

(19)



(11)

EP 3 872 937 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

23.02.2022 Patentblatt 2022/08

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

H01R 13/6477^(2011.01) H01R 13/6476^(2011.01)

H01R 13/6474^(2011.01) H01R 24/44^(2011.01)

H01R 24/56^(2011.01)

(21) Anmeldenummer: **20160092.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

H01R 13/6477; H01R 13/6474; H01R 13/6476;

H01R 24/44; H01R 24/568

(54) **ELEKTRISCHER STECKVERBINDER UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES ELEKTRISCHEN STECKVERBINDERS**

ELECTRIC CONNECTOR AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

CONNECTEUR ENFICHABLE ÉLECTRIQUE ET PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN CONNECTEUR ENFICHABLE ÉLECTRIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

• **Lochner, Georg Christoph Michael**

84529 Tittmoning (DE)

• **Kositza, Martin Arthur**

36329 Romrod (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

01.09.2021 Patentblatt 2021/35

(74) Vertreter: **Lorenz, Markus**

Lorenz & Kollegen

Patentanwälte Partnerschaftsgesellschaft mbB

Alte Ulmer Straße 2

89522 Heidenheim (DE)

(73) Patentinhaber: **Rosenberger**

Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG

83413 Fridolfing (DE)

(72) Erfinder:

• **Unterhauser, Thomas**

83119 Obing (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

US-A1- 2015 162 113

US-A1- 2019 058 268

US-A1- 2019 267 727

US-A1- 2019 393 651

EP 3 872 937 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen elektrischen Steckverbinder zur differentiellen Signalübertragung, aufweisend ein Außenleiterkontaktelement, ein Dielektrikum und wenigstens ein Innenleiterkontaktelementpaar zur differentiellen Signalübertragung, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Steckverbinders zur differentiellen Signalübertragung, wobei der elektrische Steckverbinder ein Außenleiterkontaktelement, ein Dielektrikum und wenigstens ein Innenleiterkontaktelementpaar zur differentiellen Signalübertragung aufweist, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 14.

[0003] Elektrische Steckverbinder dienen bekanntermaßen dazu, elektrische Versorgungssignale und/oder Datensignale an korrespondierende Gegensteckverbinder zu übertragen. Bei einem Steckverbinder bzw. Gegensteckverbinder kann es sich um einen Stecker, um einen Einbaustecker, um eine Buchse, um eine Kuppelung, um einen Leiterplattensteckverbinder oder um einen Adapter handeln. Die im Rahmen der Erfindung verwendete Bezeichnung "Steckverbinder" bzw. "Gegensteckverbinder" steht stellvertretend für alle Varianten.

[0004] Insbesondere an Steckverbinder für die Hochfrequenztechnik, beispielsweise für die Datenübertragung in Fahrzeugen, werden hohe Anforderungen an die elektrischen Eigenschaften der Steckverbindungen gestellt. Mitunter müssen beim autonomen Betrieb eines Fahrzeugs oder bei der Verwendung von Assistenzsystemen hohe Datenmengen von mehreren Kameras, diversen Sensoren und Navigationsquellen miteinander kombiniert und transportiert werden, üblicherweise in Echtzeit. Der Betrieb vieler Geräte, Bildschirme und Kameras erfordert demnach eine leistungsfähige Infrastruktur in der Fahrzeugelektronik. Demnach sind die Anforderungen an die Steckverbinder und die Kabelverbindungen innerhalb eines Fahrzeugs bezüglich der erforderlichen Datenrate mittlerweile sehr hoch. Gleichzeitig ist es, zur Einsparung von Bauraum und Gewicht wichtig, die Steckverbinder möglichst kompakt auszubilden.

[0005] Zur Übertragung von elektrischen Signalen mit einer hohen Datenrate, beispielsweise mit einer Datenrate von 1,0 Gbit/s oder mehr, ist eine differenzielle Signalübertragung (auch als "symmetrische Signalübertragung" bekannt) einer asymmetrischen Signalübertragung (auch als "unsymmetrische Signalübertragung" oder "single-ended Signalübertragung" bekannt) vorzuziehen.

[0006] Zur Gewährleistung eines möglichst reinen symmetrischen Betriebs werden in der Praxis Innenleiterkontaktelemente mit symmetrischem Querschnittsprofil innerhalb eines Außenleiterkontaktelements mit ebenfalls symmetrischem Querschnittsprofil angeordnet. Die Symmetrie des Steckverbinders ist erforderlich, da die elektromagnetische Welle mit zunehmender Asymmetrie verstärkt im sog. "common mode" übertra-

gen wird und schließlich Gleichtaktstörsignale die Signalübertragung negativ beeinflussen können. Bei einem rein symmetrischen bzw. differentiellen Betrieb befindet sich die höchste Feldliniendichte des elektromagnetischen Feldes zwischen den beiden Innenleiterkontaktelementen, die ein gemeinsames differentielles Innenleiterkontaktelementpaar bilden. Die Signalenergie der hochfrequenten elektromagnetischen Welle ist somit im Bereich zwischen den beiden Innenleiterkontaktelementen gebündelt. Hierdurch geht im besten Fall keine Signalenergie nach außen verloren. Im "common mode" verlaufen die elektromagnetischen Feldlinien der elektromagnetischen Welle hingegen parabelförmig von der Verbindungslinie zwischen den beiden Innenleiterkontaktelementen nach außen. Insbesondere bei einer nicht optimalen elektromagnetischen Abschirmung können dadurch elektromagnetische Feldlinien bis zu umgebenden Gehäusebauteilen, beispielsweise einer Kraftfahrzeugkarosserie, verlaufen. Hierdurch kann Signalenergie verlorengehen, was die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) des gesamten Systems und das Signal-Rausch-Verhältnis ("Signal-to-Noise Ratio", SNR) beeinflusst bzw. verschlechtert.

[0007] Aufgrund der hohen Anforderungen an Steckverbinder zur Übertragung differenzieller Signale in der Hochfrequenztechnik ist deren Herstellungsaufwand vergleichsweise hoch. Insbesondere im Hinblick auf eine wirtschaftliche Massenproduktion der Steckverbinder ist dies ein Zustand, den es zu verbessern gilt.

[0008] Zum technischen Hintergrund wird beispielhaft auf die US 2019/058268 A1, die US 2019/393651 A1 und die US 2019/267727 A1 verwiesen, die jeweils Kabelsteckverbinder zur differentiellen Signalübertragung betreffen. Der Abstand zwischen den elektrischen Leitern des Kabels wird in einem Übergangsbereich zwischen dem elektrischen Kabel und dem Steckverbinder bis zum Erreichen des vorgesehenen Abstands zwischen den Innenleiterkontaktelementen des Steckverbinders erweitert. Es wird vorgeschlagen, die mit dieser so genannten Pitchanpassung einhergehende Impedanzänderung im Übergangsbereich des Steckverbinders auszugleichen.

[0009] Ergänzend sei noch die US 2015/162113 A1 erwähnt, die ein elektrisches Kabel zur differentiellen Signalübertragung und ein Herstellungsverfahren für ein derartiges Kabel betrifft.

[0010] In Anbetracht des bekannten Stands der Technik besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, einen elektrischen Steckverbinder bereitzustellen, der sich zur differentiellen Signalübertragung, insbesondere in der Hochfrequenztechnik, vorteilhaft eignen kann und der vorzugsweise kostengünstig herstellbar ist.

[0011] Der vorliegenden Erfindung liegt auch die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Steckverbinders zur differentiellen Signalübertragung bereitzustellen, insbesondere zur differentiellen Signalübertragung in der Hochfrequenztechnik.

[0012] Die Aufgabe wird für den elektrischen Steckver-

binder mit den in Anspruch 1 aufgeführten Merkmalen gelöst. Hinsichtlich des Verfahrens wird die Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 14 gelöst.

[0013] Die abhängigen Ansprüche und die nachfolgend beschriebenen Merkmale betreffen vorteilhafte Ausführungsformen und Varianten der Erfindung.

[0014] Es ist ein elektrischer Steckverbinder zur differentiellen Signalübertragung vorgesehen. Der elektrische Steckverbinder weist wenigstens ein Außenleiterkontaktelelement, wenigstens ein Dielektrikum und wenigstens ein Innenleiterkontaktelelementpaar zur differentiellen Signalübertragung auf. Das Dielektrikum erstreckt sich entlang einer Längsachse durch das Außenleiterkontaktelelement. Das Innenleiterkontaktelelementpaar umfasst ein erstes Innenleiterkontaktelelement und ein zweites Innenleiterkontaktelelement, die sich entlang der Längsachse durch das Dielektrikum erstrecken.

[0015] Bei der Längsachse handelt es sich vorzugsweise um eine Mittelachse bzw. Symmetrieachse.

[0016] Ein Innenleiterkontaktelelement im Rahmen der Erfindung kann beispielsweise als Stiftkontakt oder als Buchsenkontakt ausgebildet sein. Grundsätzlich können beliebige Innenleiterkontaktelelemente vorgesehen sein, beispielsweise auch Stirnkontakte wie Flachkontakte oder Federkontaktstifte (sog. Pogo-Pins).

[0017] Der elektrische Steckverbinder kann auch noch weitere Steckverbinderkomponenten aufweisen, beispielsweise eine äußere Gehäusebaugruppe, beispielsweise eine äußere Gehäusebaugruppe aus Kunststoff, um ein Außenleiterkontaktelelement oder um mehrere Außenleiterkontaktelelemente aufzunehmen.

[0018] Gemäß einer ersten Variante der Erfindung ist vorgesehen, dass das Außenleiterkontaktelelement und/oder das Dielektrikum eine Ausgleichsgeometrie aufweisen, um eine Asymmetrie (z. B. eine asymmetrische Anordnung und/oder ein asymmetrisches Querschnittsprofil) des Innenleiterkontaktelelementpaars bezogen auf die Längsachse auszugleichen.

[0019] Im Rahmen der Erfindung können auch mehrere Ausgleichsgeometrien vorgesehen sein. Aus Gründen der Anschaulichkeit ist die Erfindung nachfolgend allerdings im Wesentlichen anhand einer einzigen Ausgleichsgeometrie beschrieben.

[0020] Neben der Kompensation einer Asymmetrie eines Innenleiterkontaktelelementpaars kann aber auch eine Asymmetrie des Außenleiterkontaktelelements und/oder des Dielektrikums durch eine Ausgleichsgeometrie des Innenleiterkontaktelelementpaars und/oder des Dielektrikums kompensiert werden.

[0021] Es ist somit gemäß einer zweiten, optionalen oder alternativen Variante der Erfindung vorgesehen, dass das Innenleiterkontaktelelementpaar eine Ausgleichsgeometrie aufweist, um eine Asymmetrie (z. B. eine asymmetrische Anordnung und/oder ein asymmetrisches Querschnittsprofil) des Außenleiterkontaktelelements und/oder des Dielektrikums bezogen auf die Längsachse auszugleichen.

[0022] Ein asymmetrisches Querschnittsprofil des Au-

ßenleiterkontaktelelements kann beispielsweise durch Ausnehmungen (z. B. Fenster), Federelemente (z. B. Federlaschen) oder Rastelemente (z. B. Rastnasen) gegeben sein.

[0023] Allgemein kann unter einer "Asymmetrie" im Rahmen der Erfindung eine asymmetrische Geometrie bzw. ein asymmetrisches Querschnittsprofil zumindest eines Innenleiterkontaktelelements, des Außenleiterkontaktelelements und/oder des Dielektrikums verstanden werden. Unter einer "Asymmetrie" kann allerdings auch eine ungleichmäßige Verteilung bzw. Anordnung verstanden werden, beispielsweise eine ungleichmäßige Verteilung bzw. Anordnung zumindest eines Innenleiterkontaktelelements innerhalb des Außenleiterkontaktelelements. Auch eine Verdrehung, beispielsweise eine relative Verdrehung der Innenleiterkontaktelelemente eines gemeinsamen Innenleiterkontaktelelementpaars, kann im Rahmen der Erfindung als "Asymmetrie" verstanden werden.

[0024] Es ist ein besonderer Vorteil der Erfindung, dass eine bestehende Asymmetrie in dem elektrischen Steckverbinder vorteilhaft ausgeglichen werden kann.

[0025] Hierdurch können beispielsweise kostengünstig herstellbare, asymmetrische Innenleiterkontaktelelemente für eine differentielle Signalübertragung verwendet werden, obwohl die Asymmetrie in der Regel die Eignung derartiger Innenleiterkontaktelelemente für die Hochfrequenztechnik ausschließt. In vorteilhafter Weise kann somit ein differentieller elektrischer Steckverbinder mit kostengünstigen und einfach herzustellenden Standard-Innenleiterkontaktelelementen bestückt werden.

[0026] Die Ausgleichsgeometrie kann durch Berücksichtigung zweier auf Grundlage des Innenleiterkontaktelelementpaars gebildeter, hypothetischer einpolig geerdeter bzw. asymmetrischer Übertragungssysteme bestimmt werden.

[0027] Ein differenzielles Übertragungssystem, also beispielsweise der elektrische Steckverbinder zur Übertragung eines differenziellen Signals, bei dem zwei Innenleiterkontaktelelemente von einem differenziellen Signal gespeist werden, kann in zwei einpolig geerdete Übertragungssysteme ("single-ended" Übertragungssysteme) zerlegt werden. In einem solchen hypothetischen, einpolig geerdeten Übertragungssystem wird nur ein einziges Innenleiterkontaktelelement von dem hochfrequenten Signal gespeist, während das andere Innenleiterkontaktelelement ein Schwebepotential aufweist bzw. mit keinem festen Potential verbunden ist, während das Außenleiterkontaktelelement als Referenzleitung dient.

