



(10) **DE 10 2013 100 246 A1** 2014.07.17

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 100 246.3**  
(22) Anmeldetag: **11.01.2013**  
(43) Offenlegungstag: **17.07.2014**

(51) Int Cl.: **G01R 15/18** (2006.01)  
**H04B 15/02** (2006.01)  
**G01R 19/10** (2006.01)  
**H02M 1/12** (2006.01)  
**H02M 1/32** (2007.01)

(71) Anmelder:  
**RefuSol GmbH, 72555, Metzingen, DE**

(74) Vertreter:  
**Daub und Kollegen, 88662, Überlingen, DE**

(72) Erfinder:  
**Helble, Jürgen, 73728, Esslingen, DE; Lamparter,  
Thomas, 72584, Hülben, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

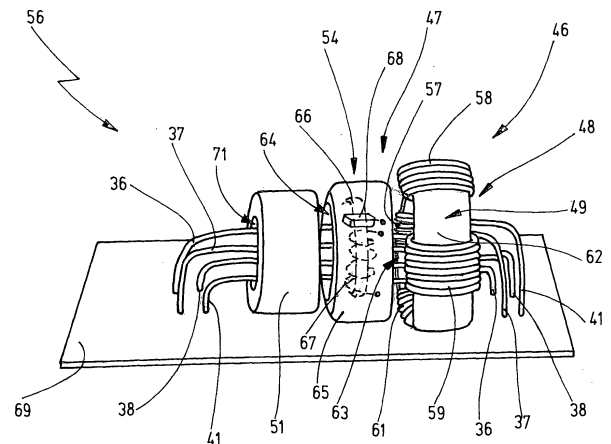
<b>DE</b>	<b>10 2010 052 502</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>20 2005 022 087</b>	<b>U1</b>
<b>US</b>	<b>2009 / 0 279 336</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>1 750 368</b>	<b>A1</b>
<b>JP</b>	<b>2011- 015 192</b>	<b>A</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Stromsensor- und Entstörfilteranordnung, insbesondere für transformatorlose Photovoltaik-Wechselrichter**

(57) Zusammenfassung: Es ist eine Stromsensor- und Entstörfilteranordnung (56; 74) für transformatorlose Wechselrichter für Photovoltaik-, Windkraftanlagen und dgl. geschaffen, die eine Stromsensoreinrichtung (26; 47) zur Erfassung eines elektrischen Stromes, der in wenigstens einem Primärleiter (19, 21; 36, 37, 38 und 41) fließt, und eine Entstörfiltereinrichtung (24; 46) zur Unterdrückung elektromagnetischer Störstrahlung aufweist. Die Stromsensoreinrichtung (26; 47) weist einen Messstromwandler (32; 54) mit einer Durchgangsöffnung (81; 64) auf, durch die der wenigstens eine Primärleiter hindurchgeführt ist, dessen Strom erfasst werden soll. Die Entstörfiltereinrichtung (24; 47) weist eine stromkompensierte Drossel (31; 49) mit einem Ringkern (76; 62) auf, um den Wicklungen (77, 78; 57, 58, 59, 61) aus einem Wicklungsdraht gewickelt sind. Der Messstromwandler (32; 54) und die stromkompensierte Drossel (31; 49) sind in räumlicher Nähe zueinander angeordnet, und der Wicklungsdraht wenigstens einer der Wicklungen (77, 78; 57, 58, 59, 61) der stromkompensierten Drossel (31; 49) ist einstückig, ununterbrochen sowohl durch den Ringkern (76; 62) der stromkompensierten Drossel hindurchgefädelt als auch durch die Durchgangsöffnung (81; 64) des Messstromwandlers (32; 54) hindurchgeführt, um den Primärleiter zu bilden, dessen Strom erfasst werden soll. Die Anordnung ist raumsparend und aufwandsarm zu fertigen und zu montieren.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Stromsensor- und Entstörfilteranordnung, insbesondere für transformatorlose Photovoltaik-Wechselrichter.

**[0002]** Transformatorlose Photovoltaik(PV)-Wechselrichter erzeugen infolge der hochfrequenten Taktung der in ihnen eingesetzten Schalter Funkstörungen. Diese breiten sich mittels elektromagnetischer Felder in kleinem Raum und leitungsgebunden über die Leitungen in Form von hochfrequenten Störspannungen und -strömen aus. Für die Störemissionen sind durch nationale oder europäische Normen festgelegte Grenzwerte vorgegeben, so dass Maßnahmen ergriffen werden müssen, um diese Störemissionen zu unterdrücken.

**[0003]** Es ist bekannt, dass zur Störunterdrückung sog. stromkompensierte Drosseln verwendet werden können. Eine stromkompensierte Drossel oder Gleichtaktrossel (CMC, Common Mode Choke) hat mehrere gleiche Wicklungen, die gleichsinnig um einen Ringkern gewickelt und gegensinnig von einem Arbeitsstrom durchflossen werden, so dass sich deren magnetische Felder im Kern der Drossel aufheben. Stromkompensierte Drosseln werden zur Dämpfung von sog. asymmetrischen oder Gleichtaktstörungen eingesetzt. Solche Störströme treten gleichsinnig, mit gleicher Amplitude und Phase, in der Hin- und Rückleitung auf. Für diese Gleichtaktstörungen bildet die stromkompensierte Drossel eine sehr hohe Induktivität, da sich die Störströme in ihr nicht kompensieren. In PV-Wechselrichtern werden stromkompensierte Drosseln sowohl auf der Gleichspannungs(DC)-Eingangseite des Wechselrichters als auch auf seiner Wechselspannungs(AC)-Ausgangseite eingesetzt.

**[0004]** Ferner werden bei Wechselrichtern Stromsensoren verwendet. Z.B. schreiben einschlägige Normen für Photovoltaik-Wechselrichter abhängig von der Art des Netzes, in dem sie eingesetzt werden, einen Fehlerstromschutzschalter (RCD, Residual Current Device) als Schutzmaßnahme für die wechselstromseitige automatische Abschaltung vor. Hierzu werden bei modernen transformatorlosen Wechselrichtern sog. allstromsensitive Fehlerstrom-Überwachungseinheiten (RCMU, Residual Current Monitoring Unit) integriert, die alle Arten von Fehler- bzw. Leckströmen gegen die Erde, wie Gleich-, Wechsel- und Pulsströme, erfassen. Bekannt sind z.B. Fehlerstrom-Überwachungseinheiten, die einen Differenzstromsensor aufweisen, durch den Hin- und Rückleiter des Betriebsstromes am Wechselrichterzugang hindurchgeschleift werden, so dass er die Stromdifferenz erfasst, die den Fehler- bzw. Leckstrom kennzeichnet. Die Auswertung der erfassten Fehlerströme erfolgt meist im Wechselrichter, der

dann bei zu hohem Fehlerstrom automatisch abgeschaltet wird.

**[0005]** Auch auf der Gleichspannungs(DC)-Ausgangsseite des Wechselrichters wird eine Strommessung vorgenommen, um bspw. den von einem PV-Generator gelieferten Gesamtstrom zu erfassen. Der erfasste Strom kann dann zur Steuerung des Wechselrichters sowie bei Erfassung eines Fehlers zur Trennung des PV-Generators von dem Wechselrichter mittels eines DC-Trennschalters verwendet werden.

