mittig zwischen zwei spannungsseitigen Kontaktfahnen (18, 19) angeordnet ist.

12. Koaxialwiderstand (1) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) dass die Stanzteile (16, 17) jeweils durch eine der folgenden Verbindungen mit den plattenförmigen Leiterelementen (12, 13) der Einlegeteile (11) verbunden sind:
- 30
- a1) eine Sinterverbindung,
  - a2) eine Lötverbindung, insbesondere eine Hartlötverbindung,
  - a3) eine Schweißverbindung, und/oder
- b) dass die Sinterverbindung mittels einer Silber-Sinterpaste erfolgt, und/oder
- 35
- c) dass die Sinterverbindung eine gesinterte Schicht mit einer Schichtdicke von 30µm bis

70µm aufweist.

13. Koaxialwiderstand (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**,
- a) dass die Stanzteile (16, 17) eine Dicke von mehr als 0,1mm, 0,2mm oder 0,25mm und/oder  
5 weniger als 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,4mm oder 0,35mm aufweisen, und/oder
- b) dass eines der Stanzteile (16, 17) und die Verbundmaterialplatten des Einlegeteils (11) aus demselben Verbundmaterial bestehen, insbesondere aus derselben Charge eines Verbundmaterialbands.
- 10 14. Koaxialwiderstand (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- a) dass innen zwischen dem Hinleiter (6) und dem Rückleiter (7) eine Messschaltung angeordnet ist, welche die über dem Widerstandselement (14) abfallende Spannung erfasst, und/oder
- 15 b) dass die Messschaltung auf einer Leiterplatte (15) angeordnet ist, und/oder
- c) dass die Leiterplatte (15) mit den Kontaktfahnen (18-20) der Stanzteile (16, 17) verbunden ist, und/oder
- d) dass die Leiterplatte (15) quer, insbesondere rechtwinklig, zu der Stromflussrichtung in dem Hinleiter (6) und dem Rückleiter (7) angeordnet ist, und/oder
- 20 e) dass die Leiterplatte (15) an mindestens einer seitlichen Stirnkante Anschlüsse (21, 22, 23) zur Verbindung mit den Spannungsabgriffen (18, 19, 20) aufweist, und/oder
- f) dass die Leiterplatte (15) an allen seitlichen Stirnkanten Anschlüsse (21, 22, 23) aufweist zur Verbindung mit den Spannungsabgriffen (18, 19, 20) der parallelen Einlegeteile (11).
- 25 15. Koaxialwiderstand (1) nach 14, **dadurch gekennzeichnet**,
- a) dass eine erste Leiterplattenebene, insbesondere die Oberseite der Leiterplatte (15), Symmetrierwiderstände ( $R_{SYM}$ ,  $R_a$ ,  $R_b$ ) enthält, wobei die Symmetrierwiderstände ( $R_{SYM}$ ,  $R_a$ ,  $R_b$ ) jeweils den einzelnen Paaren von Spannungsabgriffen (18, 19, 20) zugeordnet sind, um die einzelnen Spannungsmesswerte zu gewichten, und/oder
- 30 b) dass die erste Leiterplattenebene einen Widerstand ( $R_{komp}$ ) zur Kompensation der Temperaturabhängigkeit des Widerstandselementes enthält, und/oder
- c) dass eine zweite Leiterplattenebene einen Widerstand ( $R_{Cu1}$ ,  $R_{Cu2}$ ) aus Kupfer enthält, der als Temperaturfühler für eine Kompensation der Temperaturabhängigkeit des Widerstandselementes (14) dient, und/oder
- 35 d) dass der aus Kupfer bestehende Widerstand ( $R_{Cu1}$ ,  $R_{Cu2}$ ) zur Temperaturkompensation aus

zwei parallel geschalteten Widerständen ( $R_{Cu1}$ ,  $R_{Cu2}$ ) besteht, die eine Mittelwertbildung der beiden Mess-Spannungen aus dem Doppelabgriffen bilden, und/oder

- e) dass eine dritte Leiterplattenebene und eine vierte Leiterplattenebene, insbesondere die Unterseite der Leiterplatte (15), Kupferanschlussflächen zum Wärmeausgleich im Bereich der Kupfer-Widerstände ( $R_{Cu1}$ ,  $R_{Cu2}$ ) aufweist.