[0028] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Ausgleichsgeometrie ausgebildet ist, um die Impedanz eines ersten (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems und eines zweiten (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems aneinander anzugleichen. Das erste asymmetrische Übertragungssystem kann ausschließlich das erste Innenleiterkontaktelelement zur Sig-

nalleitung und das Außenleiterkontaktelement zur Referenzleitung aufweisen. Das zweite asymmetrische Übertragungssystem kann ausschließlich das zweite Innenleiterkontaktelement zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelement zur Referenzleitung aufweisen.

[0029] Unter Berücksichtigung der asymmetrischen Übertragungssysteme kann eine geeignete Ausgleichsgeometrie vorteilhaft durch Berechnungen und/oder Simulationen ermittelt oder verifiziert werden.

[0030] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass sich die Ausgleichsgeometrie parallel zu der Längsachse erstreckt.

[0031] Es kann außerdem vorgesehen sein, dass sich die Ausgleichsgeometrie vollständig oder nur entlang eines Teilbereichs der zu kompensierenden Asymmetrie entlang der Längsachse erstreckt. Es kann alternativ oder ergänzend auch vorgesehen sein, dass die Ausgleichsgeometrie entlang der Längsachse von der zu kompensierenden Asymmetrie beabstandet ist.

[0032] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung kann insbesondere vorgesehen sein, dass der axiale Bereich entlang der Längsachse, entlang dem sich die Ausgleichsgeometrie erstreckt, kürzer ist, gleichlang ist oder länger ist als der axiale Bereich entlang der Längsachse, entlang dem sich die Asymmetrie erstreckt. Der axiale Bereich, entlang dem sich die Ausgleichsgeometrie erstreckt, kann sich vollständig, teilweise oder nicht mit dem axialen Bereich, entlang dem sich die Asymmetrie erstreckt, überlappen.

[0033] Die Ausgleichsgeometrie kann sich vorzugsweise über die gesamte axiale Wegstrecke parallel zu der zu kompensierenden Asymmetrie des Außenleiterkontaktelements, des Dielektrikums und/oder des Innenleiterkontaktelementpaars erstrecken.

[0034] Die Ausgleichsgeometrie kann sich aber auch nur entlang eines axialen Abschnitts parallel zu der zu kompensierenden Asymmetrie erstrecken.

[0035] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Ausgleichsgeometrie als Materialausnehmung und/oder als Materialzusatz und/oder als Materialverformung und/oder als Materialverbund unterschiedlicher Werkstoffe bzw. Materialien, insbesondere Materialien mit verschiedenen Permittivitäten, ausgebildet ist.

[0036] Besonders bevorzugt ist die Ausgleichsgeometrie als Materialausnehmung ausgebildet. Die Materialausnehmung kann beispielsweise durch Löcher, Fenster oder sonstige Abtragungen in dem Außenleiterkontaktelement und/oder in dem Dielektrikum gebildet sein.

[0037] Auch eine Materialverformung kann sich vorteilhaft zur Ausbildung der Ausgleichsgeometrie eignen. Beispielsweise kann sich eine Wölbung bzw. eine querschnittserweiternde Materialverformung des Außenleiterkontaktelements anstelle oder zusätzlich zu einer Materialausnehmung gut zur Ausbildung einer Ausgleichsgeometrie eignen. Auch eine querschnittsverjüngende Materialverformung, beispielsweise des Außenleiterkontaktelements, kann zur Bildung der Ausgleichsgeometrie

vorgesehen sein.

[0038] Eine Ausgleichsgeometrie als Materialverbund unterschiedlicher Materialien kann sich insbesondere zur Kompensation der Asymmetrie durch das Dielektrikum gut eignen. Beispielsweise können Abschnitte des Dielektrikums aus verschiedenen dielektrischen Materialien mit verschiedenen Permittivitäten ausgebildet sein.

[0039] In einer Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Dielektrikum aus zumindest einem Festkörper ausgebildet ist.

[0040] Vorzugsweise ist das Dielektrikum aus zumindest einem Festkörper ausgebildet, beispielsweise aus einem Kunststoff. Bei dem Dielektrikum kann es sich allerdings auch um ein Gas, beispielsweise um Luft, handeln.

[0041] Es kann auch vorgesehen sein, dass der elektrische Steckverbinder kein Dielektrikum aufweist.

[0042] In einer Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das erste Innenleiterkontaktelement und das zweite Innenleiterkontaktelement eine identische, symmetrische Querschnittsgeometrie aufweisen. Vorzugsweise sind die Innenleiterkontaktelemente dann asymmetrisch innerhalb des Außenleiterkontaktelements und/oder innerhalb des Dielektrikums angeordnet, was eine zu kompensierende Asymmetrie bedingen kann.

[0043] Die Innenleiterkontaktelemente können beispielsweise vollständig rund ausgebildet sein.

[0044] Auch wenn die Innenleiterkontaktelemente jeweils vollständig symmetrisch ausgebildet sind, können diese dennoch asymmetrisch innerhalb des Außenleiterkontaktelements und/oder innerhalb des Dielektrikums angeordnet sein. Die dadurch entstehende, ungleichmäßige Beabstandung der Innenleiterkontaktelemente von einer Innenfläche des Außenleiterkontaktelements kann schließlich erfindungsgemäß kompensiert werden.

[0045] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das erste Innenleiterkontaktelement und das zweite Innenleiterkontaktelement eine identische, asymmetrische Querschnittsgeometrie aufweisen.

[0046] Bevorzugt sind beide Innenleiterkontaktelemente identisch, allerdings asymmetrisch ausgebildet. Zur Kosteneinsparung können dadurch zwei identische Innenleiterkontaktelemente für den elektrischen Steckverbinder verwendbar sein, die in dieser Kombination im Grunde nicht für eine differenzielle Signalübertragung geeignet wären. Aufgrund der erfindungsgemäßen Kompensation der Asymmetrie durch die Ausgleichsgeometrie kann ein aus zwei identischen, asymmetrischen Innenleiterkontaktelementen gebildetes Innenleiterkontaktelementpaar allerdings dennoch zur differentiellen Signalübertragung verwendbar sein.

[0047] Besonders vorteilhaft kann sich die Erfindung beispielsweise zur Verwendung von Innenleiterkontaktelementen nach dem MQS-Standard ("Micro Quadlok System") eignen. Derartige Innenleiterkontaktelemente weisen ein asymmetrisches Querschnittsprofil auf.

[0048] In einer Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das erste Innenleiterkontaktelement näher an einer angrenzenden Innenfläche des Außenleiterkontaktelements angeordnet ist als das zweite Innenleiterkontaktelement. Es kann dann vorgesehen sein, dass die Ausgleichsgeometrie in dem Außenleiterkontaktelement entlang der an das erste Innenleiterkontaktelement angrenzenden Innenfläche des Außenleiterkontaktelements verläuft, wobei die Ausgleichsgeometrie vorzugsweise als Materialausnehmung und/oder als querschnittserweiternde Materialverformung ausgebildet ist.

[0049] Insofern das erste Innenleiterkontaktelement einen kleineren Abstand zum Außenleiterkontaktelement aufweist als das zweite Innenleiterkontaktelement, ist die Impedanz des ersten (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems kapazitiver als die Impedanz des zweiten (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems. Hieraus kann sich ein eindimensionales Optimierungsproblem für die Ermittlung der Ausgleichsgeometrie ergeben, insbesondere wenn beide Innenleiterkontaktelemente einen identischen und symmetrischen Querschnitt aufweisen.

[0050] Eine kapazitive Asymmetrie des ersten asymmetrischen Übertragungssystems kann mit einer induktiv wirkenden Gegenmaßnahme bzw. mit einer induktiv wirkenden Ausgleichsgeometrie kompensiert werden. Hierzu kann beispielsweise eine Materialausnehmung in dem Außenleiterkontaktelement in dem Bereich des ersten Innenleiterkontaktelements ausgebildet sein. Alternativ oder zusätzlich kann beispielsweise auch eine querschnittserweiternde Materialverformung bzw. Ausbuchtung / Wölbung in dem Außenleiterkontaktelement im Bereich des ersten Innenleiterkontaktelements vorgesehen sein.

[0051] Es kann auch vorgesehen sein, dass die Ausgleichsgeometrie in dem Dielektrikum zwischen dem ersten Innenleiterkontaktelement und der angrenzenden Innenfläche des Außenleiterkontaktelements verläuft, wenn das erste Innenleiterkontaktelement näher an einer angrenzenden Innenfläche des Außenleiterkontaktelements angeordnet ist als das zweite Innenleiterkontaktelement. Die Ausgleichsgeometrie kann dann insbesondere als Materialausnehmung in dem Dielektrikum ausgebildet sein.

[0052] Es kann somit auch vorgesehen sein, eine induktiv wirkende Ausgleichsgeometrie durch Ausbildung von Materialausnehmungen, beispielsweise Löchern, im Dielektrikum zu realisieren, insbesondere im Bereich des näher an der Innenfläche des Außenleiterkontaktelements angeordneten ersten Innenleiterkontaktelements. Da die Permittivität von Luft kleiner ist als die Permittivität eines dielektrischen Festkörpers, beispielsweise eines das Dielektrikum ausbildenden Kunststoffes, kann schließlich die effektive Permittivität des Dielektrikums im Bereich des ersten Innenleiterkontaktelements verringert sein.

[0053] An dieser Stelle sei betont, dass die vorstehen-

den Bezugnahmen auf ein spezielles Innenleiterkontaktelement lediglich beispielhaft zu verstehen sind. Es kann natürlich auch vorgesehen sein, dass das zweite Innenleiterkontaktelement näher an der Innenfläche des Außenleiterkontaktelements angeordnet ist als das erste Innenleiterkontaktelement. Sofern sich die vorstehenden und nachfolgenden Ausführungen speziell auf eines der Innenleiterkontaktelemente beziehen so ist dies grundsätzlich nur der einfacheren Erläuterung geschuldet und nicht einschränkend zu verstehen. Sofern dies technisch nicht ausgeschlossen ist, können die Innenleiterkontaktelemente in der vorstehenden und nachfolgenden Beschreibung beliebig austauschbar sein.

[0054] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das zweite Innenleiterkontaktelement weiter von einer angrenzenden Innenfläche des Außenleiterkontaktelements entfernt verläuft als das erste Innenleiterkontaktelement. Es kann dann vorgesehen sein, dass die Ausgleichsgeometrie in dem Außenleiterkontaktelement entlang der an das zweite Innenleiterkontaktelement angrenzenden Innenfläche des Außenleiterkontaktelements verläuft, wobei die Ausgleichsgeometrie vorzugsweise als Materialzusatz und/oder als querschnittsverjüngende Materialverformung ausgebildet ist.

[0055] Unter einer querschnittsverjüngenden Materialverformung ist zu verstehen, dass der Querschnitt des Außenleiterkontaktelements in Richtung auf die Längsachse verringert wird. Das Außenleiterkontaktelement kann sich somit nach innen, in Richtung auf die Längsachse wölben.

[0056] Auch durch eine kapazitiv wirkende Gegenmaßnahme bzw. Ausgleichsgeometrie kann also insgesamt eine Symmetrie des elektrischen Steckverbinders erzielt werden. Hierzu kann beispielsweise der Abstand zwischen dem zweiten Innenleiterkontaktelement und der angrenzenden Innenfläche des Außenleiterkontaktelements verringert werden, vorzugsweise durch die genannte querschnittsverjüngende Materialverformung oder einen Materialzusatz innerhalb des Außenleiterkontaktelements.

[0057] Eine kapazitiv wirkende Ausgleichsgeometrie kann alternativ oder zusätzlich auch in dem Dielektrikum realisiert werden, indem die Ausgleichsgeometrie in dem Dielektrikum durch Verwendung verschiedener Materialien mit unterschiedlichen Permittivitäten ausgebildet wird. Insbesondere kann die Permittivität in dem Dielektrikum angrenzend an das zweite Innenleiterkontaktelement erhöht sein.

[0058] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Ausgleichsgeometrie ausgebildet ist, um den Abstand zwischen den Innenleiterkontaktelementen des Innenleiterkontaktelementpaares zu verkleinern.

[0059] Eine Verkleinerung des Abstands der beiden Innenleiterkontaktelemente eines gemeinsamen Innenleiterkontaktelementpaares kann sich insbesondere zur Kompensation einer komplexen Asymmetrie des elektri-

schen Steckverbinders eignen.

[0060] Dadurch, dass der Abstand zwischen den Innenleiterkontaktelementen verkleinert wird, werden die Feldlinien zwischen den beiden Innenleiterkontaktelementen stärker gebündelt und damit die Abstrahlung in Richtung auf das Außenleiterkontaktelement reduziert. Hierdurch wird der Einfluss der Asymmetrie der Innenleiterkontaktelemente abgeschwächt. Die differentielle Impedanz kann somit stabiler werden, da der Einfluss des Außenleiterkontaktelements abnimmt.

[0061] Eine Verkleinerung des Abstands der beiden Innenleiterkontaktelemente kann beispielsweise vorteilhaft sein, wenn beide Innenleiterkontaktelemente denselben rechteckförmigen Querschnitt aufweisen und um 90° oder um einen sonstigen Winkel zueinander verdreht sind. Eine Verkleinerung des Abstands der beiden Innenleiterkontaktelemente kann sich aber auch eignen, wenn beide Innenleiterkontaktelemente jeweils denselben asymmetrischen Querschnitt aufweisen und nicht zueinander verdreht sind.