**[0006]** Für die vielfältigen Aufgaben der Fehlerstromerkennung bzw. Strommessung, der Unterdrückung elektromagnetischer Störemissionen und Stromkompensation werden zahlreiche Bauteile verwendet, die auf unterschiedlichen Leiterplatten einer Wechselrichterimplementierung angeordnet und in zum Teil schwierigen Bestückvorgängen zu bestücken sind. Die zu den stromkompensierten Drosseln geführten und von diesen abgeführten Leiter müssen mit zugehörigen Klemmen verbunden oder an entsprechende Anschlüsse der jeweiligen Leiterplatte angelötet werden. Gleiches gilt auch für die Leiter, deren Strom durch die Stromsensoren erfasst wird und die ebenfalls mit zugehörigen Klemmen bzw. Lötstellen zu verbinden sind. Aufgrund der verteilten Anordnung der vielfältigen Bauelemente zum Teil auf unterschiedlichen Leiterplatten wird durch die langen Verbindungsleitungen und Übergänge an den Klemmen und Lötstellen der elektrische Widerstand unnötig erhöht. Außerdem kann der Material- und Bestückungsaufwand relativ hoch sein, was entsprechende Kosten nach sich zieht. Ferner ist auch die auf den Leiterplatten benötigte Fläche zur Unterbringung der Vielzahl der Bauelemente relativ groß. Es besteht aber der Wunsch, den auf den Leiterplatten erforderlichen Platz zu reduzieren und die Bestückung zu erleichtern.

**[0007]** Um die Bestückung zu erleichtern, sind bereits allstromsensitive Stromsensoren vorgeschlagen worden, die als eine vorkonfektionierte, zur Montage auf einer Leiterplatte geeignete Baueinheit eingerichtet sind. Sie weisen einen Messstromwandler, der in einem Gehäuse untergebracht ist, aus dem bereits die zur Verbindung mit zugehöriger Elektronik vorgesehenen Anschlusspins herausgeführt sind, und vorkonfektionierte, je nach Bedarf zwei- oder vierpolige Primärleiter auf, die bereits durch den Messstromwandler geführt und durch das Kunststoffmaterial des Gehäuses an diesem fixiert sind. Die Anschlusse der Primärleiter sind zur gleichen Seite wie die Anschlusspins ausgerichtet, was eine einfache Montage auf einer Leiterplatte ermöglicht. Derartige vorkonfektionierte Stromsensoren bzw. Stromwandler sind bspw. von der LEM International SA, Plan-les-Ouates, Schweiz, unter dem Handelsnamen CTSR 0.3 bzw. 0.4 oder von der Bender GmbH und Co

KG, Grünberg, Deutschland unter dem Handelsnamen RCMB110 kommerziell erhältlich. Wenngleich diese Stromsensoren die Montagefreundlichkeit verbessern, ist noch relativ viel Platz auf der Leiterplatte erforderlich, um die vorstehend erwähnten Aufgaben zu erfüllen, und der Integrationsgrad ist relativ begrenzt.

**[0008]** Es besteht weiterhin der Wunsch, Bauteile eines Wechselrichters miteinander zu integrieren, um so den Platz auf den Leiterplatten zu reduzieren und dabei die Montagefreundlichkeit zu verbessern.

**[0009]** Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine kompakte Stromsensor- und Entstörfilteranordnung zu schaffen, die insbesondere für transformatorlose Photovoltaik-Wechselrichter geeignet ist und die Nachteile bzw. Unzulänglichkeiten des Standes der Technik überwindet. Insbesondere sollte der Integrationsgrad erhöht, die erforderliche Leiterplattenfläche reduziert und die Montagefreundlichkeit verbessert sein.

**[0010]** Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen transformatorlosen Photovoltaik-Wechselrichter mit einer derartigen kompakten Stromsensor- und Entstörfilteranordnung zu schaffen.

**[0011]** Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die Stromsensor- und Entstörfilteranordnung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und den transformatorlosen Photovoltaik-Wechselrichter nach Anspruch 16 gelöst.

**[0012]** Die erfindungsgemäße Stromsensor- und Entstörfilteranordnung weist eine Stromsensoreinrichtung zur Erfassung eines elektrischen Stromes, der in wenigstens einem Primärleiter fließt, und eine Entstörfiltereinrichtung zur Unterdrückung elektromagnetischer Störstrahlung auf. Die Stromsensoreinrichtung enthält einen Messstromwandler, der eine Durchgangsöffnung aufweist, durch die der wenigstens eine Primärleiter hindurchgeführt ist, dessen Strom erfasst werden soll. Die Entstörfiltereinrichtung enthält eine stromkompensierte Drossel, die einen Ringkern und eine Anzahl um den Ringkern gewickelter Wicklungen aus einem Wicklungsdraht aufweist. Gemäß der Erfindung sind der Stromwandler und die stromkompensierte Drossel in räumlicher Nähe zueinander angeordnet, und der Wicklungsdraht wenigstens einer der Wicklungen der stromkompensierten Drossel ist durchgängig, zusammenhängend durch die Durchgangsöffnung des Messstromwandlers hindurchgeführt, um den Primärleiter zu bilden, dessen Strom erfasst werden soll.

**[0013]** Gemäß der Erfindung ist also eine insbesondere für transformatorlose Photovoltaik(PV)-Wechselrichter geeignete Stromsensor- und Entstörfilter-

anordnung geschaffen, die eine vorgefertigte Baueinheit mit der stromkompensierten Drossel und dem Messstromwandler bildet, die eng neben- oder übereinander angeordnet sind, wobei die Baueinheit im Ganzen auf der Leiterplatte bestückt werden kann. Dabei ist der Wicklungsdraht wenigstens einer der Wicklungen der stromkompensierten Drossel als durchgängiger, zusammenhängender Draht sowohl durch den Ringkern der Drossel hindurchgefädelt als auch durch den Messstromwandler hindurchgeführt, so dass eine äußerst kompakte, Bauraum und Bauteile sparende Anordnung geschaffen werden kann. Es können zahlreiche Verbindungsleitungen, Klemmen und Lötstellen, wie sie herkömmlich benötigt werden, eingespart werden. Dadurch werden auch Leitungs- und Übergangswiderstände reduziert. Ferner kann deutlich Platz auf der Leiterplatte eingespart werden. Die reduzierte Anzahl von Bauelementen hat auch eine reduzierte Anzahl von Fehlerquellen und Fehlerhäufigkeit zur Folge. Zudem können der Aufwand und die Kosten für Fertigung, Material und Montage reduziert werden.

**[0014]** In einer bevorzugten Ausführungsform ist der durchgängige, zusammenhängende Draht in einem Stück, ununterbrochen ausgebildet. Bedarfsweise kann er aber auch gezielt aufgetrennt werden, um bspw. nachträglich einen Ferritkern einzusetzen, der bisher nicht vorgesehen war, oder für andere Zwecke, wobei die aufgetrennten Drahtabschnitte dann mit Hilfe einer Lüsterklemme oder eines ähnlichen Verbindungsmittels, das die Enden der Drahtabschnitte unmittelbar miteinander leitend verbindet, wieder zu einem durchgängigen, zusammenhängenden Draht zusammengefügt werden.

**[0015]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, ist die erfindungsgemäße Stromsensor- und Entstörfilteranordnung für die Wechselspannungs(AC)-Ausgangsseite eines transformatorlosen PV-Wechselrichters vorgesehen und zur Fehlerstromerkennung und Unterdrückung elektromagnetischer Störstrahlung eingerichtet. Die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ist bereits durch die reduzierten Leitungslängen und die reduzierte Anzahl von Klemmen und Lötstellen und zusätzlich durch die stromkompensierte Drossel verbessert. Das Leiterplattenlayout für die AC-Ausgangsseite des Wechselrichters wird einfacher und übersichtlicher.

**[0016]** Für einen bestimmungsgemäßen Einsatz auf der AC-Seite des PV-Wechselrichters ist die Stromsensoreinrichtung vorzugsweise ein Teil einer allstromsensitiven Fehlerstrom-Überwachungseinheit, die Fehler- oder Leckströme gegen Erde erfassen und erkennen kann. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Messstromwandler hierfür ein Differenzstromsensor, den im Einsatz die Hin- und Rückleiter des Betriebsstroms, also z.B. alle Phasenleiter und der Neutraleiter am Wechselrichter-AC-Aus-

gang, durchsetzen und der die Stromdifferenz erfasst. Der Messstromwandler liefert vorzugsweise an seinem Ausgang ein den Fehler- bzw. Leckstrom kennzeichnendes Signal. Dieses kann dann von einer zugehörigen Auswerteeinrichtung, die bspw. ein Teil der Steuereinrichtung für den Wechselrichter bilden kann, ausgewertet werden, um die Fehlerströme zu unterscheiden und bedarfsweise Notmaßnahmen, wie bspw. eine Abschaltung des Wechselrichters, zu ergreifen.