16. Koaxialwiderstand (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

- a) dass der Koaxialwiderstand (1) eine Dauerstromfestigkeit von mindestens 1kA, 2kA, 3kA, 4kA oder 5kA aufweist, und/oder

- b) dass das Leitermaterial Kupfer oder eine Kupferlegierung oder Aluminium oder eine Aluminiumlegierung ist, und/oder

- c) dass das Leitermaterial eine größere spezifische elektrische Leitfähigkeit aufweist als das Widerstandsmaterial, und/oder

- d) dass das Widerstandsmaterial eine Kupfer-Mangan-Legierung ist, insbesondere eine Kupfer-Mangan-Nickel-Legierung, oder eine Nickel-Chrom-Legierung, und/oder

- e) dass das Widerstandsmaterial des Widerstandselements (14) einen spezifischen elektrischen Widerstand aufweist, der

e1) kleiner als  $50 \cdot 10^{-7} \Omega m$ ,  $20 \cdot 10^{-7} \Omega m$ ,  $10 \cdot 10^{-7} \Omega m$  oder  $5 \cdot 10^{-7} \Omega m$ , und/oder

e2) größer als  $1 \cdot 10^{-8} \Omega m$ ,  $5 \cdot 10^{-8} \Omega m$ ,  $1 \cdot 10^{-7} \Omega m$  oder  $2 \cdot 10^{-7} \Omega m$  ist, und/oder

- f) dass der Koaxialwiderstand (1) einen Widerstandswert aufweist, der

f1) mindestens  $0,1 \mu\Omega$ ,  $0,5 \mu\Omega$ ,  $1 \mu\Omega$ ,  $2 \mu\Omega$ ,  $5 \mu\Omega$ ,  $10 \mu\Omega$ ,  $20 \mu\Omega$  und/oder

f2) höchstens  $1000 \mu\Omega$ ,  $500 \mu\Omega$ ,  $250 \mu\Omega$ ,  $100 \mu\Omega$  oder  $50 \mu\Omega$  beträgt, und/oder

- g) dass der Koaxialwiderstand (1) einen Widerstandswert mit einem Temperaturkoeffizienten von weniger als 500 ppm/K, 200 ppm/K oder 50 ppm/K aufweist.