[0062] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass sich ein elektrisch mit dem Außenleiterkontaktelement verbundenes Schirmelement entlang der Längsachse zwischen zumindest zwei Innenleiterkontaktelementpaaren erstreckt.

[0063] Eine Verbesserung der erfindungsgemäßen Kompensation einer Asymmetrie kann durch die Verwendung eines zusätzlichen Schirmelements erzielt werden. Bei dem Schirmelement kann es sich beispielsweise um einen oder mehrere metallische Stifte und/oder Dorne handeln, insbesondere im Zentrum des Steckverbinders.

[0064] In einer Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass genau ein Innenleiterkontaktelementpaar, zwei oder mehr Innenleiterkontaktelementpaare, drei oder mehr Innenleiterkontaktelementpaare oder vier oder noch mehr Innenleiterkontaktelementpaare vorgesehen sind.

[0065] Grundsätzlich kann eine beliebige Anzahl Innenleiterkontaktelementpaare vorgesehen sein.

[0066] Der erfindungsgemäße Steckverbinder kann besonders vorteilhaft innerhalb eines Fahrzeugs, insbesondere innerhalb eines Kraftfahrzeugs, verwendet werden. Mögliche Einsatzgebiete sind autonomes Fahren, Fahrer-Assistenz-Systeme, Navigationssysteme, "Infotainment"-Systeme, Fond-Entertainment-Systeme, Internetverbindungen und Wireless Gigabit (IEEE 802.11ad Standard). Mögliche Anwendungen betreffen hochauflösende Kameras, beispielsweise 4K- und 8K-Kameras, Sensorik, Onboard-Computer, hochauflösende Bildschirme, hochauflösende Armaturen Bretter, 3D-Navigationsgeräte und Mobilfunkgeräte.

[0067] Der erfindungsgemäße Steckverbinder eignet sich für beliebige Anwendungen innerhalb der gesamten Elektrotechnik und ist nicht auf den Einsatz in der Fahrzeugtechnik beschränkt zu verstehen.

[0068] Der elektrische Steckverbinder ist nicht auf einen spezifischen Steckverbindertyp beschränkt, wobei

sich die Erfindung insbesondere für Steckverbinder für die Hochfrequenztechnik eignet. Die erfindungsgemäße Kompensation der Asymmetrie kann insbesondere auf alle differentiellen Steckverbinderarten übertragbar sein.

Die Erfindung kann sich beispielsweise - aber nicht ausschließlich - für Steckverbinder des Typs AMEC ("Automotive Modular Ethernet Connection"), MTD ("Modular Twisted-Pair Data"), H-MTD ("High Speed Modular Twisted-Pair-Data") oder HSD ("High-Speed Data") vorteilhaft eignen.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Steckverbinders zur differentiellen Signalübertragung, wobei der elektrische Steckverbinder ein Außenleiterkontaktelement, ein Dielektrikum und wenigstens ein Innenleiterkontaktelementpaar zur differentiellen Signalübertragung aufweist. Das Dielektrikum erstreckt sich entlang einer Längsachse durch das Außenleiterkontaktelement. Das Innenleiterkontaktelementpaar umfasst ein erstes Innenleiterkontaktelement und ein zweites Innenleiterkontaktelement, die sich entlang der Längsachse durch das Dielektrikum erstrecken.

Gemäß einer ersten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass für das Außenleiterkontaktelement und/oder für das Dielektrikum eine Ausgleichsgeometrie bestimmt wird, um eine Asymmetrie des Innenleiterkontaktelementpaars bezogen auf die Längsachse auszugleichen.

Um eine gute Symmetrie (Balance) zu erreichen, können beispielsweise Innenleiterkontaktelemente mit asymmetrischem Querschnittsprofil durch eine definiert gewählte Ausgleichsgeometrie des Außenleiterkontaktelements und/oder des Dielektrikums kompensiert werden.

Gemäß einer zweiten, optionalen oder alternativen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann aber auch vorgesehen sein, dass für das Innenleiterkontaktelementpaar eine Ausgleichsgeometrie bestimmt wird, um eine Asymmetrie des Außenleiterkontaktelements und/oder des Dielektrikums bezogen auf die Längsachse auszugleichen.

Durch die Ausgleichsgeometrie kann verhindert werden, dass bei der Übertragung der elektromagnetischen Welle ein Übergang der differentiellen Signalübertragung in den "common mode" stattfindet. Durch die erfindungsgemäße Ausgleichsgeometrie kann somit eine verbesserte elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) erreicht werden.

In vorteilhafter Weise kann schließlich eine differenzielle Signalübertragung, insbesondere für die Hochfrequenztechnik, trotz Verwendung von asymmetrischen Strukturen gewährleistet sein. Hierdurch kann der Aufbau bzw. die Herstellung des elektrischen Steckverbinders vereinfacht und damit kostengünstiger sein.

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass die Ausgleichsgeometrie dadurch bestimmt wird, dass die Impedanz eines ersten

(hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystem an die Impedanz eines zweiten (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems angeglichen wird. Für das erste asymmetrische Übertragungssystem kann ausschließlich das erste Innenleiterkontaktelement zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelement zur Referenzleitung definiert werden. Für das zweite asymmetrische Übertragungssystem kann ausschließlich das zweite Innenleiterkontaktelement zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelement zur Referenzleitung definiert werden.

[0076] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass die Ausgleichsgeometrie durch iterative Simulationen ermittelt wird, um einen Gleichanteil bei der differentiellen Signalübertragung zu minimieren.

[0077] Iterative Simulationen können sich insbesondere im Falle von Steckverbindern mit komplexen Geometrien gut eignen.

[0078] Insofern sich zur Bestimmung der Ausgleichsgeometrie beispielsweise ein zweidimensionales Optimierungsproblem ergibt, kann neben dem Abstand eines Innenleiterkontaktelements zu der angrenzenden Innenfläche des Außenleiterkontaktelements auch die Größe der Fläche bzw. des Winkelsegments des Innenleiterkontaktelements zum Außenleiterkontaktelement berücksichtigt werden.

[0079] Näherungsweise kann die Bestimmungsgleichung für die Kapazität eines Plattenkondensators zur Optimierung bzw. zur Bestimmung der Ausgleichsgeometrie herangezogen werden. Beispielsweise weist ein Innenleiterkontaktelement mit einem größeren Flächen- bzw. Winkelbereich und mit einem kleineren Abstand zu der jeweils angrenzenden Innenfläche des Außenleiterkontaktelements eine höhere kapazitive Impedanz des zugehörigen (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems auf.

[0080] Eine kapazitiv wirkende Geometrie des ersten asymmetrischen Übertragungssystems kann durch eine induktiv wirkende Ausgleichsgeometrie des ersten asymmetrischen Übertragungssystems kompensiert werden. Eine entsprechend induktiv wirkende Ausgleichsgeometrie kann beispielsweise durch Ausbildung einer Materialausnehmung im Außenleiterkontaktelement realisiert sein. Alternativ oder ergänzend kann eine induktiv wirkende Ausgleichsgeometrie durch Löcher im Dielektrikum realisiert sein.

[0081] Eine kapazitiv wirkende Geometrie des ersten asymmetrischen Übertragungssystems kann alternativ oder ergänzend durch eine kapazitiv wirkende Ausgleichsgeometrie in dem zweiten asymmetrischen Übertragungssystem kompensiert werden. Eine entsprechende Ausgleichsgeometrie kann beispielsweise durch Reduzierung des Abstands zwischen dem zweiten Innenleiterkontaktelement und der dem zweiten Innenleiterkontaktelement benachbarten Innenfläche des Außenleiterkontaktelements durch eine Materialverjüngung bzw. Einbuchtung des Außenleiterkontaktelements

oder eine weitere Materialschicht innerhalb des Außenleiterkontaktelements ausgebildet sein. Alternativ oder ergänzend kann eine kapazitiv wirkende Gegenmaßnahme in dem zweiten asymmetrischen Übertragungssystem durch Verwendung von Abschnitten unterschiedlicher Permittivität in dem Dielektrikum ausgebildet sein.

[0082] Merkmale, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen elektrischen Steckverbinder beschrieben wurden, sind selbstverständlich auch für das Verfahren vorteilhaft umsetzbar - und umgekehrt. Ferner können Vorteile, die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen elektrischen Steckverbinder genannt wurden, auch auf das Verfahren bezogen verstanden werden - und umgekehrt.

[0083] Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass Begriffe wie "umfassend", "aufweisend" oder "mit" keine anderen Merkmale oder Schritte ausschließen. Ferner schließen Begriffe wie "ein" oder "das", die auf eine Einzahl von Schritten oder Merkmalen hinweisen, keine Mehrzahl von Merkmalen oder Schritten aus - und umgekehrt.

[0084] In einer puristischen Ausführungsform der Erfindung kann allerdings auch vorgesehen sein, dass die in der Erfindung mit den Begriffen "umfassend", "aufweisend" oder "mit" eingeführten Merkmale abschließend aufgezählt sind. Dementsprechend kann eine oder können mehrere Aufzählungen von Merkmalen im Rahmen der Erfindung als abgeschlossen betrachtet werden, beispielsweise jeweils für jeden Anspruch betrachtet. Die Erfindung kann beispielsweise ausschließlich aus den in Anspruch 1 genannten Merkmalen bestehen.

[0085] Es sei erwähnt, dass Bezeichnungen wie "erstes" oder "zweites" etc. vornehmlich aus Gründen der Unterscheidbarkeit von jeweiligen Vorrichtungs- oder Verfahrensmerkmalen verwendet werden und nicht unbedingt andeuten sollen, dass sich Merkmale gegenseitig bedingen oder miteinander in Beziehung stehen.

[0086] Ferner sei betont, dass die vorliegend beschriebenen Werte und Parameter Abweichungen oder Schwankungen von $\pm 10\%$ oder weniger, vorzugsweise $\pm 5\%$ oder weniger, weiter bevorzugt $\pm 1\%$ oder weniger, und ganz besonders bevorzugt $\pm 0,1\%$ oder weniger des jeweils benannten Wertes bzw. Parameters mit einschließen, sofern diese Abweichungen bei der Umsetzung der Erfindung in der Praxis nicht ausgeschlossen sind. Die Angabe von Bereichen durch Anfangs- und Endwerte umfasst auch all diejenigen Werte und Bruchteile, die von dem jeweils benannten Bereich eingeschlossen sind, insbesondere die Anfangs- und Endwerte und einen jeweiligen Mittelwert.

[0087] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher beschrieben.

[0088] Die Figuren zeigen jeweils bevorzugte Ausführungsbeispiele, in denen einzelne Merkmale der vorliegenden Erfindung in Kombination miteinander dargestellt sind. Merkmale eines Ausführungsbeispiels sind auch losgelöst von den anderen Merkmalen des gleichen Ausführungsbeispiels umsetzbar und können dement-

sprechend von einem Fachmann ohne Weiteres zu weiteren sinnvollen Kombinationen und Unterkombinationen mit Merkmalen anderer Ausführungsbeispiele verbunden werden.

[0089] In den Figuren sind funktionsgleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0090] Es zeigen schematisch:

- Fig. 1 ein mit einem Außenleiterkontaktelement, einem Dielektrikum und einem Innenleiterkontaktelementpaar eines elektrischen Steckverbinders bestücktes elektrisches Kabel in einer perspektivischen Darstellung, gemäß dem Stand der Technik;
- Fig. 2 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 1 in einer Schnittdarstellung entlang der Längsachse;
- Fig. 3 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 1 in einem Querschnitt entlang der Schnittlinie III der Fig. 2;
- Fig. 4 ein mit einem Außenleiterkontaktelement und einem Innenleiterkontaktelementpaar eines elektrischen Steckverbinders bestücktes elektrisches Kabel in einer perspektivischen Darstellung, gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 5 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 4 in einer Schnittdarstellung entlang der Längsachse;
- Fig. 6 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 4 in einem Querschnitt entlang der Schnittlinie VI der Fig. 5;
- Fig. 7 ein mit einem Außenleiterkontaktelement und einem Innenleiterkontaktelementpaar eines elektrischen Steckverbinders bestücktes elektrisches Kabel in einer perspektivischen Darstellung, gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 8 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 7 in einer Schnittdarstellung entlang der Längsachse;
- Fig. 9 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 7 in einem Querschnitt entlang der Schnittlinie IX der Fig. 8;
- Fig. 10 ein mit einem Außenleiterkontaktelement, einem Dielektrikum und einem Innenleiterkontaktelementpaar eines elektrischen Steckverbinders bestücktes elektrisches Kabel in einer perspektivischen Darstellung, gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 11 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 10 in einer Schnittdarstellung entlang der Längsachse;
- Fig. 12 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 10 in einem Querschnitt entlang der Schnittlinie XII der Fig. 11;
- Fig. 13 ein mit einem Außenleiterkontaktelement und einem Innenleiterkontaktelementpaar eines

- elektrischen Steckverbinders bestücktes elektrisches Kabel in einer perspektivischen Darstellung, gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 14 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 13 in einer Schnittdarstellung entlang der Längsachse;
- Fig. 15 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 13 in einem Querschnitt entlang der Schnittlinie XV der Fig. 14;
- Fig. 16 ein mit einem Außenleiterkontaktelement und einem Innenleiterkontaktelementpaar eines elektrischen Steckverbinders bestücktes elektrisches Kabel in einer perspektivischen Darstellung, gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 17 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 16 in einer Schnittdarstellung entlang der Längsachse;
- Fig. 18 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 16 in einem Querschnitt entlang der Schnittlinie XVIII der Fig. 17;
- Fig. 19 ein mit einem Außenleiterkontaktelement, einem Dielektrikum und einem Innenleiterkontaktelementpaar eines elektrischen Steckverbinders bestücktes elektrisches Kabel in einer perspektivischen Darstellung, gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 20 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 19 in einer Schnittdarstellung entlang der Längsachse;
- Fig. 21 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 19 in einem Querschnitt entlang der Schnittlinie XXI der Fig. 20;
- Fig. 22 ein mit einem Außenleiterkontaktelement und einem Innenleiterkontaktelementpaar eines elektrischen Steckverbinders bestücktes elektrisches Kabel in einer perspektivischen Darstellung, gemäß einem siebten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 23 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 22 in einer Schnittdarstellung entlang der Längsachse;
- Fig. 24 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 22 in einem Querschnitt entlang der Schnittlinie XXIV der Fig. 23;
- Fig. 25 ein Außenleiterkontaktelement und zwei Innenleiterkontaktelementpaare eines elektrischen Steckverbinders in einer perspektivischen Darstellung;
- Fig. 26 die Steckverbinderkomponenten der Fig. 25 in einem Querschnitt;
- Fig. 27 einen elektrischen Steckverbinder mit einem Außenleiterkontaktelement, einem Dielektrikum und einem Innenleiterkontaktelementpaar in einem Querschnitt; und
- Fig. 28 ein Verfahren zur Ermittlung einer Ausgleichsgeometrie durch iterative Simulationen.