**[0017]** Die erfindungsgemäße Stromsensor- und Entstörfilteranordnung kann für ein ein- bis dreiphasiges System vorgesehen sein. Bevorzugterweise ist sie für ein dreiphasiges System mit drei Phasenleitern und einem Neutralleiter eingerichtet, so dass vier Wicklungen, die den Phasenleitern und dem Neutralleiter entsprechen bzw. mit diesen verbunden sind, um die stromkompensierte Drossel gewickelt und durch den Messstromwandler hindurchgeschleift sind.

**[0018]** In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung ist die Stromsensor- und Entstörfilteranordnung für die Gleichspannungs(DC)-Eingangsseite eines transformatorlosen Photovoltaik-Wechselrichters zur Erfassung eines von einem Photovoltaik-Generator gelieferten Gesamtstroms und zur Unterdrückung elektromagnetischer Störemissionen auf der DC-Seite des Wechselrichters eingerichtet. Bspw. kann der von der Stromsensoreinrichtung erfasste Strom von der Steuerungseinrichtung des Wechselrichters für eine MPP-Regelung und Steuerung der Betriebsweise des Wechselrichters verwendet werden. Bei unzulässigen Eingangsströmen kann ferner eine Trennung des Wechselrichters von dem PV-Generator bewirkt werden.

**[0019]** Für den bestimmungsgemäßen Einsatz auf der DC-Eingangsseite des PV-Wechselrichters sind die mit den beiden Polen des PV-Generators zu verbindenden Anschlussleitungen um den Ringkern der stromkompensierten Drossel gewickelt, wobei eine Anschlussleitung durch den Messstromwandler hindurchgeschleift ist, um die Strommessung vorzunehmen. Die andere Anschlussleitung ist an dem Messstromwandler vorbeigeführt, da hier keine Differenzstrommessung vorgenommen wird. Auch auf der DC-Seite eines Photovoltaik-Wechselrichters können EMV-Emissionen durch Reduktion von Leitungslängen, der Anzahl von Klemmen und Lötstellen und durch die stromkompensierte Drossel deutlich reduziert werden. Der Platzbedarf auf der DC-Leiterplatte und der Montageaufwand zur Bestückung der Anordnung auf der Leiterplatte werden ebenfalls deutlich reduziert.

**[0020]** Unabhängig davon, ob sie für die DC- oder die AC-Seite bestimmt ist, kann die Erfindung eine Stromsensoreinrichtung enthalten, die nach dem

Kompensationsprinzip mit galvanischer Trennung und geschlossenem Regelkreis arbeitet. Die Stromsensoreinrichtung weist dann vorzugsweise einen Messstromwandler mit einem magnetischen Kreis, einer wenigstens einen Abschnitt des magnetischen Kreises umgebenden Sekundärspule und einem Magnetfeldsensor auf. Der durch den Primärstrom in dem oder den Primärleitern erzeugte Magnetfluss wird mit Hilfe der Sekundärspule kompensiert, wobei der Magnetfeldsensor, bspw. ein Hallsensor, ein Fluxsensor oder dgl., mit zugehöriger Elektronik-Schaltung verwendet wird, um einen sekundärseitigen Kompensationsstrom zu liefern, der ein exaktes Abbild des Primärstroms darstellt. Derartige Kompensationsstromsensoren mit Magnetfeldsonden sind allgemein bekannt und brauchen hier nicht näher erläutert zu werden. Es können aber auch andere Stromwandler- bzw. Stromsensorbauarten, die bspw. nach dem Transformatorprinzip arbeiten, verwendet werden.

**[0021]** In einer vorteilhaften Ausführungsform ist der Messstromwandler, z.B. der Kompensationsmessstromwandler mit dem magnetischen Kreis, der Sekundärspule und dem Magnetfeldsensor, in einem Stromwandlergehäuse aufgenommen, das die Durchgangsöffnung für den oder die hindurchgeführten Primärleiter aufweist. Das Stromwandlergehäuse nimmt dann die Komponenten des Messstromwandlers sicher auf und ist ferner mit Kontakten oder Anschlusspins versehen, die mit dem Messstromwandler, bspw. mit den Enden der Sekundärspule verbunden und für eine Verbindung mit einer gedruckten Leiterplatte der Stromsensoreinrichtung aus dem Gehäuse nach außen herausgeführt sind. Das Stromwandlergehäuse ist aus einem geeigneten Material, bspw. Kunststoff, ausgebildet, das sowohl eine mechanische Einwirkung auf den Messstromwandler als auch eine elektromagnetische Störbeeinflussung desselben durch andere Komponenten verhindert oder zumindest weitgehend reduziert. Die Primärleiter sind vorzugsweise in dem Gehäuse bereits vorkonfektioniert, also in Bezug auf dieses z.B. mit dem Kunststoff des Gehäuses, fixiert. Die Zuführung und Abführung des oder der Primärleiter kann dabei auf der gleichen Seite oder auf unterschiedlichen Seiten des Gehäuses vorgesehen sein. Teile der Verarbeitungs- und Auswerteelektronik für die Strommess-einrichtung können auch bereits im Inneren des Gehäuses untergebracht sein.

**[0022]** Die erfindungsgemäße stromkompensierte Drossel weist einen Ringkern auf, dessen magnetischer Kreis in Ringform ausgebildet ist. Er kann in Form eines Toroids, einer Ronde, eines Rohrabchnitts bzw. eines kreisrunden Körpers mit einem Durchgangsloch in der Mitte ausgebildet sein. Prinzipiell sind auch andere Kernbauformen bzw. Spulenkörperformen zur Aufnahme der Wicklungen der Drossel möglich, die sich auch von der Ringform un-

terscheiden können. Der Ringkern kann aus unterschiedlichen Materialien, wie bspw. aus Ferrit, aus Pulverwerkstoffen oder dgl. ausgebildet sein.

**[0023]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird als Ringkern der stromkompensierten Drossel ein Ringbandkern verwendet, der aus einem amorphen nanokristallinen Bandmaterial hergestellt ist. Der Ringbandkern ist dann ein aus einem Bandmaterial gewickelter Kern, dessen geringe Banddicke für einen hohen elektrischen Widerstand und niedrigste Wirbelstromverluste und einen guten Frequenzgang der Permeabilität sorgt. Zur weiteren Verminderung der Wirbelstromverluste können die Bänder zusätzlich mit einer dünnen Isolationschicht versehen sein. Das Band weist eine nanokristalline Zweiphasenstruktur, ein in amorpher Restphase eingebettetes feinkristallines Korn, auf, die sehr hohe Permeabilitäten und kleinste Koerzitivfeldstärken ermöglicht. Mit einem derartigen Bandringkern aus amorphem nanokristallinen Material können eine hohe Sättigungsinduktion und äußerst günstige thermische Eigenschaften erzielt werden, die anderen Werkstoffen, wie bspw. Permalloys, NiFe-Werkstoffen und dgl. gleichwertig oder überlegen sind. Letztere können aber ebenfalls verwendet werden.