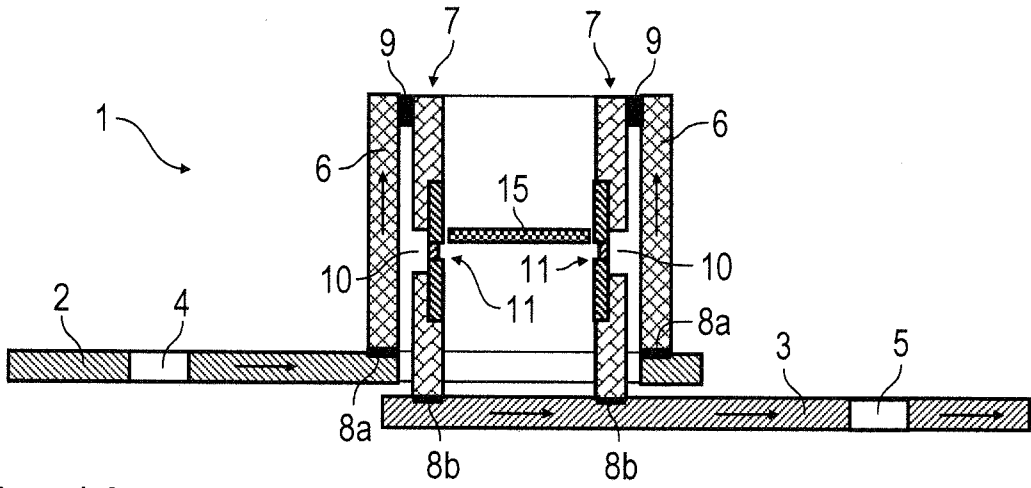


Fig. 1A  
Schnitt A-A

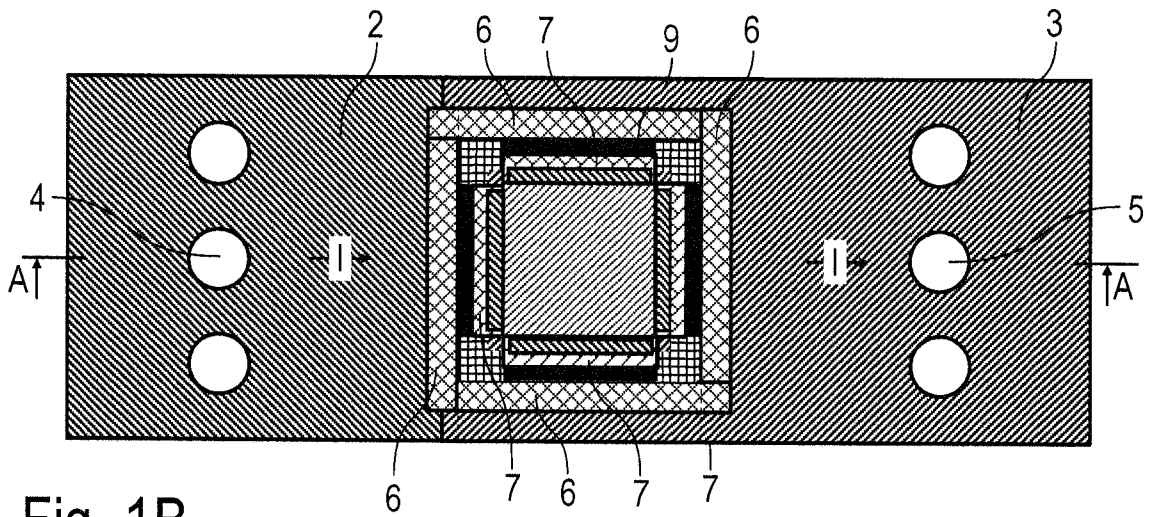


Fig. 1B

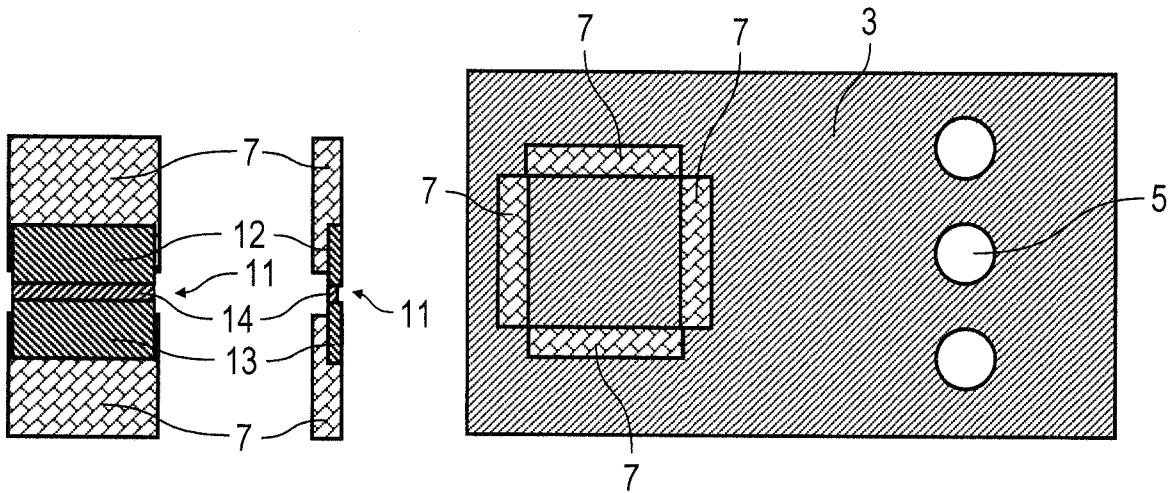


Fig. 1D

Fig. 1E

Fig. 1C

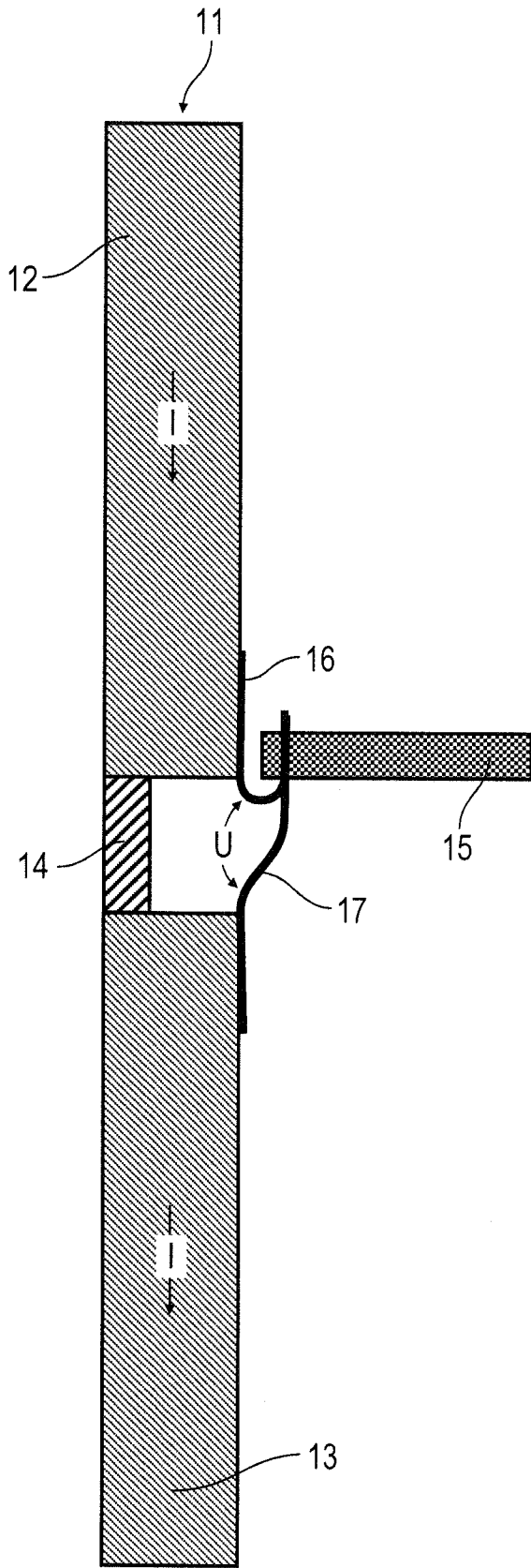


Fig. 2A

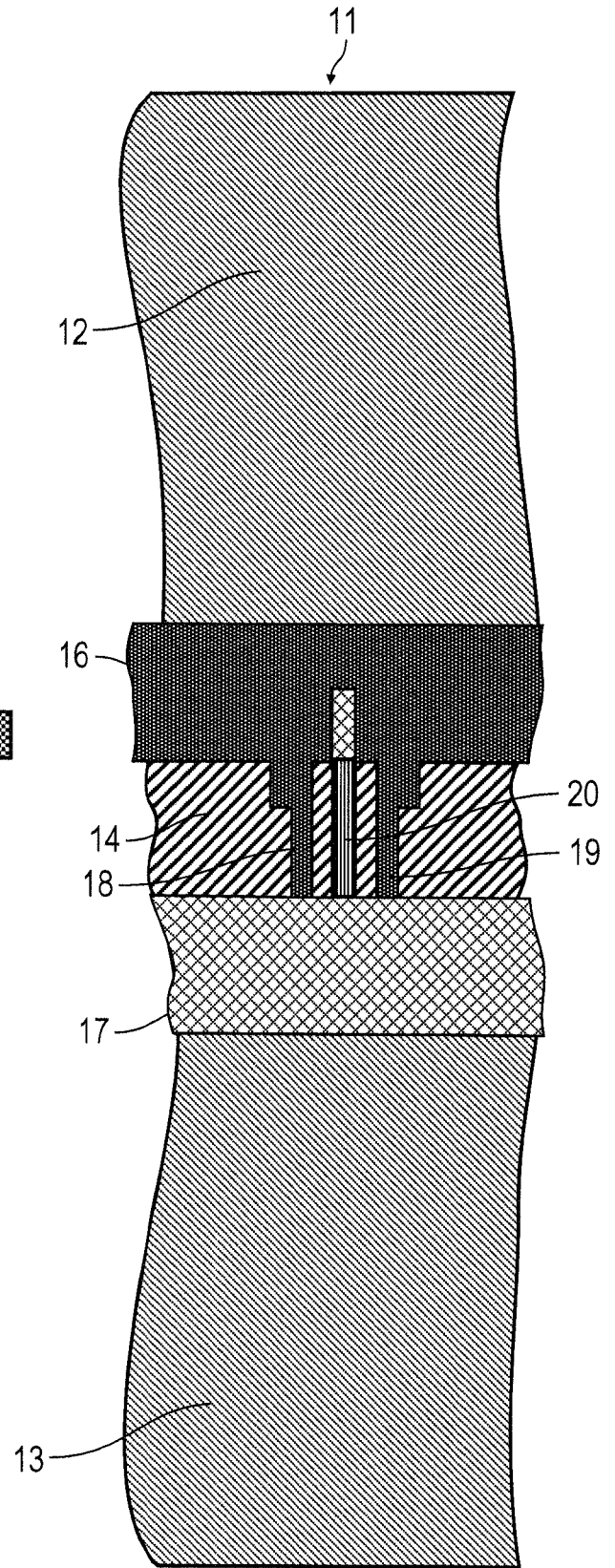


Fig. 2B

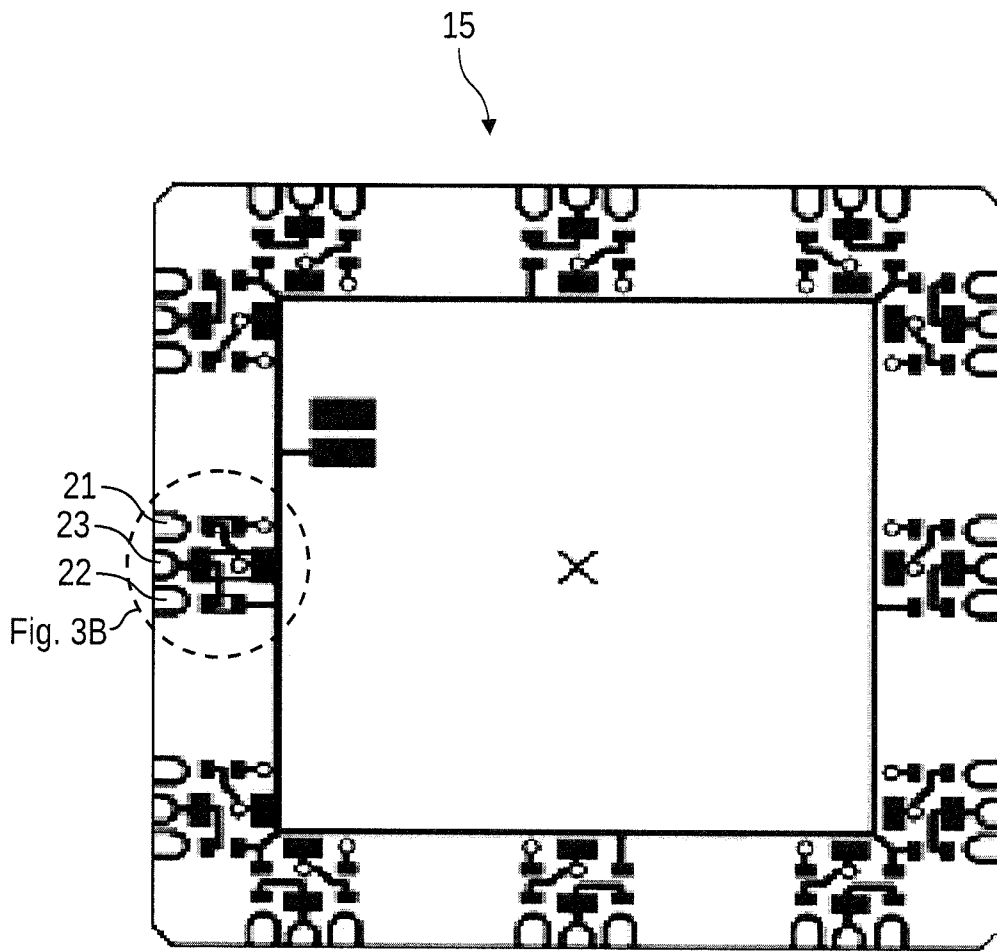


Fig. 3A

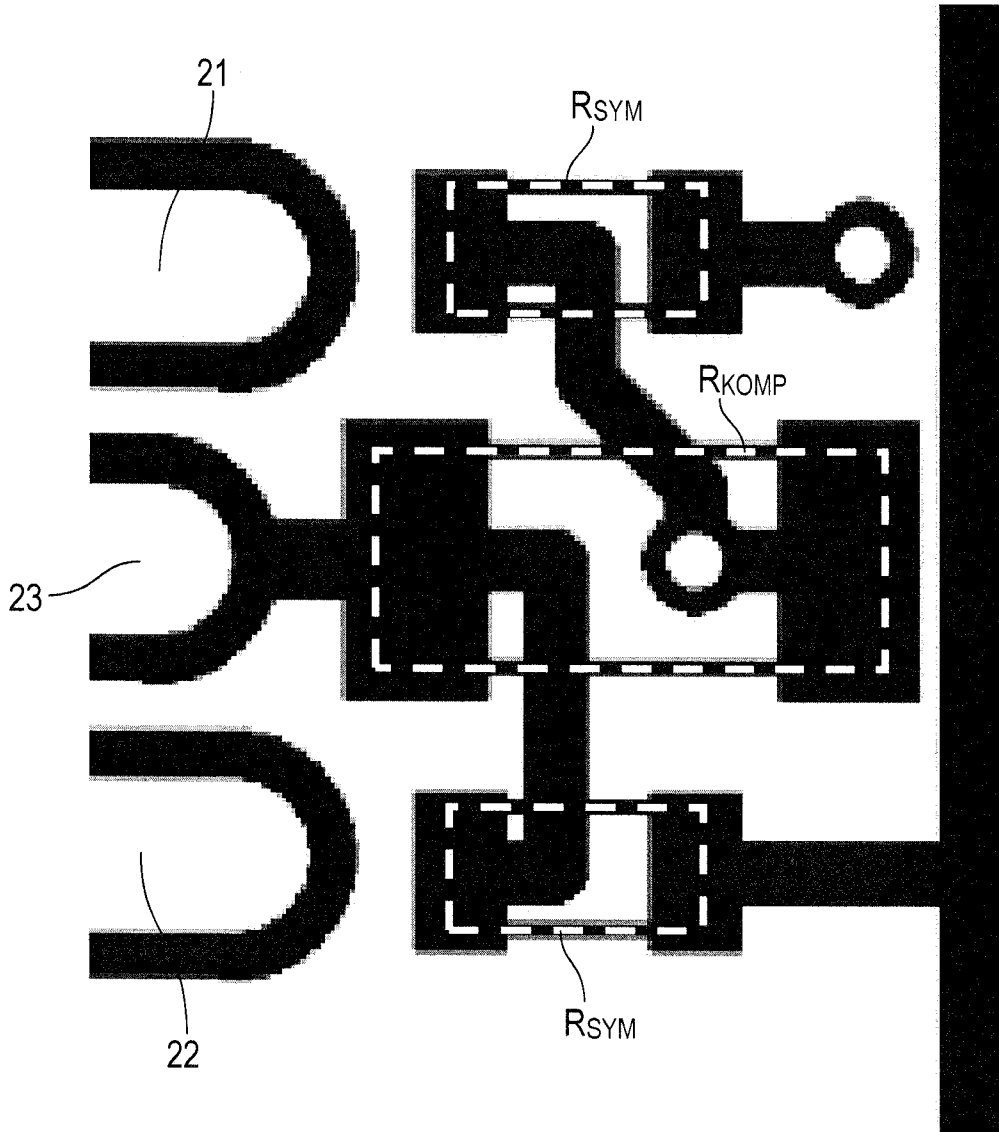


Fig. 3B

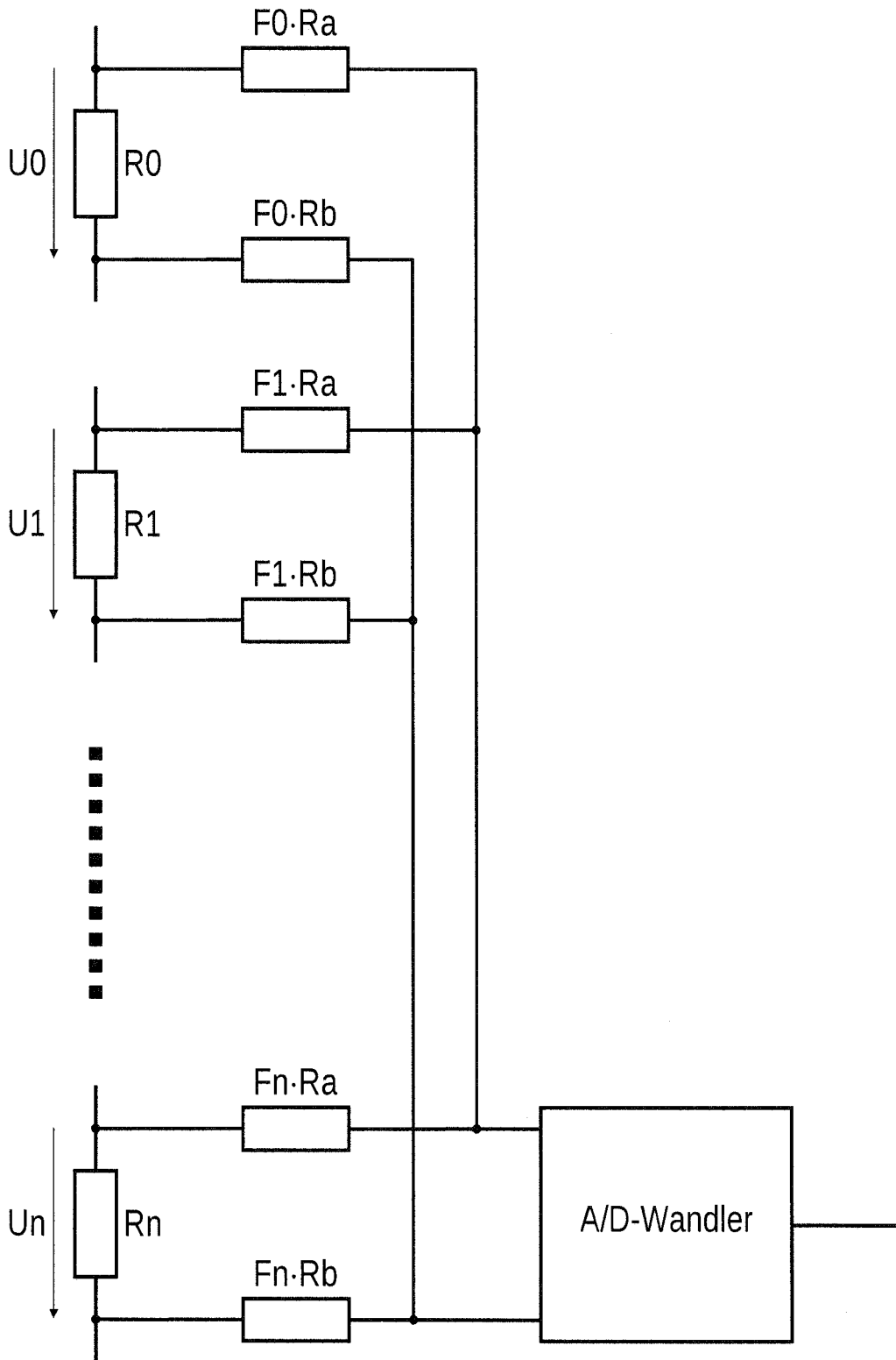


Fig. 4

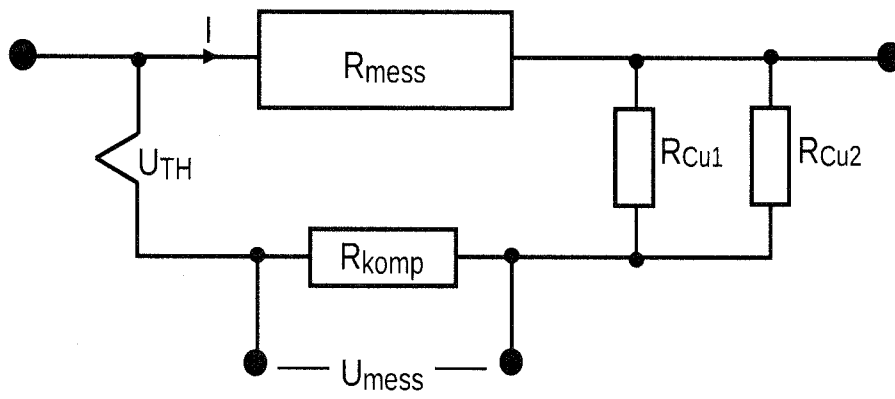


Fig. 5

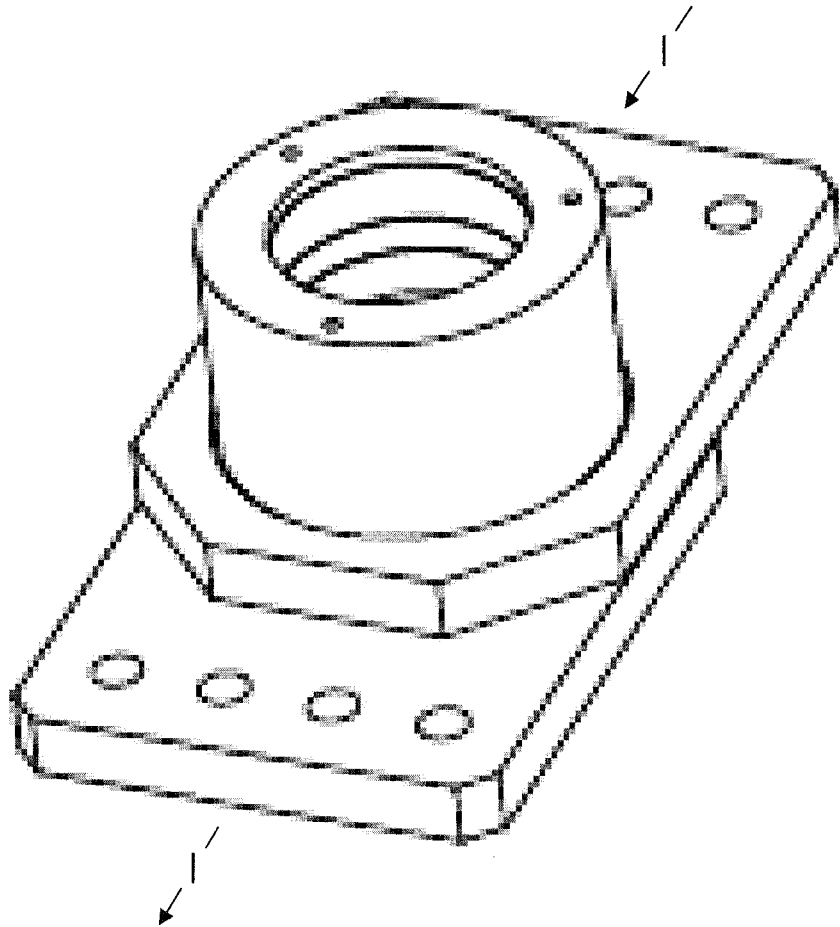


Fig. 6  
Stand der Technik

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2018/066706**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>G01R 1/20(2006.01)i; H01C 3/02(2006.01)n; G01R 15/00(2006.01)n; G01R 19/00(2006.01)n</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01R; H01C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2044459 A5 (COMP GENERALE ELECTRICITE) 19 February 1971 (1971-02-19) page 1, line 36 - page 2, line 28; figure 2	1-16