[0091] Figur 1 zeigt ein mit mehreren Steckverbinderkomponenten eines elektrischen Steckverbinders bestücktes konfektioniertes elektrisches Kabel 1 gemäß dem Stand der Technik. Das Kabel 1 ist mit einem Außenleiterkontaktelement 2, einem Dielektrikum 3 und einem Innenleiterkontaktelementpaar 4 (vgl. Fig. 3) zur differentiellen Signalübertragung bestückt. Die genannten Steckverbinderkomponenten 2, 3, 4 sind Teil eines in den Figuren 1 bis 3 nicht näher dargestellten, differentiellen elektrischen Steckverbinders. Figur 2 zeigt die Steckverbinderkomponenten 2, 3, 4 in einem Längsschnitt und Figur 3 in einem Querschnitt.

[0092] Das Dielektrikum 3 erstreckt sich entlang einer Längsachse L durch das Außenleiterkontaktelement 2. Das Innenleiterkontaktelementpaar 4 umfasst ein erstes Innenleiterkontaktelement 5 und ein zweites Innenleiterkontaktelement 6, die sich entlang der Längsachse L durch das Dielektrikum 3 erstrecken.

[0093] Die Steckverbinderkomponenten 2, 3, 4 sind in allen Figuren lediglich stark schematisiert und beispielhaft angedeutet. Insofern ein nachfolgendes Ausführungsbeispiel der Erfindung ohne ein Dielektrikum 3 (oder zumindest ohne ein aus einem Festkörper ausgebildetes Dielektrikum 3) beschrieben ist, so ist dies nicht einschränkend zu verstehen. Grundsätzlich kann für jedes Ausführungsbeispiel ein Dielektrikum 3 bzw. ein aus einem Festkörper ausgebildetes Dielektrikum 3 vorgesehen sein oder nicht.

[0094] Gemäß dem Stand der Technik ist für eine differentielle Signalübertragung, insbesondere in der Hochfrequenztechnik, vorgesehen, dass die Innenleiterkontaktelemente 5, 6 eines gemeinsamen Innenleiterkontaktelementpaars 4 symmetrisch und identisch ausgebildet sowie innerhalb des Außenleiterkontaktelements 2 bzw. des Dielektrikums 3 gleichmäßig verteilt angeordnet sind. Hierdurch soll sichergestellt sein, dass eine elektrische Signalübertragung vollständig im "differential mode" erfolgt.

[0095] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass eine Asymmetrie einer Steckverbinderkomponente 2, 3, 4 durch eine geeignete Ausgleichsgeometrie 8, 9, 11, 12 in derselben oder in einer anderen Steckverbinderkomponente 2, 3, 4 kompensiert wird.

[0096] Einerseits kann vorgesehen sein, dass das Außenleiterkontaktelement 2 und/oder das Dielektrikum 3 eine Ausgleichsgeometrie 8, 9, 11, 12 aufweist, um eine Asymmetrie des Innenleiterkontaktelementpaars 4 bezogen auf die Längsachse L auszugleichen. Andererseits kann aber auch vorgesehen sein, dass das Innenleiterkontaktelementpaar 4 eine Ausgleichsgeometrie 8, 9, 11, 12 aufweist, um eine Asymmetrie des Außenleiterkontaktelements 2 und/oder des Dielektrikums 3 bezogen auf die Längsachse L auszugleichen.

[0097] Die Figuren 4 bis 27 zeigen vorteilhafte Ausführungsbeispiele bzw. beispielhafte Ausgleichsgeometrien 8, 9, 11, 12. Die Merkmale der dargestellten Ausführungsbeispiele können auch miteinander kombiniert werden. Insbesondere sind außerdem viele weitere Aus-

gleichsgeometrien zur Kompensation beliebiger Symmetrien beliebiger Steckverbinderkomponenten 2, 3, 4 möglich. Die Ausführungsbeispiele sollen nur dazu dienen, einige vorteilhafte Maßnahmen zur Herstellung der Symmetrie eines elektrischen Steckverbinders durch eine oder mehrere erfindungsgemäße Ausgleichsgeometrien darzustellen.

[0098] Figuren 4 bis 6 zeigen ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung. In dem Ausführungsbeispiel der Figuren 4 bis 6 ist kein Dielektrikum 3 vorhanden bzw. nur ein gasförmiges Dielektrikum (in der Regel Luft) vorhanden. Es kann allerdings auch ein Dielektrikum 3 aus zumindest einem Festkörper vorgesehen sein, wie beispielsweise in den Figuren 1 bis 3 oder den Figuren 10 bis 12 dargestellt.

[0099] Die Innenleiterkontaktelemente 5, 6 des Innenleiterkontaktelementpaars 4 sind in dem ersten Ausführungsbeispiel jeweils unterschiedlich und asymmetrisch ausgebildet sowie relativ zueinander verdreht. Durch die asymmetrische Querschnittsgeometrie der Innenleiterkontaktelemente 5, 6 und deren relative Verdrehung zueinander bietet das zweite Innenleiterkontaktelement 6 einer angrenzende Innenfläche 7 des Außenleiterkontaktelements 2 im Bereich eines mittleren axialen Abschnitts entlang der Längsachse L eine größere, kapazitiver wirkende Fläche als das erste Innenleiterkontaktelement 5. Zum Ausgleich ist eine Ausgleichsgeometrie in dem Außenleiterkontaktelement 2 als Materialausnehmung 8 vorgesehen. Das Außenleiterkontaktelement 2 weist parallel zu der Längsachse L und entlang der axialen Erstreckung der Asymmetrie der Innenleiterkontaktelemente 5, 6 ein entsprechendes Fenster auf.

[0100] Generell können zur Bestimmung der Ausgleichsgeometrie(n) 8, 9, 11, 12 die Impedanzen eines ersten (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems und eines zweiten (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems aneinander angeglichen werden. Das erste asymmetrische Übertragungssystem kann dabei als ein Übertragungssystem definiert sein, bei dem ausschließlich das erste Innenleiterkontaktelement 5 zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelement 2 zur Referenzleitung verwendet wird. Das zweite asymmetrische Übertragungssystem kann als ein Übertragungssystem definiert sein, bei dem ausschließlich das zweite Innenleiterkontaktelement 6 zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelement 2 zur Referenzleitung verwendet wird.

[0101] Die Figuren 7 bis 9 zeigen ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung. Dabei weisen das erste Innenleiterkontaktelement 5 und das zweite Innenleiterkontaktelement 6 eine identisch, symmetrische Querschnittsgeometrie auf. Das Innenleiterkontaktelementpaar 4 der Figuren 7 bis 9 ist allerdings innerhalb des Außenleiterkontaktelements 2 zu der Symmetrieachse des Außenleiterkontaktelements 2 derart versetzt, dass das erste Innenleiterkontaktelement 5 näher an der Innenfläche 7 des Außenleiterkontaktelements 2 angeordnet ist als das zweite Innenleiterkontaktelement 6. Das

erste hypothetische asymmetrische Übertragungssystem ist damit kapazitiver als das zweite hypothetische asymmetrische Übertragungssystem. Die Ausgleichsgeometrie ist erfindungsgemäß derart bestimmt, dass die Impedanzen der beiden Übertragungssysteme aneinander angeglichen werden. Hierzu verläuft die Ausgleichsgeometrie in dem Außenleiterkontaktelement 2 angrenzend an das erste Innenleiterkontaktelement 5 und ist, ähnlich wie in den Figuren 4 bis 6, als Materialausnehmung 8 ausgebildet.

[0102] Alternativ zu der Materialausnehmung 8 kann beispielsweise auch eine querschnittserweiternde Materialverformung 9 des Außenleiterkontaktelements 2 vorgesehen sein (strichliniert in Fig. 9 angedeutet).

[0103] Auch in dem in den Figuren 7 bis 9 dargestellten Ausführungsbeispiel ist kein Dielektrikum 3 bzw. kein aus einem Festkörper ausgebildetes Dielektrikum 3 vorgesehen. Insofern ein Dielektrikum 3 vorgesehen ist, kann eine Ausgleichsgeometrie auch in dem Dielektrikum 3 ausgebildet sein, wobei das Dielektrikum 3 beispielsweise zwischen dem ersten Innenleiterkontaktelement 5 und der Innenfläche 7 des Außenleiterkontaktelements 2 eine Materialausnehmung 8 aufweisen kann.

[0104] In den Figuren 10 bis 12 ist ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Die Innenleiterkontaktelemente 5, 6 sind wiederum unterschiedlich, asymmetrisch ausgebildet und zueinander verdreht. Im Ausführungsbeispiel der Figuren 10 bis 12 ist außerdem ein aus einem Festkörper ausgebildetes Dielektrikum 3 vorgesehen.

[0105] Die Ausgleichsgeometrie ist in dem Dielektrikum 3 durch geeignete Materialausnehmungen 8 bzw. durch zwei Längsschlitze / Nuten ausgebildet. Eine Ausgleichsgeometrie in dem Außenleiterkontaktelement 2 kann dadurch entfallen. Es kann allerdings auch zusätzlich noch eine Ausgleichsgeometrie in dem Außenleiterkontaktelement 2 vorgesehen sein.

[0106] Ein viertes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Figuren 13 bis 15 dargestellt. Die Figuren 13 bis 15 zeigen ein Innenleiterkontaktelementpaar 4, bei dem das erste Innenleiterkontaktelement 5 und das zweite Innenleiterkontaktelement 6 eine identische, jedoch asymmetrische Querschnittsgeometrie aufweisen. Diese Variante ist zur Ausbildung eines erfindungsgemäßen elektrischen Steckverbinders (beispielsweise des in der nachfolgenden Fig. 27 dargestellten Steckverbinders 10) besonders bevorzugt.

[0107] Zur Kompensation der Asymmetrie weist das Außenleiterkontaktelement 2 entlang der Längsachse L verschiedene Ausgleichsgeometrien auf, die jeweils als Materialausnehmung 8 ausgebildet sind. Wie bereits erwähnt, kann alternativ oder zusätzlich zu einer Materialausnehmung 8 auch eine querschnittserweiternde Materialverformung 9 vorgesehen sein, wie in Fig. 9 angedeutet.

[0108] Eine Kompensation der Asymmetrie erfolgt dabei beispielhaft durch die vier Materialausnehmungen 8 in dem Außenleiterkontaktelement 2 im Bereich der

Asymmetrie der Innenleiterkontaktelemente 5, 6. Die axiale Länge der Materialausnehmungen 8 ist dabei auf beiden Seiten des Außenleiterkontaktelements 2 verschieden.

5 **[0109]** Die Figuren 16 bis 18 zeigen ein fünftes Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei eine dem Ausführungsbeispiel der Figuren 4 bis 6 vergleichbare Konfigurationen der Innenleiterkontaktelemente 5, 6 vorgesehen ist. Anhand des fünften Ausführungsbeispiels soll verdeutlicht werden, dass anstelle einer induktiv wirkenden Ausgleichsgeometrie (beispielsweise einer Materialausnehmung 8) angrenzend an das kapazitiver wirkende Innenleiterkontaktelement auch eine kapazitiv wirkende Ausgleichsgeometrie angrenzend an das induktiver wirkende Innenleiterkontaktelement (in den Figuren 16 bis 18 das zweite Innenleiterkontaktelement 6) vorgesehen sein kann. Die entsprechende Ausgleichsgeometrie kann in dem Außenleiterkontaktelement 2 entlang der an das zweite Innenleiterkontaktelement 6 angrenzenden Innenfläche 7 des Außenleiterkontaktelements 2 verlaufen und als querschnittsverjüngende Materialverformung 11 ausgebildet sein.