**[0024]** Zur weiteren EMV-Verbesserung kann ferner ein bei höheren Frequenzen, z.B. UKW, störunterdrückender Ferritkern vorgesehen sein. Dieser kann dann über den zu der stromkompensierten Drossel geführten Primärleitern, z.B. allen Phasenleitern und dem Neutralleiter oder den Anschlussleitern zu dem Generator, derart angeordnet sein, dass er diese umschließt. Derartige Ferritkerne sind allgemein bekannt und werden in vielfältigen Anwendungen, einschließlich auf der DC- und der AC-Seite von PV-Wechselrichtern zur Unterdrückung höherfrequenter Störstrahlung verwendet. Der Ferritkern kann als ein gelochter, zylinderförmiger oder flacher Ferritkern in unterschiedlichen Varianten, als Rohrkern, Ring oder Perle, ausgebildet sein. Er kann als massiver, durchgehender Ringkern auf die mehradrigen Leitungen bzw. Kabel, deren Störstrom unterdrückt werden soll, aufgeschoben oder aufgefädelt sein kann. Er kann auch als sog. Klappferrit teilbar ausgebildet sein, der dann auf die Leitungen bzw. Kabel einfach aufgeklipst werden kann.

**[0025]** Für die Anordnung der Komponenten der erfindungsgemäßen Stromsensor- und Entstörfilteranordnung sind unterschiedliche vorteilhafte Möglichkeiten gegeben. Bspw. kann eine stehende Anordnung vorgesehen sein, bei der die stromkompensierte Drossel und der Messstromwandler in aufrechter Ausrichtung nebeneinander angeordnet sind, so dass deren horizontale Mittel- oder Zentralachsen zusammenfallen bzw. parallel ausgerichtet sind. Alternativ kann auch eine liegende Anordnung gewählt werden, bei der die stromkompensierte Drossel

und der Messstromwandler mit vertikal ausgerichteten Achsen wenigstens abschnittsweise übereinander liegen. Jedenfalls kann die Anordnung sehr kompakt sein und wenig Standfläche auf der Leiterplatte benötigen.

**[0026]** Die erfindungsgemäße Stromsensor- und Entstörfilteranordnung kann ferner ein Gehäuse aufweisen, das wenigstens einige der Komponenten der Anordnung, wie z.B. die stromkompensierte Drossel und den Messstromwandler und ggf. den Ferritkern, aufnimmt. Das Gehäuse kann durch ein kastenartiges Gehäuse aus Metall oder vorzugsweise Kunststoff gebildet sein.

**[0027]** In einer bevorzugten Ausführungsform ist die erfindungsgemäße Stromsensor- und Entstörfilteranordnung wenigstens bereichsweise mit einem schützenden, isolierenden Material, vorzugsweise Kunststoff, z.B. auf Harzbasis, umgeben, vorzugsweise umspritzt. Das Material wird aufgebracht, um die Komponenten und Leiter der Stromsensor- und Entstörfilteranordnung in ihrer Position zu fixieren und in Bezug aufeinander festzulegen. Dadurch wird die Handhabung der Anordnung im Ganzen erleichtert. In einer aufwandsarmen Ausführungsform können auch nur lediglich die Anschlussbereiche der Primärleiter mit einem Kunststoffmaterial umspritzt sein. Jedenfalls bildet die Stromsensor- und Entstörfilteranordnung vorzugsweise eine durch Automaten bestückbare Baueinheit, was zusätzlich oder alternativ zu der Kunststoffumspritzung auch dadurch bewerkstelligt werden kann, dass sie auf einem Träger, bspw. einer Träger- oder Leiterplatte, montiert wird.

**[0028]** Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Photovoltaik-Wechselrichter mit wenigstens einer erfindungsgemäßen Stromsensor- und Entstörfilteranordnung, wie vorstehend beschrieben, geschaffen. Es kann eine Stromsensor- und Entstörfilteranordnung für die DC-Eingangsseite oder für die AC-Ausgangsseite des PV-Wechselrichters oder für beide Seiten vorgesehen sein. Die Vorteile der Stromsensor- und Entstörfilteranordnung kommen insgesamt dem PV-Wechselrichter zugute.

**[0029]** Weitere Einzelheiten vorteilhafter Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Zeichnungen, der Beschreibung oder der Unteransprüche. In der Zeichnung sind Ausführungsformen der Erfindung veranschaulicht. Es zeigen:

**[0030]** Fig. 1 eine Gleichspannungs(DC)-Seite einer Photovoltaikanlage zur Umwandlung eines von einem Photovoltaik-Generator erzeugten Gleichstroms in einen Wechselstrom mit einer DC-Stromsensor- und Entstörfilteranordnung in stark vereinfachter Darstellung;

**[0031]** Fig. 2 eine Wechselspannungs(AC)-Seite einer Photovoltaikanlage gemäß der Erfindung mit einer AC-Stromsensor- und Entstörfilteranordnung, in stark vereinfachter Darstellung;

**[0032]** Fig. 3 eine AC-Stromsensor- und Entstörfilteranordnung zur Verwendung in der Photovoltaikanlage nach Fig. 2, in einer ersten Ausführungsform der Erfindung, in vereinfachter perspektivischer Darstellung;

**[0033]** Fig. 4 eine weitere Ausführungsform einer AC-Stromsensor- und Entstörfilteranordnung gemäß der Erfindung, in vereinfachter perspektivischer Darstellung; und

**[0034]** Fig. 5 und Fig. 6 eine Ausführungsform einer DC-Stromsensor- und Entstörfilteranordnung zur Verwendung bei der Photovoltaikanlage nach Fig. 1 in einer beispielhaften Ausführungsform in einer vereinfachten Perspektivdarstellung und in Draufsicht von oben.

**[0035]** In Fig. 1 ist in einer stark schematisierten, zum Teil blockschaltbildlichen Darstellung eine Photovoltaik(PV)-Anlage 1 dargestellt, die eine erfindungsgemäße Anlage zur Umwandlung einer eingangsseitig bereitgestellten elektrischen Gleichspannung aus einem PV-Generator in eine ausgangsseitige Wechselspannung bildet. Die PV-Anlage 1 weist einen PV-Generator 2 und einen hier dreiphasigen PV-Wechselrichter 3 auf, der je nach Anforderung auch ein einphasiger Wechselrichter sein könnte. Der PV-Generator 2 weist ein oder mehrere hier nicht im Einzelnen dargestellte PV-Module auf, die miteinander verbunden sind, um an den Ausgangspolen 4, 6 des PV-Generators eine Gleichspannung zu erzeugen und einen Gleichstrom bereitzustellen.

**[0036]** Der Wechselrichter 3 ist zur Umwandlung dieser an seinem Eingang 7 bereitgestellten Gleichspannung in eine hier dreiphasige Wechselspannung an seinem Ausgang 8 eingerichtet. Hierzu weist der Wechselrichter den Eingang 7 mit einem positiven und einem negativen Eingangsanschluss 9, 11, die jeweils mit dem positiven bzw. negativen Pol 4, 6 des PV-Generators 2 verbunden sind, und den vierpoligen Ausgang 8 auf, zu dem die drei Ausgangsanschlüsse (L1, L2, L3) 12, 13, 14, die die einzelnen Phasen der ausgangsseitigen Wechselspannung des Wechselrichters 3 führen, und ein Neutralausgangsanschluss (N) 16 des Wechselrichters 3 gehören.

**[0037]** Der Wechselrichter 3 kann von beliebiger transformatorloser Bauart sein, die die Wechselrichtung ermöglicht. Bevorzugterweise weist der Wechselrichter 3 eine Wechselrichterschaltungsanordnung 17 auf, die hier nicht im Detail dargestellt ist, die jedoch in bekannter Weise eine Parallelschaltung von hier drei im Wesentlichen identischen Halb-

oder Vollbrücken mit jeweils in Reihe verbundenen Schaltereinheiten aufweist, die mit hohen Frequenzen von bis zu 100 kHz nach vorgegebenen Mustern geschaltet werden, um die Wechselspannung und den Wechselstrom am Ausgang 8 zu erzeugen. Bevorzugterweise werden hierzu verlustarme IGBT- oder MOS-Feldeffekttransistor-Schalter eingesetzt, obwohl auch andere Schalterbauarten verwendbar sind. Der Verbindungspunkt zwischen den Schaltereinheiten bspw. jeder Halbbrücke ist zu dem jeweiligen Wechselspannungsausgangsanschluss 12, 13 bzw. 14 hinausgeführt. Der dort gelieferte Wechselstrom kann vorzugsweise zur Einspeisung in ein Netz oder zur Versorgung eines Verbrauchers verwendet werden. In der dargestellten Ausführungsform weist der dreiphasige Wechselstrom drei im Wesentlichen betragsgleiche, jeweils um 120° zueinander phasenverschobene Ausgangsströme auf.