X	JP S6079275 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 07 May 1985 (1985-05-07) abstract	1
A	JP 2015072150 A (YOSHIKAWA TAKESHI) 16 April 2015 (2015-04-16) figures 4a,4b	1,2
A	WO 2007068409 A1 (HEUSLER ISABELLENHUETTE [DE]; HETZLER ULRICH [DE]) 21 June 2007 (2007-06-21) cited in the application page 8, line 24 - page 11, line 12; figures 1a,2a,2b	4,7-9,14
A	DE 102013005939 A1 (ISABELLENHÜTTE HEUSLER GMBH & CO KG [DE]) 09 October 2014 (2014-10-09) cited in the application figure 1	1,8
A	DE 102007034757 A1 (DENSO CORP [JP]) 14 February 2008 (2008-02-14) paragraph [0066]	10-13
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>06 September 2018</b>		Date of mailing of the international search report <b>18 September 2018</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Hof, Klaus-Dieter</b>  Telephone No.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2018/066706**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
FR	2044459	A5	19 February 1971	NONE			
JP	S6079275	A	07 May 1985	NONE			
JP	2015072150	A	16 April 2015	JP	5497236	B1	21 May 2014
				JP	2015072150	A	16 April 2015
WO	2007068409	A1	21 June 2007	AT	442653	T	15 September 2009
				DE	102005059561	A1	28 June 2007
				EP	1961018	A1	27 August 2008
				WO	2007068409	A1	21 June 2007
DE	102013005939	A1	09 October 2014	CN	105074477	A	18 November 2015
				DE	102013005939	A1	09 October 2014
				EP	2981833	A1	10 February 2016
				EP	3139183	A1	08 March 2017
				ES	2620542	T3	28 June 2017
				ES	2644003	T3	27 November 2017
				JP	2016514841	A	23 May 2016
				KR	20160003684	A	11 January 2016
				US	2016041206	A1	11 February 2016
				WO	2014161624	A1	09 October 2014
DE	102007034757	A1	14 February 2008	DE	102007034757	A1	14 February 2008