[0110] Die Figuren 19 bis 21 zeigen ein sechstes Ausführungsbeispiel der Erfindung. Anhand der Figuren 19 bis 21 soll verdeutlicht werden, dass eine Ausgleichsgeometrie auch durch einen Materialverbund unterschiedlicher Materialien realisiert sein kann. Das Dielektrikum 3 ist in den Figuren 19 bis 21 hierzu als Materialverbund zweier Materialien 3.1, 3.2 mit jeweils unterschiedlicher Permittivität ausgebildet.

[0111] Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Figuren 22 bis 24 dargestellt. Anhand der Figuren 22 bis 24 soll verdeutlicht werden, dass eine Ausgleichsgeometrie für eine Konfiguration eines Innenleiterkontaktelementpaares in der Art wie bereits in den Figuren 16 bis 18 dargestellt auch durch einen Materialzusatz 12, also beispielsweise eine weitere Metallschicht innerhalb des Außenleiterkontaktelements 2, realisiert sein kann.

40 **[0112]** Ergänzend oder alternativ zu den beschriebenen Varianten der Erfindung kann auch vorgesehen sein, den Abstand zwischen den Innenleiterkontaktelementen 5, 6 des Innenleiterkontaktelementpaares 4 zu verkleinern. Hierdurch kann in vorteilhafterweise eine Bündelung der elektromagnetischen Feldlinien erfolgen.

[0113] Die Figuren 25 und 26 zeigen ein Außenleiterkontaktelement 2 und zwei Innenleiterkontaktelementpaare 4 für einen weiteren elektrischen Steckverbinder. Die Anordnung der beiden Innenleiterkontaktelementpaare 4 entspricht einem sog. Sternvierer. Diese Anordnung ist allerdings nur beispielhaft. Ein erfindungsgemäßer Steckverbinder kann grundsätzlich genau ein Innenleiterkontaktelementpaar 4 aufweisen, wie in den Figuren 1 bis 24 und in Fig. 27 dargestellt. Grundsätzlich kann allerdings eine beliebige Anzahl Innenleiterkontaktelementpaare 4 vorgesehen sein. Beispielsweise können zwei, drei, vier oder noch mehr Innenleiterkontaktelementpaare 4 vorgesehen sein.

[0114] Die beispielhaft in den Figuren 25 und 26 dargestellten Innenleiterkontaktelemente 5, 6 sind jeweils identisch, jedoch asymmetrisch ausgebildet und um die Längsachse L bzw. um die Symmetrieachse des Außenleiterkontaktelements 2 verteilt angeordnet. Das Außenleiterkontaktelement 2 weist eine geeignete Ausgleichsgeometrie auf (Materialausnehmungen 8 sowie Materialzusatz 12, um insgesamt einen symmetrischen Betrieb zu gewährleisten).

[0115] Ein Materialzusatz 12 kann auch einteilig in dem Außenleiterkontaktelement 2 ausgebildet sein.

[0116] Optional kann zwischen den Innenleiterkontaktelementpaaren 4 ein mit dem Außenleiterkontaktelement 2 galvanisch verbundenes Schirmelement entlang der Längsachse L verlaufen (nicht dargestellt).

[0117] Fig. 27 zeigt einen elektrischen Steckverbinder 10 mit einem Außenleiterkontaktelement 2, einem Dielektrikum 3 und einem Innenleiterkontaktelementpaar 4 gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in einem Querschnitt. Grundsätzlich können die Steckverbinderkomponenten 2, 3, 4 im Rahmen der Erfindung aber auch bereits für sich genommen als elektrischer Steckverbinder bezeichnet werden. Beispielhaft weist der elektrische Steckverbinder 10 der Fig. 27 ein einziges Innenleiterkontaktelementpaar 4 auf. Wie bereits ausgeführt, können allerdings auch mehrere Innenleiterkontaktelementpaare 4 vorgesehen sein.

[0118] Bei dem in Fig. 27 dargestellten Steckverbinder 10 sind die Innenleiterkontaktelemente 5, 6 des gemeinsamen Innenleiterkontaktelementpaars 4 jeweils identisch, jedoch asymmetrisch ausgebildet. Einzig durch die erfindungsgemäße Ausgleichsgeometrie kann sich der dargestellte elektrische Steckverbinder 10 vorteilhaft zur Verwendung in der Hochfrequenztechnik eignen.

[0119] Das Dielektrikum 3 und das Außenleiterkontaktelement 2 weisen beispielhaft entsprechende Ausgleichsgeometrien auf (Materialausnehmungen 8 und Materialzusätze 12), um insgesamt eine symmetrische Signalübertragung durch den elektrischen Steckverbinder 10 zu gewährleisten.

[0120] Insbesondere wenn der elektrische Steckverbinder 10 bzw. das Außenleiterkontaktelement 2, das Dielektrikum 3 und/oder das Innenleiterkontaktelementpaar 4 eine vergleichsweise komplexe Geometrie aufweisen, können iterative Simulationen vorgesehen sein, um einen Gleichanteil bei der differentiellen Signalübertragung zu minimieren und eine geeignete Ausgleichsgeometrie 8, 9, 11, 12 zu ermitteln.

[0121] Ein beispielhafter Verfahrensablauf für eine iterative Simulation bzw. für eine iterative Ermittlung einer Ausgleichsgeometrie 8, 9, 11, 12 ist in Fig. 28 dargestellt.

[0122] In einem ersten Verfahrensschritt S1 kann die Impedanz des ersten (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems bestimmt werden, das das erste Innenleiterkontaktelement 5 zur Signalübertragung und das Außenleiterkontaktelement 2 zur Referenzübertragung verwendet, während das zweite Innenleiterkontaktelement 6 keinem festen Potential zugewiesen wird und

damit ein Schwebepotential aufweist.

[0123] In einem zweiten Verfahrensschritt S2 kann die Impedanz eines zweiten (hypothetischen) asymmetrischen Übertragungssystems ermittelt werden, das das zweite Innenleiterkontaktelement 6 zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelement 2 zur Referenzleitung verwendet, während das erste Innenleiterkontaktelement 5 keinem festen Potential zugewiesen wird und damit ein Schwebepotential aufweist.

[0124] In einem dritten Verfahrensschritt S3 kann eine Ausgleichsgeometrie 8, 9, 11, 12 in dem Außenleiterkontaktelement 2, in dem Dielektrikum 3 und/oder in dem Innenleiterkontaktelementpaar 4 bestimmt und/oder modifiziert werden mit dem Ziel, die Impedanzen der beiden asymmetrischen Übertragungssysteme aneinander anzugleichen.

[0125] Anschließend können die Verfahrensschritte S1, S2, S3 wiederholt bzw. die Impedanzen der asymmetrischen Übertragungssysteme neu bestimmt und die Ausgleichsgeometrie(n) 8, 9, 11, 12 gegebenenfalls weiter modifiziert werden.

Patentansprüche

1. Elektrischer Steckverbinder (10) zur differentiellen Signalübertragung, aufweisend ein Außenleiterkontaktelement (2), ein Dielektrikum (3) und wenigstens ein Innenleiterkontaktelementpaar (4) zur differentiellen Signalübertragung, wobei sich das Dielektrikum (3) entlang einer Längsachse (L) durch das Außenleiterkontaktelement (2) erstreckt, und wobei das Innenleiterkontaktelementpaar (4) ein erstes Innenleiterkontaktelement (5) und ein zweites Innenleiterkontaktelement (6) umfasst, die sich entlang der Längsachse (L) durch das Dielektrikum (3) erstrecken,

dadurch gekennzeichnet, dass

- a) das Außenleiterkontaktelement (2) und/oder das Dielektrikum (3) eine Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) aufweisen, um eine Asymmetrie des Innenleiterkontaktelementpaars (4) bezogen auf die Längsachse (L) auszugleichen; und/oder
- b) das Innenleiterkontaktelementpaar (4) eine Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) aufweist, um eine Asymmetrie des Außenleiterkontaktelements (2) und/oder des Dielektrikums (3) bezogen auf die Längsachse (L) auszugleichen.

2. Elektrischer Steckverbinder (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) ausgebildet ist, um die Impedanz eines ersten asymmetrischen Übertragungssystems und eines zweiten asymmetrischen Übertragungssystems aneinander anzugleichen, wobei für das erste asymmetrische Übertra-

- gungssystem ausschließlich das erste Innenleiterkontaktelelement (5) zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelelement (2) zur Referenzleitung vorgesehen ist, und wobei für das zweite asymmetrische Übertragungssystem ausschließlich das zweite Innenleiterkontaktelelement (6) zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelelement (2) zur Referenzleitung vorgesehen ist.
3. Elektrischer Steckverbinder (10) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich die Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) parallel zu der Längsachse (L) erstreckt.
4. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
der axiale Bereich entlang der Längsachse (L), entlang dem sich die Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) erstreckt, kürzer ist, gleichlang ist oder länger ist als der axiale Bereich entlang der Längsachse (L), entlang dem sich die Asymmetrie erstreckt, und wobei sich der axiale Bereich, entlang dem sich die Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) erstreckt, vollständig, teilweise oder nicht mit dem axialen Bereich, entlang dem sich die Asymmetrie erstreckt, überlappt.
5. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Ausgleichsgeometrie als Materialausnehmung (8) und/oder als Materialzusatz (12) und/oder als Materialverformung (9, 11) und/oder als Materialverbund unterschiedlicher Materialien (3.1, 3.2) ausgebildet ist.
6. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Dielektrikum (3) aus zumindest einem Festkörper ausgebildet ist.
7. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
das erste Innenleiterkontaktelelement (5) und das zweite Innenleiterkontaktelelement (6) eine identische, symmetrische Querschnittsgeometrie aufweisen, wobei die Innenleiterkontaktelemente (5, 6) asymmetrisch innerhalb des Außenleiterkontaktelelements (2) und/oder innerhalb des Dielektrikums (3) angeordnet sind.
8. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
das erste Innenleiterkontaktelelement (5) und das
- zweite Innenleiterkontaktelelement (6) eine identische, asymmetrische Querschnittsgeometrie aufweisen.
9. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
das erste Innenleiterkontaktelelement (5) näher an einer angrenzenden Innenfläche (7) des Außenleiterkontaktelelements (2) angeordnet ist als das zweite Innenleiterkontaktelelement (6), wobei die Ausgleichsgeometrie
- a) in dem Außenleiterkontaktelelement (2) entlang der an das erste Innenleiterkontaktelelement (5) angrenzenden Innenfläche (7) des Außenleiterkontaktelelements (2) verläuft und als Materialausnehmung (8) und/oder als querschnittserweiternde Materialverformung (9) ausgebildet ist; und/oder
- b) in dem Dielektrikum (3) zwischen dem ersten Innenleiterkontaktelelement (5) und der angrenzenden Innenfläche (7) des Außenleiterkontaktelelements (2) verläuft und als Materialausnehmung (8) ausgebildet ist.
10. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
das zweite Innenleiterkontaktelelement (6) weiter von einer angrenzenden Innenfläche (7) des Außenleiterkontaktelelements (2) entfernt verläuft als das erste Innenleiterkontaktelelement (5), wobei die Ausgleichsgeometrie in dem Außenleiterkontaktelelement (2) entlang der an das zweite Innenleiterkontaktelelement (6) angrenzenden Innenfläche (7) des Außenleiterkontaktelelements (2) verläuft und als Materialzusatz (12) und/oder als querschnittsverjüngende Materialverformung (11) ausgebildet ist.
11. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) ausgebildet ist, um den Abstand zwischen den Innenleiterkontaktelelementen (5, 6) des Innenleiterkontaktelelementpaars (4) zu verkleinern.
12. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich ein elektrisch mit dem Außenleiterkontaktelelement (2) verbundenes Schirmelement entlang der Längsachse (L) zwischen zumindest zwei Innenleiterkontaktelelementpaaren (4) erstreckt.
13. Elektrischer Steckverbinder (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 12,

dadurch gekennzeichnet, dass

genau ein Innenleiterkontaktelementpaar (4), zwei oder mehr Innenleiterkontaktelementpaare (4), drei oder mehr Innenleiterkontaktelementpaare (4) oder vier oder noch mehr Innenleiterkontaktelementpaare (4) vorgesehen sind.

14. Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Steckverbinders (10) zur differentiellen Signalübertragung, wobei der elektrische Steckverbinder (10) ein Außenleiterkontaktelement (2), ein Dielektrikum (3) und wenigstens ein Innenleiterkontaktelementpaar (4) zur differentiellen Signalübertragung aufweist, wobei sich das Dielektrikum (3) entlang einer Längsachse (L) durch das Außenleiterkontaktelement (2) erstreckt, und wobei das Innenleiterkontaktelementpaar (4) ein erstes Innenleiterkontaktelement (5) und ein zweites Innenleiterkontaktelement (6) umfasst, die sich entlang der Längsachse (L) durch das Dielektrikum (3) erstrecken,

dadurch gekennzeichnet, dass

- a) für das Außenleiterkontaktelement (2) und/oder für das Dielektrikum (3) eine Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) bestimmt wird, um Asymmetrie des Innenleiterkontaktelementpaars (4) bezogen auf die Längsachse (L) auszugleichen; und/oder
 b) für das Innenleiterkontaktelementpaar (4) eine Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) bestimmt wird, um eine Asymmetrie des Außenleiterkontaktelements (2) und/oder des Dielektrikums (3) bezogen auf die Längsachse (L) auszugleichen.