**[0038]** Die Wechselrichterschaltungsanordnung 17 weist an ihrem Eingang einen Zwischenkreis 18 mit hier nicht näher dargestellten Energiespeichern auf, die die durch den PV-Generator 2 bereitgestellte Gleichspannungs-Energie zwischenspeichert und auch für eine Symmetrierung der Potentiale an den Eingangsanschlüssen der Wechselrichterschaltungsanordnung 17 sorgen können. Der Zwischenkreis 18 ist über eine erste Anschlussleitung 19 mit dem positiven Eingangsanschluss 9 und über eine zweite Anschlussleitung 21 mit dem negativen Eingangsanschluss 11 des Wechselrichters 3 verbunden. Die Anschlussleitungen 19, 21 sind jeweils durch mehrere miteinander verbundene Leiter, Kabel, Leiterbahnabschnitte auf Leiterplatten, etc., gebildet, die in Reihe miteinander verbunden sind und ausgehend von den bspw. aus einem Gehäuse des Wechselrichters 3 nach außen herausgeführten Eingangsanschlüssen 9, 11 des Wechselrichters 3 zu der Wechselrichterschaltungsanordnung 17 verlaufen.

**[0039]** In den Anschlussleitungen 19, 21 sind weitere Komponenten des Wechselrichters 3 angeordnet. Hierzu gehören bspw. Trennschalter 22, die dazu dienen, den Photovoltaikgenerator 3 bedarfsweise von der Wechselrichterschaltungsanordnung 17 galvanisch zu trennen. Ferner sind in den Anschlussleitungen 19, 21 eine DC-Entstörfiltereinrichtung 24 und eine DC-Stromsensoreinrichtung 26 vorgesehen. Die DC-Entstörfiltereinrichtung 24 weist ein DC-Stromkompensationsfilter 27 zur Filterung asymmetrischer Störspannungen bzw. -ströme, sog. Gleichtaktstörungen, die durch das hochfrequente Schalten der Schaltereinheiten der Wechselrichterschaltungsanordnung 17 auf der DC-Eingangsseite hervorgerufen werden, und einen optionalen Ferritkern 28 auf, der zur Unterdrückung höherfrequenter Störstrahlung, z.B. im UKW-Bereich, eingerichtet ist.

**[0040]** Das DC-Stromkompensationsfilter 27 ist in üblicher Weise durch einen LC-Tiefpass gebildet, der

in den Anschlussleitungen **19**, **21** eingefügt ist, um die Störspannungen an diesen zu vermindern. Jeder LC-Tiefpass ist hier durch ein  $\pi$ -Tiefpassglied **29** mit Kondensatoren  $C_1$ , die zwischen der jeweiligen Anschlussleitung **19** bzw. **21** und Masse geschaltet sind, und einer in der jeweiligen Anschlussleitung **19** bzw. **21** zwischen den Kondensatoren  $C_1$  eingefügten Induktivität  $L_1$  gebildet. Als Induktivitäten  $L_1$  wird, wie in **Fig. 1** angezeigt, eine stromkompensierte Drossel **31** eingesetzt.

**[0041]** Der Ferritkern **28** ist, wie in **Fig. 1** angedeutet, über den Anschlussleitungen **19**, **21** derart angeordnet, dass er sie vollständig umschließt. Der Ferritkern **28** ist ein optionales Bauelement, das die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) durch zusätzliche Unterdrückung höherfrequenter Störanteile verbessert, aber grundsätzlich auch weggelassen werden könnte.

**[0042]** Die DC-Stromsensoreinrichtung **26** ist dazu vorgesehen, den Strom in einer der Anschlussleitungen **19**, **21**, hier insbesondere den Strom in der ersten Anschlussleitung **19**, wie er durch den PV-Generator **2** für den Wechselrichter **3** geliefert wird, zu erfassen und ein hierzu kennzeichnendes Signal zu liefern. Hierzu weist die DC-Stromsensoreinrichtung **26** einen Messstromwandler **32** auf, der den Strom in der ersten Anschlussleitung **19** mit galvanischer Trennung misst und das entsprechende Messsignal einer DC-Strom-Erfassungs- und -Auswerteeinrichtung **33** zuführt. Die DC-Strom-Erfassungs- und -Auswerteeinrichtung **33** kann einen Teil einer Steuerungseinrichtung **34** bilden, die zur Steuerung und Überwachung des Betriebs des Wechselrichters **3** dient. Die DC-Entstörfiltereinrichtung **24** und die DC-Stromsensoreinrichtung **26** sind nachstehend im Zusammenhang mit den **Fig. 5** und **Fig. 6** in größeren Einzelheiten beschrieben.

**[0043]** Wie bereits erwähnt, kann der Wechselrichter **3** verwendet werden, um bspw. durch die PV-Anlage **1** generierte elektrische Energie in ein Netz, bspw. das öffentliche Netz eines Energieversorgers, einzuspeisen. Wie aus **Fig. 2** näher ersichtlich, die die Wechselspannungs(AC)-Ausgangsseite des Wechselrichters **3** in näherem Detail veranschaulicht, sind die Ausgangsanschlüsse **12**, **13**, **14** des Wechselrichters **3** über jeweilige Phasenleiter **36**, **37** bzw. **38** mit dem Netz **39** (bzw. einem Verbraucher) verbunden. Der Neutralausgangsanschluss **N 16** ist über einen Neutralleiter (N-Leiter) **41** mit einem hier nicht näher veranschaulichten Neutralanschluss des Netzes **39** verbunden. Ferner ist ein zum Schutz gegen elektrischen Schlag notwendigerweise vorzusehender Schutzleiter (PE-Leiter) **42** vorgesehen, der, wie mit dem Erdungssymbol **43** angedeutet, geerdet ist und mit dem auf der Netzseite auch der Neutralleiter **41** verbunden ist. Der Schutzleiter **42** erstreckt sich vorzugsweise über die gesamte Anlage hinweg, und

an ihm ist vorzugsweise auch das Gehäuse des PV-Generators **2** angeschlossen (vgl. **Fig. 1**).

**[0044]** Erneut bezugnehmend auf **Fig. 2**, sind in den Phasenleitern **36–38** und dem Neutralleiter **41** weitere Komponenten der AC-Seite des Wechselrichters **3** angeordnet. Hierzu gehören Trennschalter **44**, die in jedem der Leiter **36–38** und **41** vorgesehen und durch die Steuerungseinrichtung **34** ansteuerbar sind, eine AC-Entstörfiltereinrichtung **46** und eine AC-Stromsensoreinrichtung **47**.

**[0045]** Die AC-Entstörfiltereinrichtung **46** ist zur Unterdrückung hochfrequenter Störungen auf der AC-Seite des Wechselrichters **3** vorgesehen. Wie bereits im Zusammenhang mit der DC-Entstörfiltereinrichtung **24** gemäß **Fig. 1** erläutert, bewirken die hochfrequenten Schaltungen der Schaltereinheiten der Wechselrichterschaltungsanordnung **17** unter anderem asymmetrische Störspannungen, die hier auch auf den Netzleitungen  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  und  $N$ , **36–38** und **41**, vorliegende Gleichtaktstörspannungen gegenüber der Erde PE bilden. Das heißt, sie haben in etwa die gleiche Amplitude und gleiche Phase. Der Störstrom, den diese Spannungen bewirken, ist ebenfalls gleichphasig und fließt über den Schutzleiter **42** und eine parasitäre Kapazität zu der Wechselrichterschaltungsanordnung **17** zurück. Da die parasitäre Kapazität sehr klein ist, hat die asymmetrische Störspannung eine hohe Impedanz. Die Störquelle kann daher als Störstromquelle angesehen werden. Zur Unterdrückung dieser Störemissionen enthält die AC-Entstörfiltereinrichtung ein AC-Stromkompensationsfilter **27** und zur Unterdrückung höherfrequenter Störanteile optional einen zusätzlichen Ferritkern **51**.