				JP	2008039571	A	21 February 2008
				US	2008030208	A1	07 February 2008
DE	102010009835	A1	08 September 2011	DE	102010009835	A1	08 September 2011
				EP	2542902	A1	09 January 2013
				US	2012327973	A1	27 December 2012
				US	2016154035	A1	02 June 2016
				WO	2011107184	A1	09 September 2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01R1/20 ADD. H01C3/02                      G01R15/00                      G01R19/00		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) G01R H01C		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	FR 2 044 459 A5 (COMP GENERALE ELECTRICITE) 19. Februar 1971 (1971-02-19) Seite 1, Zeile 36 - Seite 2, Zeile 28; Abbildung 2	1-16
X	JP S60 79275 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 7. Mai 1985 (1985-05-07) Zusammenfassung	1
A	JP 2015 072150 A (YOSHIKAWA TAKESHI) 16. April 2015 (2015-04-16) Abbildungen 4a,4b	1,2
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "Y" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
6. September 2018		18/09/2018
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  Hof, Klaus-Dieter

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2007/068409 A1 (HEUSLER ISABELLENHUETTE [DE]; HETZLER ULRICH [DE]) 21. Juni 2007 (2007-06-21) in der Anmeldung erwähnt Seite 8, Zeile 24 - Seite 11, Zeile 12; Abbildungen 1a,2a,2b	4,7-9,14
A	----- DE 10 2013 005939 A1 (ISABELLENHÜTTE HEUSLER GMBH & CO KG [DE]) 9. Oktober 2014 (2014-10-09) in der Anmeldung erwähnt Abbildung 1	1,8
A	----- DE 10 2007 034757 A1 (DENSO CORP [JP]) 14. Februar 2008 (2008-02-14) Absatz [0066]	10-13
A	----- DE 10 2010 009835 A1 (ISABELLENHUETTE HEUSLER GMBH & CO KG [DE]) 8. September 2011 (2011-09-08) Zusammenfassung	15
	-----	

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/066706