15. Verfahren nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Ausgleichsgeometrie (8, 9, 11, 12) dadurch bestimmt wird, dass die Impedanz eines ersten asymmetrischen Übertragungssystems an die Impedanz eines zweiten asymmetrischen Übertragungssystems angeglichen wird, wobei für das erste asymmetrische Übertragungssystem ausschließlich das erste Innenleiterkontaktelement (5) zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelement (2) zur Referenzleitung herangezogen werden, und wobei für das zweite asymmetrische Übertragungssystem ausschließlich das zweite Innenleiterkontaktelement (6) zur Signalleitung und das Außenleiterkontaktelement (2) zur Referenzleitung herangezogen werden.

Claims

1. Electrical plug-in connector (10) for differential signal transmission, having an external conductor contact element (2), a dielectric (3) and at least one internal conductor contact element pair (4) for differential sig-

nal transmission, wherein the dielectric (3) extends along a longitudinal axis (L) through the external conductor contact element (2), and wherein the internal conductor contact element pair (4) comprises a first internal conductor contact element (5) and a second internal conductor contact element (6) which extend along the longitudinal axis (L) through the dielectric (3),

characterized in that

- a) the external conductor contact element (2) and/or the dielectric (3) have a compensation geometry (8, 9, 11, 12) in order to compensate for an asymmetry of the internal conductor contact element pair (4) with respect to the longitudinal axis (L); and/or
 b) the internal conductor contact element pair (4) has a compensation geometry (8, 9, 11, 12) in order to compensate for an asymmetry of the external conductor contact element (2) and/or of the dielectric (3) with respect to the longitudinal axis (L).

2. Electrical plug-in connector (10) according to Claim 1,

characterized in that

the compensation geometry (8, 9, 11, 12) is designed to match the impedance of a first asymmetrical transmission system and of a second asymmetrical transmission system to one another, wherein for the first asymmetrical transmission system exclusively the first internal conductor contact element (5) is provided for signal conduction and the external conductor contact element (2) is provided for reference conduction, and wherein for the second asymmetrical transmission system exclusively the second internal conductor contact element (6) is provided for signal conduction and the external conductor contact element (2) is provided for reference conduction.

3. Electrical plug-in connector (10) according to Claim 1 or 2,

characterized in that

the compensation geometry (8, 9, 11, 12) extends parallel to the longitudinal axis (L).

4. Electrical plug-in connector (10) according to one of Claims 1 to 3,

characterized in that

the axial region along the longitudinal axis (L), along which axial region the compensation geometry (8, 9, 11, 12) extends, is shorter than, is of the same length as or is longer than the axial region along the longitudinal axis (L), along which axial region the asymmetry extends, and wherein the axial region, along which the compensation geometry (8, 9, 11, 12) extends, completely or partially overlaps or does not overlap the axial region along which the asym-

metry extends.

5. Electrical plug-in connector (10) according to one of Claims 1 to 4,
characterized in that
the compensation geometry is designed as a material recess (8) and/or as a material addition (12) and/or as a material deformation (9, 11) and/or as a composite of different materials (3.1, 3.2).
6. Electrical plug-in connector (10) according to one of Claims 1 to 5,
characterized in that
the dielectric (3) is formed from at least one solid body.
7. Electrical plug-in connector (10) according to one of Claims 1 to 6,
characterized in that
the first internal conductor contact element (5) and the second internal conductor contact element (6) have an identical, symmetrical cross-sectional geometry, wherein the internal conductor contact elements (5, 6) are arranged asymmetrically within the external conductor contact element (2) and/or within the dielectric (3).
8. Electrical plug-in connector (10) according to one of Claims 1 to 6,
characterized in that
the first internal conductor contact element (5) and the second internal conductor contact element (6) have an identical, asymmetrical cross-sectional geometry.
9. Electrical plug-in connector (10) according to one of Claims 1 to 8,
characterized in that
the first internal conductor contact element (5) is arranged closer to an adjoining inner surface (7) of the external conductor contact element (2) than the second internal conductor contact element (6), wherein the compensation geometry
- a) runs in the external conductor contact element (2) along the inner surface (7) of the external conductor contact element (2), which inner surface adjoins the first internal conductor contact element (5), and is designed as a material recess (8) and/or as a cross section-widening material deformation (9); and/or
- b) runs in the dielectric (3) between the first internal conductor contact element (5) and the adjoining inner surface (7) of the external conductor contact element (2) and is designed as a material recess (8).
10. Electrical plug-in connector (10) according to one of

Claims 1 to 9,

characterized in that

the second internal conductor contact element (6) runs further away from an adjoining inner surface (7) of the external conductor contact element (2) than the first internal conductor contact element (5), wherein the compensation geometry runs in the external conductor contact element (2) along the inner surface (7) of the external conductor contact element (2), which inner surface adjoins the second internal conductor contact element (6), and is designed as a material addition (12) and/or as a cross section-narrowing material deformation (11).

11. Electrical plug-in connector (10) according to one of Claims 1 to 10,
characterized in that
the compensation geometry (8, 9, 11, 12) is designed to reduce the distance between the internal conductor contact elements (5, 6) of the internal conductor contact element pair (4).
12. Electrical plug-in connector (10) according to one of Claims 1 to 11,
characterized in that
a shielding element which is electrically connected to the external conductor contact element (2) extends between at least two internal conductor contact element pairs (4) along the longitudinal axis (L).
13. Electrical plug-in connector (10) according to one of Claims 1 to 12,
characterized in that
precisely one internal conductor contact element pair (4), two or more internal conductor contact element pairs (4), three or more internal conductor contact element pairs (4) or four or even more internal conductor contact element pairs (4) are provided.
14. Method for producing an electrical plug-in connector (10) for differential signal transmission, wherein the electrical plug-in connector (10) has an external conductor contact element (2), a dielectric (3) and at least one internal conductor contact element pair (4) for differential signal transmission, wherein the dielectric (3) extends along a longitudinal axis (L) through the external conductor contact element (2), and wherein the internal conductor contact element pair (4) comprises a first internal conductor contact element (5) and a second internal conductor contact element (6) which extend along the longitudinal axis (L) through the dielectric (3),
characterized in that
- a) a compensation geometry (8, 9, 11, 12) is determined for the external conductor contact element (2) and/or for the dielectric (3) in order to compensate for an asymmetry of the internal

conductor contact element pair (4) with respect to the longitudinal axis (L); and/or
 b) a compensation geometry (8, 9, 11, 12) is determined for the internal conductor contact element pair (4) in order to compensate for an asymmetry of the external conductor contact element (2) and/or of the dielectric (3) with respect to the longitudinal axis (L).

15. Method according to Claim 14, characterized in that

the compensation geometry (8, 9, 11, 12) is determined by way of matching the impedance of a first asymmetrical transmission system to the impedance of a second asymmetrical transmission system, wherein for the first asymmetrical transmission system exclusively the first internal conductor contact element (5) is used for signal conduction and the external conductor contact element (2) is used for reference conduction, and wherein for the second asymmetrical transmission system exclusively the second internal conductor contact element (6) is used for signal conduction and the external conductor contact element (2) is used for reference conduction.

Revendications

1. Connecteur enfichable électrique (10) pour la transmission différentielle de signaux, comportant un élément de contact de conducteur extérieur (2), un diélectrique (3) et au moins une paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) pour la transmission différentielle de signaux, dans lequel le diélectrique (3) s'étend le long d'un axe longitudinal (L) à travers l'élément de contact de conducteur extérieur (2) et dans lequel la paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) comprend un premier élément de contact de conducteur intérieur (5) et un deuxième élément de contact de conducteur intérieur (6) qui s'étendent le long de l'axe longitudinal (L) à travers le diélectrique (3), **caractérisé**

a) **en ce que** l'élément de contact de conducteur extérieur (2) et/ou le diélectrique (3) présentent une géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) pour compenser une asymétrie de la paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) par rapport à l'axe longitudinal (L), et/ou
 b) que la paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) présente une géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) pour compenser une asymétrie de l'élément de contact de conducteur extérieur (2) et/ou du diélectrique (3) par rapport à l'axe longitudinal (L).

2. Connecteur enfichable électrique (10) selon la re-

vendication 1,

caractérisé en ce que la géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) est configurée pour harmoniser entre elles l'impédance d'un premier système de transmission asymétrique et l'impédance d'un deuxième système de transmission asymétrique, pour le premier système de transmission asymétrique, seul le premier élément de contact de conducteur intérieur (5) étant prévu pour le câble de signalisation et l'élément de contact de conducteur extérieur (2) pour le câble de référence, et pour le deuxième système de transmission asymétrique, seul le deuxième élément de contact de conducteur intérieur (6) étant prévu pour le câble de signalisation et l'élément de contact de conducteur extérieur (2) pour le câble de référence.

3. Connecteur enfichable électrique (10) selon la revendication 1 ou 2,

caractérisé en ce que la géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) s'étend parallèlement à l'axe longitudinal.

4. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 3,

caractérisé en ce que la zone axiale le long de l'axe longitudinal (L) le long de laquelle la géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) s'étend est plus courte, aussi longue ou plus longue que la zone axiale le long de l'axe longitudinal (L) le long de laquelle l'asymétrie s'étend, la zone axiale le long de laquelle la géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) s'étend étant entièrement, partiellement ou pas du tout superposée avec la zone axiale le long de laquelle l'asymétrie s'étend.

5. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 4,

caractérisé en ce que la géométrie de compensation se présente sous la forme d'un évidement de matériau (8) et/ou d'un ajout de matériau (12) et/ou d'une déformation de matériau (9, 11) et/ou d'une association de différents matériaux (3.1, 3.2).

6. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 5,

caractérisé en ce que le diélectrique (3) est constitué d'au moins un élément solide.

7. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 6,

caractérisé en ce que le premier élément de contact de conducteur intérieur (5) et le deuxième élément de contact de conducteur intérieur (6) présentent une géométrie transversale symétrique identique, les éléments de contact de conducteur intérieur (5, 6) étant disposés de façon asymétrique à l'intérieur de l'élément de contact de conducteur extérieur (2)

- et/ou à l'intérieur du diélectrique (3).
8. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 6,
caractérisé en ce que le premier élément de contact de conducteur intérieur (5) et le deuxième élément de contact de conducteur intérieur (6) présentent une géométrie transversale asymétrique identique. 5
9. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 8,
caractérisé en ce que le premier élément de contact de conducteur intérieur (5) est plus proche d'une surface intérieure (7) adjacente de l'élément de contact de conducteur extérieur (2) que le deuxième élément de contact de conducteur intérieur (6), la géométrie de compensation 10
- a) courant dans l'élément de contact de conducteur extérieur (2) le long de la surface intérieure (7) de l'élément de contact de conducteur extérieur (2) adjacente au premier élément de contact de conducteur intérieur (5) et étant configurée comme un évidement de matériau (8) et/ou comme une déformation de matériau (9) élargissant la section transversale, et/ou 20 25
- b) courant dans le diélectrique (3) entre le premier élément de contact de conducteur intérieur (5) et la surface intérieure (7) adjacente de l'élément de contact de conducteur extérieur (2) et étant configurée comme un évidement de matériau (8). 30
10. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 9,
caractérisé en ce que le deuxième élément de contact de conducteur intérieur (6) est plus proche d'une surface intérieure (7) adjacente de l'élément de contact de conducteur extérieur (2) que le premier élément de contact de conducteur intérieur (5), la géométrie de compensation courant dans l'élément de contact de conducteur extérieur (2) le long de la surface intérieure (7) de l'élément de contact de conducteur extérieur (2) adjacente au deuxième élément de contact de conducteur intérieur (6) et étant configurée comme un ajout de matériau (12) et/ou comme une déformation de matériau (11) rétrécissant la section transversale. 35 40 45
11. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 10,
caractérisé en ce que la géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) est configurée pour réduire la distance entre les éléments de contact de conducteur intérieur (5, 6) de la paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4). 50 55
12. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 11,
caractérisé en ce que un élément de blindage relié à l'élément de contact de conducteur extérieur (2) s'étend le long de l'axe longitudinal (L) entre au moins deux paires d'éléments de contact de conducteur intérieur (4). 5
13. Connecteur enfichable électrique (10) selon une des revendications 1 à 12,
caractérisé en ce que il est prévu exactement une paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4), deux paires d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) ou davantage, trois paires d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) ou davantage ou quatre paires d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) ou encore davantage. 10 15
14. Procédé de fabrication d'un connecteur enfichable électrique (10) pour la transmission différentielle de signaux, selon lequel le connecteur enfichable électrique (10) comporte un élément de contact de conducteur extérieur (2), un diélectrique (3) et au moins une paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) pour la transmission différentielle de signaux, selon lequel le diélectrique (3) s'étend le long d'un axe longitudinal (L) à travers l'élément de contact de conducteur extérieur (2) et selon lequel la paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) comprend un premier élément de contact de conducteur intérieur (5) et un deuxième élément de contact de conducteur intérieur (6) qui s'étendent le long de l'axe longitudinal (L) à travers le diélectrique (3), **caractérisé**
- a) **en ce que** pour l'élément de contact de conducteur extérieur (2) et/ou pour le diélectrique (3) est déterminée une géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) pour compenser une asymétrie de la paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) par rapport à l'axe longitudinal (L), et/ou
- b) que pour la paire d'éléments de contact de conducteur intérieur (4) est déterminée une géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) pour compenser une asymétrie de l'élément de contact de conducteur extérieur (2) et/ou du diélectrique (3) par rapport à l'axe longitudinal (L). 35 40 45
15. Procédé selon la revendication 14,
caractérisé en ce que la géométrie de compensation (8, 9, 11, 12) est déterminée en harmonisant l'impédance d'un premier système de transmission asymétrique avec l'impédance d'un deuxième système de transmission asymétrique, pour le premier système de transmission asymétrique, seul le premier élément de contact de conducteur intérieur (5) étant utilisé pour le câble de signalisation et l'élément de contact de conducteur extérieur (2) pour le câble 50 55

de référence, et pour le deuxième système de transmission asymétrique, seul le deuxième élément de contact de conducteur intérieur (6) étant utilisé pour le câble de signalisation et l'élément de contact de conducteur extérieur (2) pour le câble de référence. 5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