**[0046]** Das AC-Stromkompensationsfilter **48** weist zur Unterdrückung der hochimpedanten Störspannung geeignete Tiefpassglieder **52** auf, die hier durch LC-Glieder mit in den Leitern **36**, **37**, **38**, **41** jeweils eingefügten Induktivitäten  $L_2$  und an deren Ausgang zwischen den Leitern **36**, **37**, **38** bzw. **41** und Masse jeweils angeschlossenen Kondensatoren  $C_2$  auf. Als die Induktivitäten  $L_2$  wird hier, wie auf der DC-Seite, eine stromkompensierte Drossel **49** eingesetzt, die, wie nachstehend noch näher erläutert, den Phasenleitern **36–38** und dem Neutralleiter **41** zugeordnete Wicklungen trägt, die gleichsinnig gewickelt sind, so dass deren Betriebsstrom im Kern der stromkompensierten Drossel **49** kein Magnetfeld hervorruft.

**[0047]** Der Ferritkern **51** ist, wie in **Fig. 2** angedeutet, über allen Phasenleitern **36–38** und dem Neutralleiter **41** derart angeordnet, dass er alle diese Leiter umschließt. Der Ferritkern ist hier ebenfalls ein optionales Bauelement zur zusätzlichen Unterdrückung höherfrequenter Störanteile, der gegebenenfalls auch weggelassen werden könnte.

**[0048]** Die AC-Stromsensoreinrichtung **47** ist Teil einer sog. allstromsensitiven Fehlerstrom-Überwachungseinheit, die auch als RCMU (Residual Current Monitoring Unit) bezeichnet wird und bei transformatorlosen PV-Wechselrichtern integriert ist, um Fehler- bzw. Leckströme in Form von Gleich, Wechsel- und/oder Pulsströmen zu erfassen. Wird ein derartiger Fehler- bzw. Leckstrom erfasst, der einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet, so dass er eine Gefahr für Menschen darstellen könnte, wird eine wechselstromseitige automatische Abschaltung des Wechselrichters **3** vorgenommen, indem z.B. die Trennschalter **44** von der Steuerungseinrichtung **34** automatisch getrennt werden. Hierzu ist kein externer Fehlerstromschalter erforderlich. Die Überwachungs- und Auswertelogik der allstromsensitiven Überwachungseinheit **53** kann Teil der Steuerungseinrichtung **34** sein.

**[0049]** Die AC-Stromsensoreinrichtung **47** selbst ist als ein Differenzstromsensor beschaffen, durch den die Phasenleiter **46, 47, 48**, die den Betriebsstrom vom Wechselrichter-Ausgang **8** zum Netz **39** führen, und der Neutralleiter **41** als Primärleiter hindurchgeschleift sind, so dass der Differenzstromsensor **54** die Stromdifferenz bzw. die Summe der durch die Primärleiter fließenden Wechselströme erfasst. Hierzu gehört auch die Summe aus dem kapazitiven Ableitstrom, welcher durch den PV-Generator **2** systematisch erzeugt wird, und den möglichen ohmschen Fehlerströmen, die z.B. durch eine schadhafte Isolierung einer PV-Anlage erzeugt werden. Diese Ableit- bzw. Fehlerströme können sicher erkannt und unterschieden werden.

**[0050]** Die vielfältigen Bauelemente, die die Funktionen der EMV-Verbesserung und Stromkompensation, der Stromerfassung und der Fehlerstromerkennung auf der DC- bzw. der AC-Seite dienen, sind in herkömmlicher Weise räumlich voneinander getrennt, zum Teil auf unterschiedlichen Leiterplatten eines Wechselrichters angeordnet. Zur Übertragung der jeweiligen Ströme sind dann verschiedene Leitungen, Kabel etc. vorgesehen, die an entsprechende Klemmen angeschlossen oder an Anschlussstellen angelötet werden müssen. Dies erfordert sowohl eine relativ große Fläche auf den Leiterplatten und erhöht auch den Material-, Fertigungs- und Bestückungsaufwand. Ferner ist eine derartige Vielzahl von Bauelementen, Leitungen, Klemmen, Lötstellen und dgl. auch hinsichtlich der EMV nachteilig.

**[0051]** Um dem abzuhelpen, wird gemäß der Erfindung eine kompakte Stromsensor- und Entstörfilteranordnung vorgeschlagen, die es ermöglicht, Bauraum auf der oder den Leiterplatten einzusparen, und die auch die Bestückungs- bzw. Montagefreundlichkeit verbessert.

**[0052]** Eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **56**, insbesondere für transformatorlose PV-Wechselrichter, z.B. für die Wechselspannungs(AC)-Ausgangsseite des in den **Fig. 1** und **Fig. 2** gezeigten Photovoltaik-Wechselrichters **3**, ist in **Fig. 3** veranschaulicht. Wie ersichtlich, weist die AC-Stromsensor- und -Entstörfilteranordnung **56** die bereits erwähnte AC-Entstörfiltereinrichtung **46** mit dem AC-Stromkompensationsfilter **48** und dem Ferritkern **51** sowie die AC-Stromsensoreinrichtung **47** auf.

**[0053]** Das AC-Stromkompensationsfilter **48** weist die stromkompensierte Drossel **49** auf, die Wicklungen **57, 58, 59** und **61** trägt, die um einen Ringkern **62** herum gewickelt sind. Der Ringkern **62** ist im Wesentlichen in Form eines Kreisrings mit einer axialen Durchgangsöffnung **63** ausgebildet. Die Wicklungen **57, 58, 59, 61** sind hier um den Umfang des Ringkerns **62** herum gleichmäßig beabstandet angeordnet unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Einhaltung der geforderten Luft- und Kriechstrecken bzw. Isolation, und sie sind gleichsinnig gewickelt und weisen die gleiche Anzahl von Windungen auf. Die Wicklungen **57, 58, 59** und **61** sind aus einem Wicklungsdraht gewickelt, der die Phasenleiter **36, 37, 38** bzw. den Nullleiter **41** bildet. In anderen Worten sind die Phasenleiter **36, 37, 38** und der Nullleiter **41** durch die Durchgangsöffnung **63** des Ringkerns **62** hindurchgeführt und jeweils um den Ringkern **62** gewickelt.

**[0054]** Durch die gleiche Windungsanzahl und den gleichen Wicklungssinn können sich die magnetischen Felder in dem Kern **62** der Drossel **49** bis auf die Magnetfelder aufheben, die zu den asymmetrischen Störströmen oder Gleichtaktstörströmen gehören. Diese kompensieren sich nicht in der Drossel **49**, sondern induzieren ein Magnetfeld, das dann den Störströmen entgegenwirkt, so dass diese unterdrückt werden.