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 2044459	A5	19-02-1971	KEINE
JP S6079275	A	07-05-1985	KEINE
JP 2015072150	A	16-04-2015	JP 5497236 B1 21-05-2014 JP 2015072150 A 16-04-2015
WO 2007068409	A1	21-06-2007	AT 442653 T 15-09-2009 DE 102005059561 A1 28-06-2007 EP 1961018 A1 27-08-2008 WO 2007068409 A1 21-06-2007
DE 102013005939	A1	09-10-2014	CN 105074477 A 18-11-2015 DE 102013005939 A1 09-10-2014 EP 2981833 A1 10-02-2016 EP 3139183 A1 08-03-2017 ES 2620542 T3 28-06-2017 ES 2644003 T3 27-11-2017 JP 2016514841 A 23-05-2016 KR 20160003684 A 11-01-2016 US 2016041206 A1 11-02-2016 WO 2014161624 A1 09-10-2014
DE 102007034757	A1	14-02-2008	DE 102007034757 A1 14-02-2008 JP 2008039571 A 21-02-2008 US 2008030208 A1 07-02-2008
DE 102010009835	A1	08-09-2011	DE 102010009835 A1 08-09-2011 EP 2542902 A1 09-01-2013 US 2012327973 A1 27-12-2012 US 2016154035 A1 02-06-2016 WO 2011107184 A1 09-09-2011