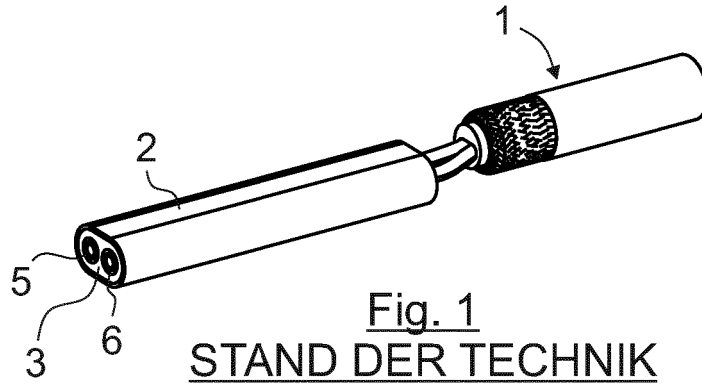


Fig. 1
STAND DER TECHNIK

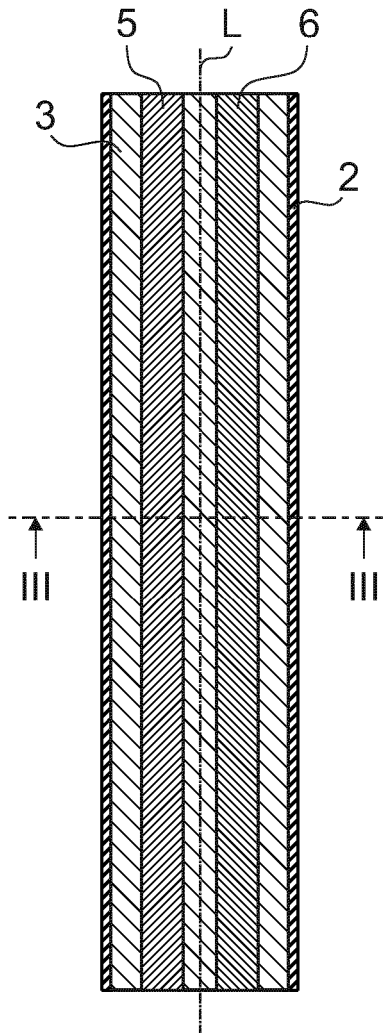


Fig. 2
STAND DER TECHNIK

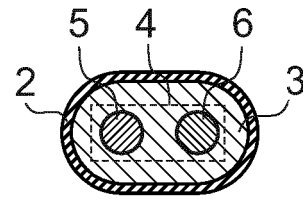
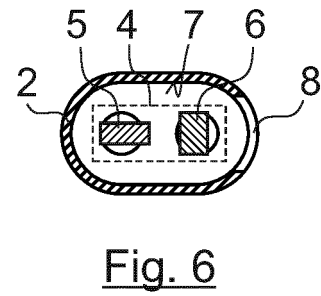
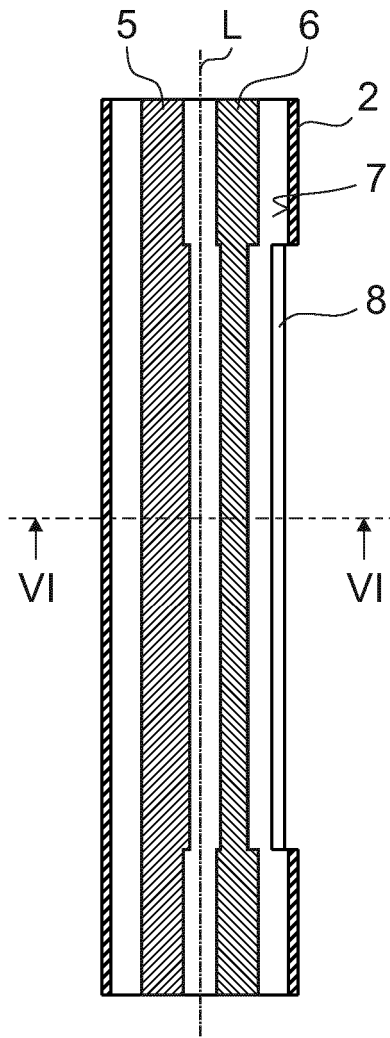
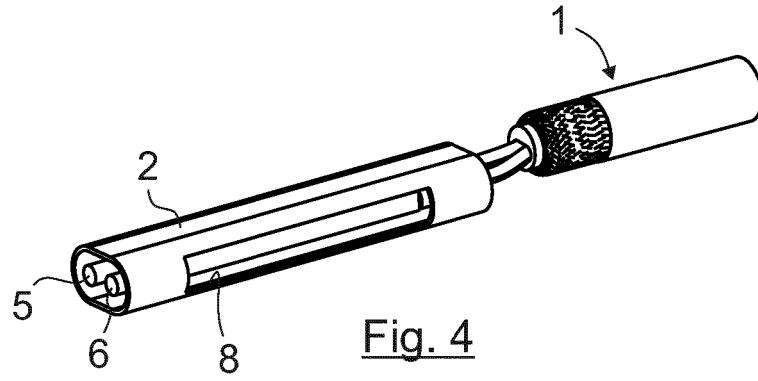
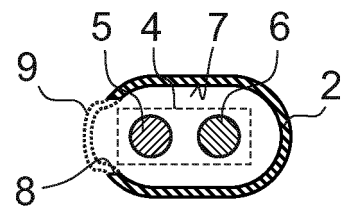
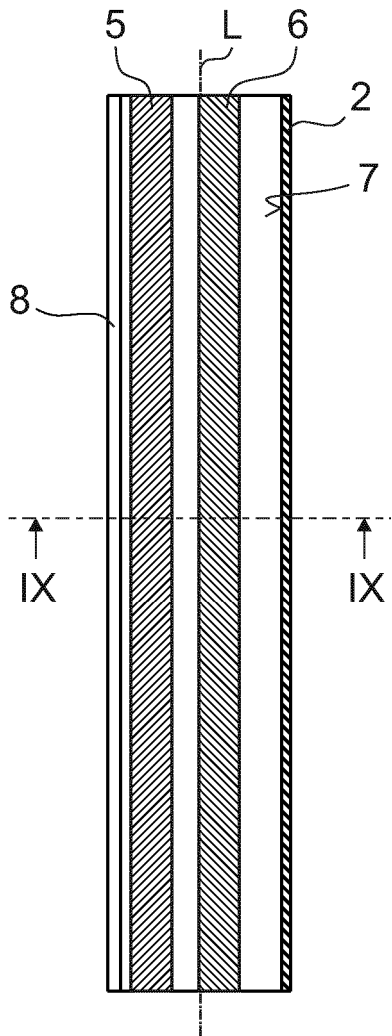
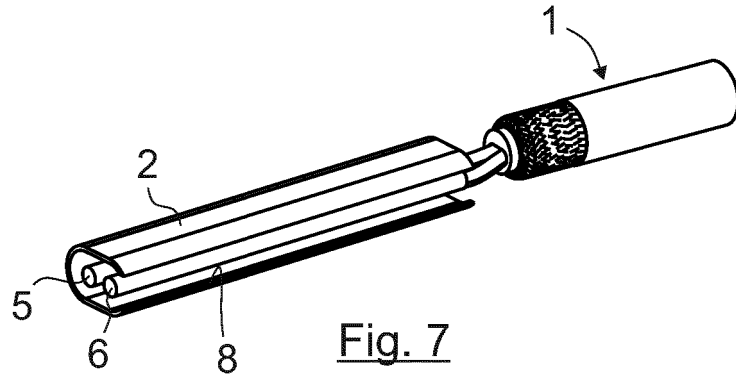