**[0055]** Wie aus **Fig. 3** ferner ersichtlich, sind die Phasenleiter **36, 37, 38** und der Neutralleiter **41** auf der anderen Seite der stromkompensierten Drossel **49** aus der Durchgangsöffnung **63** herausgeführt und in einem Stück, durchgängig, ohne Unterbrechung durch die AC-Stromsensoreinrichtung **47** hindurchgeführt. Genauer gesagt, durchsetzen die Primärleiter **36-38** und **41** eine Durchgangsöffnung **64** des den Differenzstromsensor **54** bildenden Messstromwandlers. Wenngleich dies in **Fig. 3** lediglich schematisiert dargestellt ist, arbeitet die AC-Stromsensoreinrichtung **47** vorzugsweise nach dem Kompensationsprinzip mit geschlossenem Regelkreis. Der Messstromwandler **54** weist vorzugsweise einen magnetischen Kreis **66**, eine wenigstens einen Abschnitt des magnetischen Kreises umgebende Sekundärspule **67** und einen Magnetfeldsensor **68** auf. Der durch den Primärstrom der Primärleiter **36-38** und **41** erzeugte Magnetfluss wird mit Hilfe der Sekundärspule **67**

kompensiert, wobei der Magnetfeldsensor **68**, z.B. ein Hall-, Flux- oder ein sonstiger geeigneter Sensor, mit zugehöriger Elektronik-Schaltung verwendet wird, um den sekundärseitigen Kompensationsstrom derart einzustellen, dass sich der gewünschte Sollzustand, also ein nicht vorhandenes Magnetfeld innerhalb des Kerns, wie durch den Magnetfeldsensor **68** erfasst, einstellt. Der Kompensationsstrom ist dann für den erfassten Primärstrom kennzeichnend.

**[0056]** Wie ferner aus **Fig. 3** erkennbar, weist der Stromwandler **54** ein Gehäuse **65** auf, in dem der magnetische Kreis **66**, die Sekundärspule **67**, der Magnetfeldsensor **68** und ggf. wenigstens ein Teil der zugehörigen Elektronikschaltung (nicht veranschaulicht) aufgenommen und vor äußerer Einwirkung geschützt sind. Das Stromwandlergehäuse **65** ist aus einem elektrisch isolierenden Werkstoff, z.B. Kunststoff, geschaffen. Das Gehäuse kann gegebenenfalls auch in der Lage sein, elektromagnetische Strahlung abzuschirmen, wozu auch ein Schirmblech außen an dem Gehäuse angebracht sein kann.

**[0057]** Die Nutzung derselben Primärleiter **36, 37, 38, 41** sowohl für die stromkompensierte Drossel **49** als auch für den Messstromwandler **54** ohne Unterbrechung ermöglicht es, diese in sehr enger räumlicher Nähe zueinander anzuordnen. Dadurch kann viel Bauraum auf einer hier angedeuteten Leiterplatte **69** eingespart werden. Dies auch, weil viele ansonsten benötigte Klemmen, Lötstellen oder dgl. entfallen können. Die Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **56** bildet ein vorgefertigtes, im Ganzen handhabbares, auch von einem Automaten bestückbares Bauteil, das sowohl den Leiterplattenplatz als auch den Material- und Montageaufwand reduziert.

**[0058]** Wie ferner aus **Fig. 3** ersichtlich, sind die Primärleiter **36, 37, 38** und **41** ferner durch den Ferritkern **51** hindurchgeführt, der das zusätzliche AC-Störunterdrückungsfilter für höherfrequente Störemissionen bildet. Der Ferritkern **51** ist hier in Form eines Kreisrings oder Hohlzylinders ausgebildet. Es sind aber auch andere Formen des Ferritkerns möglich, die sich von der dargestellten zylindrischen Form unterscheiden. Bspw. können flache Ferritkerne oder anders geformte Ferritperlen verwendet werden. Der Ferritkern **51** kann zum nachträglichen Anbringen um die Leiter auch in Form eines geteilten, rastbaren Ring- oder Flachbandkabelferrits als Klappferrit ausgebildet sein.

**[0059]** Obwohl dies in **Fig. 3** nicht näher dargestellt ist, ist der Ringkern **62** der stromkompensierten Drossel **49** vorzugsweise ein Ringbandkern, also ein gewickelter Kern aus einem vorzugsweise kristallinen Bandmaterial, z.B. aus kornorientiertem Elektroband oder NiFe-Werkstoffen und besonders bevorzugt aus amorphen und nanokristallinen Legierungen. Ein derartiger Ringbandkern weist sehr hohe Permeabilitä-

ten, äußerst niedrige Wirbelstromverluste, eine sehr hohe Sättigungsinduktion und günstige thermische Eigenschaften auf. Andere Werkstoffe, wie Permalloys, Ferrite und amorphe Werkstoffe auf Kobalt-Basis, sind für den Ringkern **62** ebenfalls verwendbar.

**[0060]** Bei der in **Fig. 3** dargestellten vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **56** sind die stromkompensierte Drossel **49**, der Messstromwandler **54** und der Ferritkern **51** mit ihren Durchgangsöffnungen **63, 64** und **71** im Wesentlichen koaxial ausgerichtet. Es ist eine stehende Anordnung dieser Komponenten gewählt, so dass deren Mittel- bzw. Zentralachsen zusammenfallen oder parallel zueinander sowie parallel zu der bspw. horizontalen Ebene der Leiterplatte **69** verlaufen. Die Zuführungs- und Abführungsenden der Primärleiter **36, 37, 38** und **41**, die hier umgebogen und in die Leiterplatte **69** eingeführt sind, sind hier auf unterschiedlichen Seiten der Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **56** positioniert, können aber auch auf der gleichen Seite der Anordnung **56** herausgeführt sein.

**[0061]** In **Fig. 4** ist eine modifizierte Ausführungsform der AC-Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **56** veranschaulicht. Hier ist eine liegende Anordnung der stromkompensierten Drossel **49**, des Messstromwandlers **54** und des Ferritkerns **51** gewählt. Insbesondere liegt hier eine erste, in **Fig. 4** untere Stirnseite **72** der stromkompensierten Drossel **49** auf der Leiterplatte **69** auf, während der Messstromwandler **54** mit einer seiner Stirnseiten auf der zweiten, in **Fig. 4** oberen Stirnseite **73** aufliegt. Die Phasenleiter **36–38** und der Neutralleiter **41** sind vorzugsweise durch die Leiter- bzw. Trägerplatte **69** hindurchgeführt, um den Ringkern **62** gewickelt und ferner durchgängig, in einem Stück durch den Messstromwandler **54** hindurchgeführt, so dass sie durch die Oberseite hindurch aus der Durchgangsöffnung **64** nach außen vorragen. Von hier aus führen die Leiter **36–38, 41** weiter ununterbrochen durch den Ferritkern **51** hindurch, der hier seitlich im Abstand zu der stromkompensierten Drossel **49** und dem Messstromwandler **54**, auf der Leiterplatte **69** abgestützt ist, der jedoch auch oben auf diesen angeordnet sein könnte. Im Übrigen ist der Ferritkern **51** hier, wie auch bei der Ausführungsform nach **Fig. 3** optional.

**[0062]** Auch bei der Ausführungsform nach **Fig. 4** ist es möglich, die Leiter **36–38** und **41** zur gleichen Seite, bspw. in **Fig. 4** nach unten oder nach oben sowohl zu- als auch abzuführen.

**[0063]** Außerdem ist aus **Fig. 4** ein Anschluss **70** hier mit Anschlusspins des Messstromwandlers **54** ersichtlich, die über hier nicht näher bezeichnete Leitungen zum Daten- bzw. Signalaustausch mit der allstromsensitiven Überwachungseinheit **53** bspw. in der Steuerungseinrichtung **34** verbunden sind. Der

Anschluss **70** ist nur exemplarischer Art, und es können auch andere Konfigurationen von Anschlüssen und Mitteln zur Signalübertragung vorgesehen sein. Ein entsprechender Anschluss **70** ist vorzugsweise auch in der Ausführungsform nach **Fig. 3** vorhanden, wengleich hier nicht explizit gezeigt.

**[0064]** In den **Fig. 5** und **Fig. 6** ist eine Ausführungsform einer DC-Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **74** gemäß der Erfindung veranschaulicht. Diese eignet sich insbesondere für die Gleichspannungs(DC)-Eingangsseite des transformatorlosen PV-Wechselrichters. Die Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **74** weist die DC-Entstörfiltereinrichtung **24** mit dem DC-Stromkompensationsfilter **27** und dem optionalen Ferritkern **28** sowie die DC-Stromsensoreinrichtung **26** mit dem Messstromwandler **32** auf, wie bereits im Zusammenhang mit **Fig. 1** erläutert.