Fig. 3
STAND DER TECHNIK





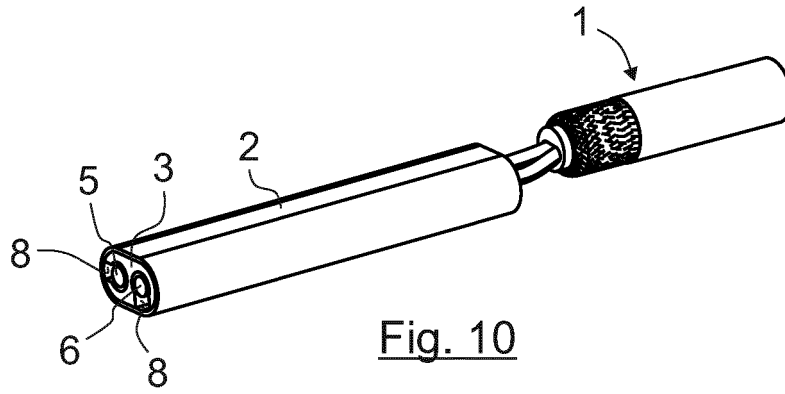


Fig. 10

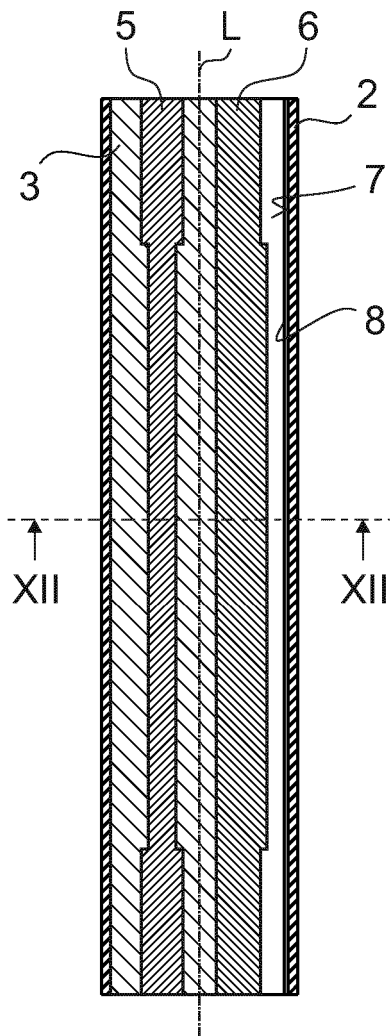


Fig. 11

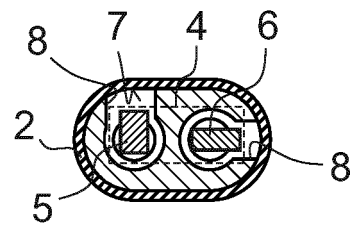


Fig. 12

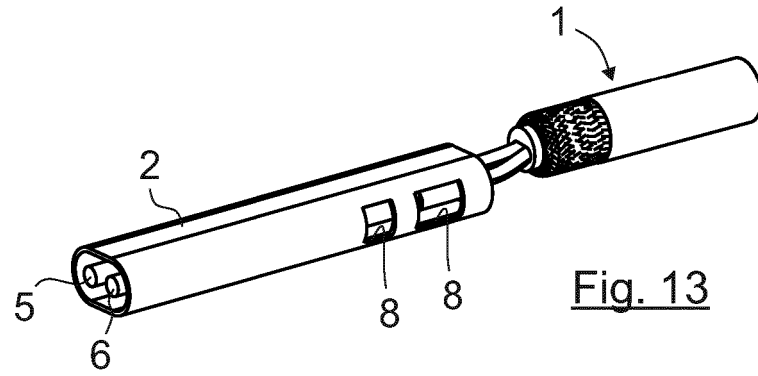


Fig. 13

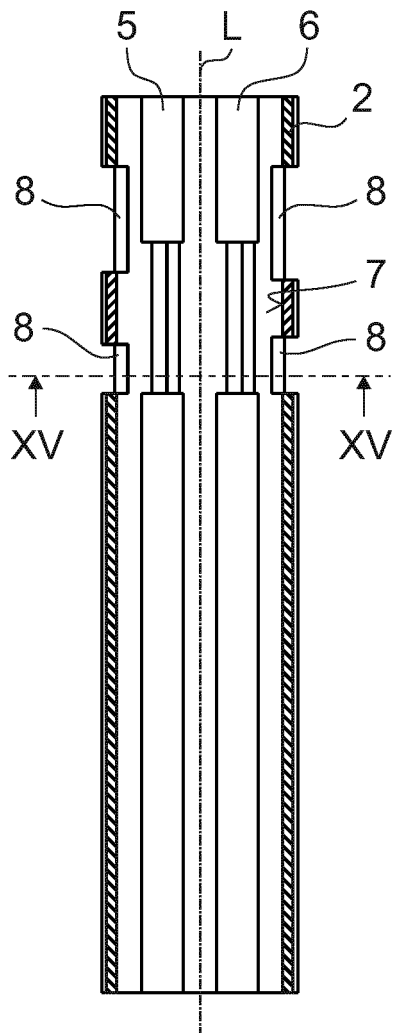


Fig. 14

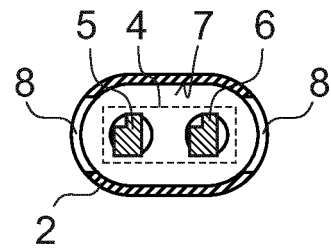
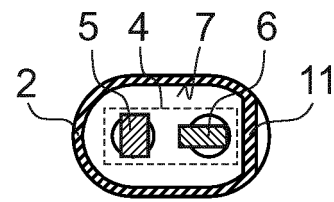
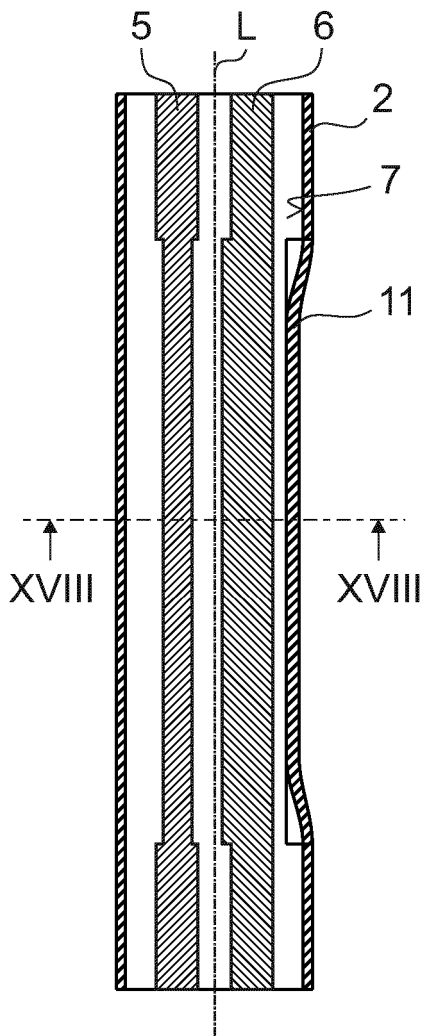
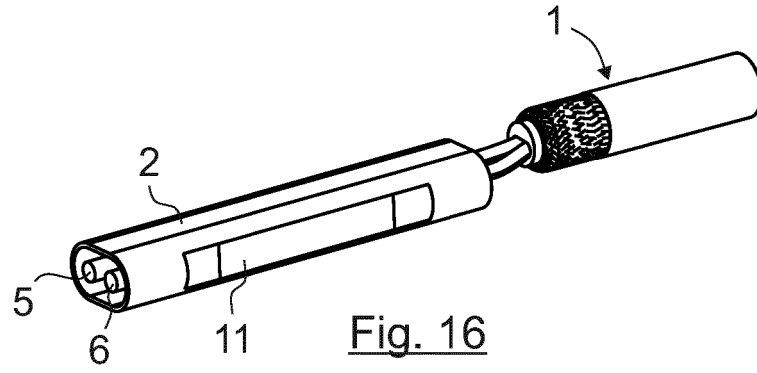
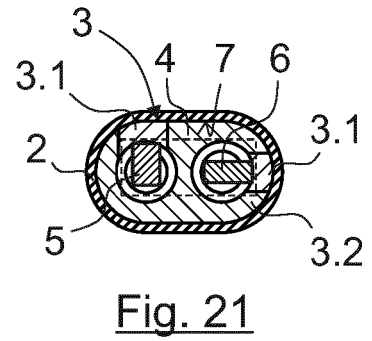
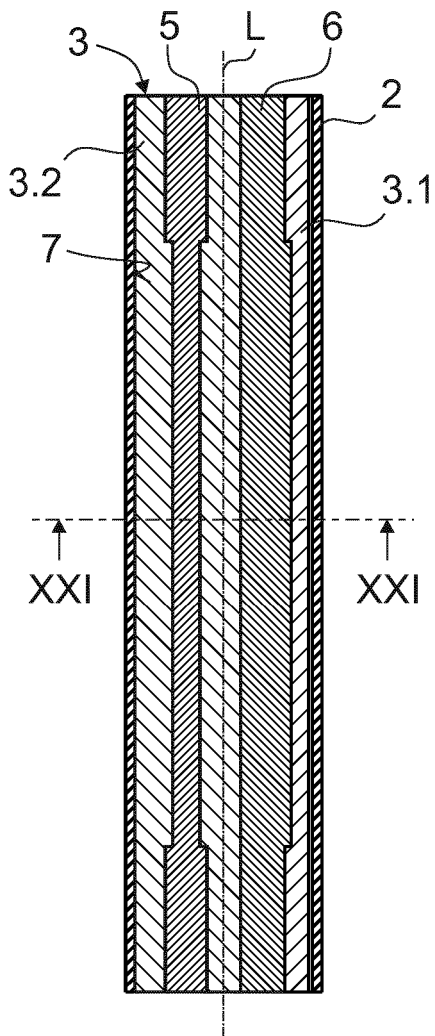
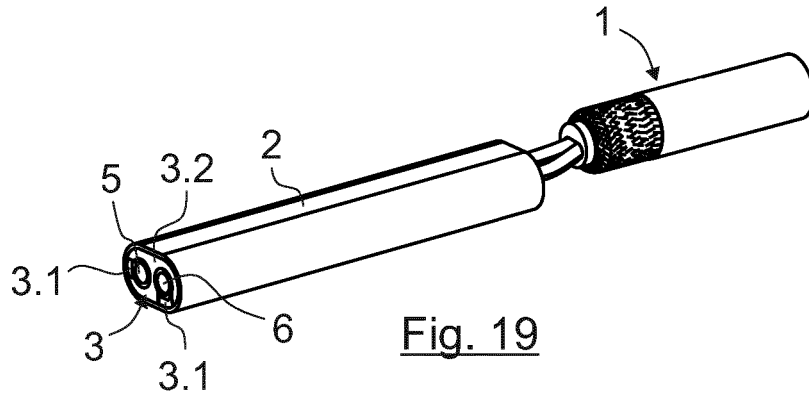
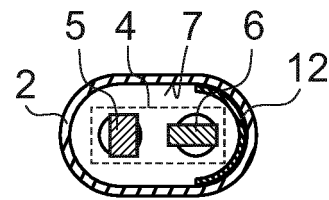
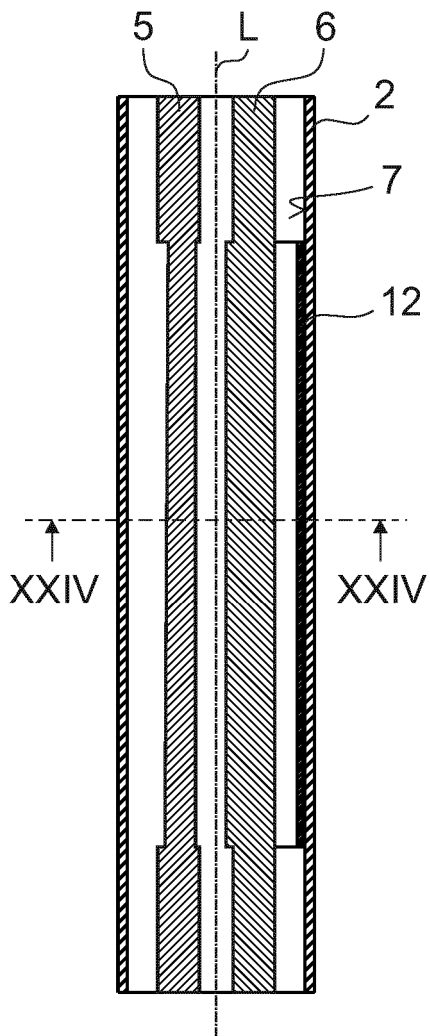
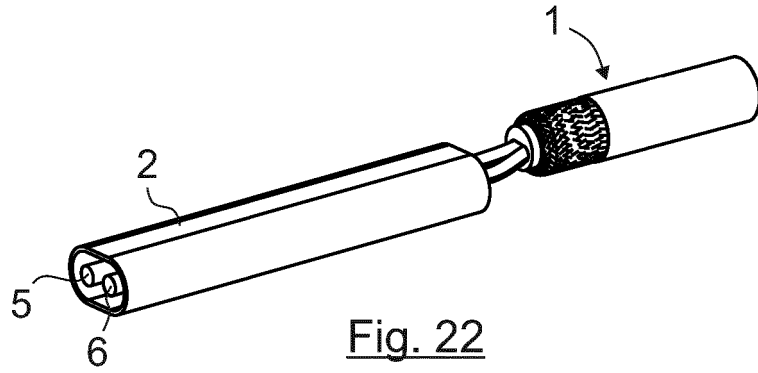


Fig. 15







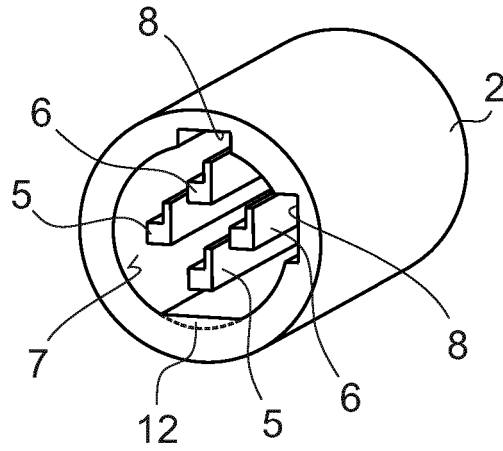


Fig. 25

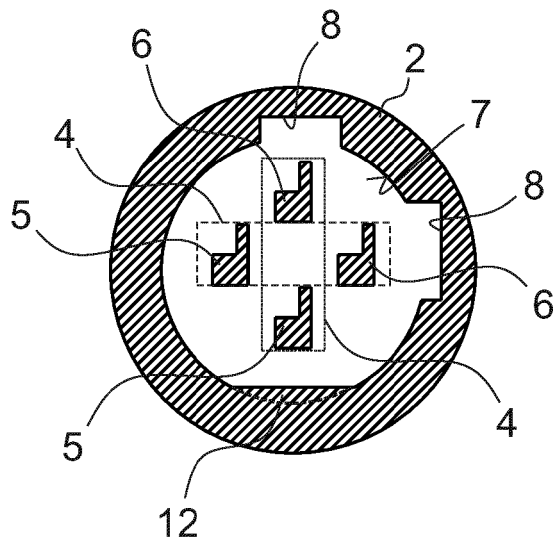


Fig. 26

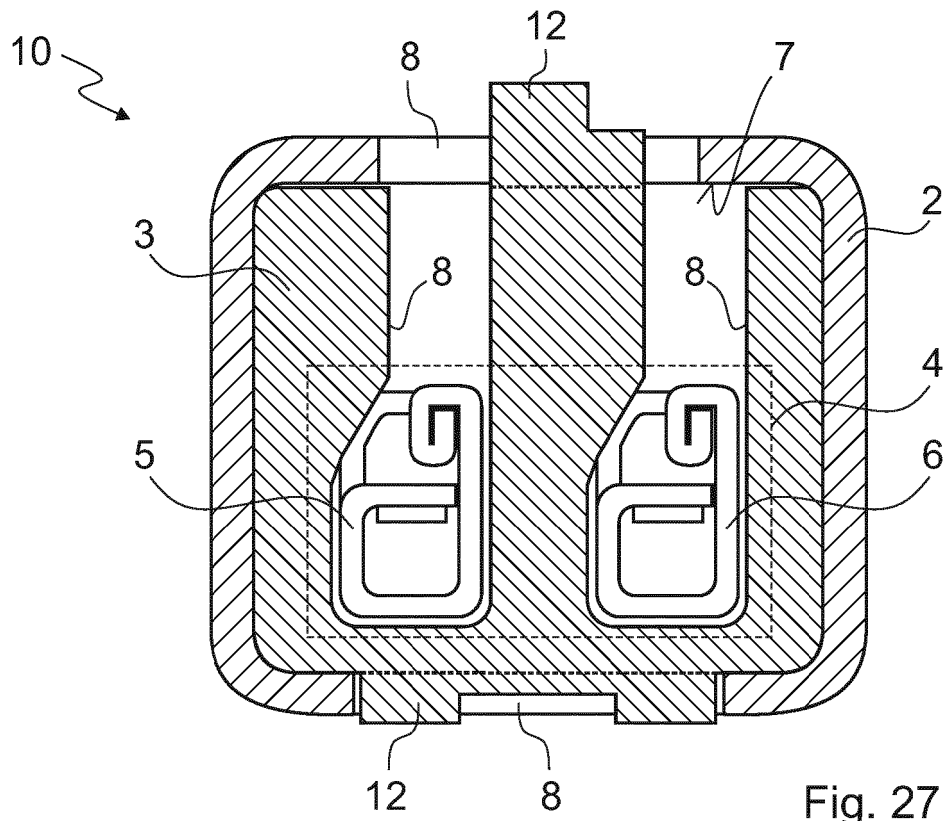


Fig. 27

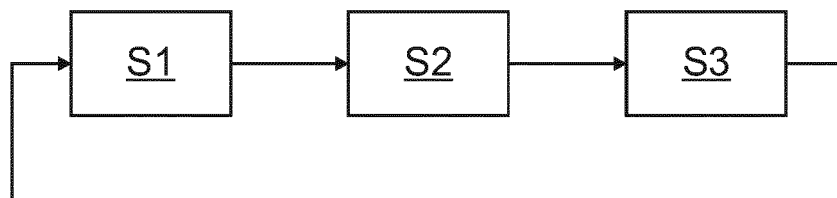


Fig. 28

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 2019058268 A1 [0008]
- US 2019393651 A1 [0008]
- US 2019267727 A1 [0008]
- US 2015162113 A1 [0009]