**[0065]** Die stromkompensierte Drossel **31** ist ähnlich der stromkompensierten Drossel **49** beschaffen. Sie weist einen Ringkern **76** auf, der vorzugsweise als Ringbandkern aus amorphem nanokristallinem Bandmaterial hergestellt ist und der zwei Wicklungen **77**, **78** trägt. Die Wicklungen **77**, **78** sind gleichsinnig gewickelt, damit sich die Magnetfelder der hin- und rückgeführten Ströme bis auf die asymmetrischen Störströme bzw. Gleichtaktstörströme gegenseitig aufheben. Eine erste Wicklung **77** ist aus einem Wicklungsdraht geschaffen, der auch die erste Anschlussleitung **19** bildet, während die zweite Wicklung **78** aus einem Wicklungsdraht geschaffen ist, der die zweite Anschlussleitung **21** bildet. Wie ferner ersichtlich, sind die Anschlussleitungen **19**, **21** weiter durch den optionalen Ferritkern **28** hindurchgeführt, der den optionalen Filterring zur Unterdrückung höherfrequenter Störemissionen bildet. Der Ferritkern **28** kann hinsichtlich seiner Form und seines Materials ähnlich wie der AC-Ferritkern **51** beschaffen sein. Hinsichtlich der möglichen Form- und Materialvarianten wird, um Wiederholungen zu vermeiden, auf die dortigen Ausführungen verwiesen.

**[0066]** Der Ferritkern **28** ist hier als massiver Ring oder ein Klappferrit mit einer Durchgangsöffnung **79** ausgebildet, durch die die durch die stromkompensierte Drossel **31** hindurch gefädelt Anschlussleitungen **19**, **21** in einem Stück, ohne Unterbrechung hindurchgeführt sind, die dann weiter zu dem Messstromwandler **32** der nachgeschalteten DC-Stromsensoreinrichtung **26** geführt sind. Der Messstromwandler **32** kann im Prinzip ähnlich wie der Messstromwandler **54** als Kompensationssensor mit Magnetsonde aufgebaut sein und funktionieren. Der zugehörige magnetische Kreis, die Sekundärspule und der Magnetfeldsensor zur Erzielung eines Kompensationsstroms zur Kompensation des durch den Primärstrom erzeugten Magnetfeldes sind hier nicht näher veranschaulicht.

**[0067]** Wie aus den **Fig. 5** und **Fig. 6** ersichtlich, weist der Messstromwandler **32** eine hier rechteckige Durchgangsöffnung **81** auf, durch die die erste Anschlussleitung **19** hindurchgeführt ist. Die zweite Anschlussleitung **21** ist an dem Messstromwandler **32** vorbeigeführt. Die Enden der Anschlussleitungen **19**, **21** sind hier umgebogen und in der Leiterplatte **69** verankert.

**[0068]** Wengleich in den **Fig. 5** und **Fig. 6** veranschaulicht ist, dass die Anschlussleitungen **19**, **21** auf einer Seite der Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **74** zu- und abgeführt werden, kann vorgesehen sein, dass die Zu- und Abführung der Leitungen **19**, **21** auf unterschiedlichen Seiten der Anordnung **74** erfolgt.

**[0069]** Ferner ist in **Fig. 5** eine Mischform zwischen stehender und liegender Anordnung der Komponenten gewählt. Die stromkompensierte Drossel **31** ist liegend auf der Träger- bzw. Leiterplatte **69** angeordnet, während der Ferritkern **28** und der Messstromwandler **32** stehend, aufrecht positioniert sind. Die stromkompensierte Drossel **31** könnte aber ebenfalls stehend, wie bspw. bei der AC-Anordnung in **Fig. 3**, ausgerichtet sein. Umgekehrt könnten aber auch der Ferritkern **28** und/oder der Messstromwandler **32** liegend und auch übereinander positioniert sein. Jedenfalls wird stets eine äußerst kompakte Bauform der Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **74** geschaffen, die Bauraum auf einer Leiterplatte, z.B. der Leiterplatte **69** einspart, als vorkonfektionierte Einheit im Ganzen leicht gehandhabt, bspw. auch durch Automaten montiert werden kann und so Material-, Fertigungs- und Montagekosten deutlich reduzieren kann.

**[0070]** Im Rahmen der Erfindung sind zahlreiche Modifikationen bzw. Weiterbildungen möglich. Bspw. kann die Reihenfolge der Komponenten beliebig gewählt werden, so dass der Ferritkern **28** bzw. **51** zwischen dem Messstromwandler **31** bzw. **54** und der stromkompensierten Drossel **31** bzw. **49** oder auch nur auf einer Seite von einer bzw. einem von diesen angeordnet sein kann. Von der Stromflussrichtung aus gesehen, kann der Messstromwandler **32** bzw. **54** stromaufwärts oder stromabwärts von dem Stromkompensationsfilter **27** bzw. **48** angeordnet sein.

**[0071]** Ferner ist in den **Fig. 3** bis **Fig. 6** die Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **56** bzw. **74** veranschaulicht, wie sie auf einer Leiterplatte **69** angeordnet ist. Anstatt einer Leiterplatte kann auch eine Trägerplatte zur Vormontage der Komponenten der Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **56**, **74** verwendet werden. Eine Leiterplatte oder ein Träger kann auch weggelassen werden, so dass die Anordnung **56** bzw. **74** nur die jeweiligen Leiter **36-38**, **41** bzw. **19**, **21** und Komponenten **31**, **32** und optional **28** bzw. **49**, **54** und optional **51** umfassen kann. Diese Komponenten können, um die Handhabung zu er-

leichtern, in einem (hier nicht näher veranschaulichten) gemeinsames Gehäuse untergebracht sein. Es kann auch ein Gehäuse vorgesehen sein, in dem lediglich ein Teil der Komponenten aufgenommen ist.

**[0072]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **74** entweder im Ganzen oder wenigstens bereichsweise mit einem Kunststoff oder dgl. umspritzt, der die Leiter und Baukomponenten in ihrer Position relativ zueinander fixiert. Ein Kunststoff oder dgl. kann auch nur an gezielten Stellen vorgesehen sein, wie bspw. an den Anschlussenden der jeweiligen Leiter **36–38, 41** bzw. **19, 21**, während die übrigen Bauteile freischwebend an den Leitern gehalten sein können.

**[0073]** Wenngleich die vorliegende Erfindung im Zusammenhang mit der Anwendung für transformatorlose PV-Wechselrichter beschrieben ist, versteht es sich, dass die Anordnung auch für andere Wechselrichter, bevorzugterweise transformatorlose Wechselrichter für regenerative Energieerzeugungsanlagen, wie z.B. Windkraftanlagen und andere Anwendungen verwendet werden kann. Unabhängig von der Anwendung kann der Wechselrichter nur eine DC-Stromsensor- und -Entstörfilteranordnung **74**, nur eine AC-Stromsensor- und -Entstörfilteranordnung **56** oder beide enthalten.

**[0074]** Es ist eine Stromsensor- und Entstörfilteranordnung **56; 74** für transformatorlose Wechselrichter für Photovoltaik-, Windkraftanlagen und dgl. geschaffen, die eine Stromsensoreinrichtung **26; 47** zur Erfassung eines elektrischen Stromes, der in wenigstens einem Primärleiter **19, 21; 36, 37, 38** und **41** fließt, und eine Entstörfiltereinrichtung **24; 46** zur Unterdrückung elektromagnetischer Störstrahlung aufweist. Die Stromsensoreinrichtung **26; 47** weist einen Messstromwandler **32; 54** mit einer Durchgangsöffnung **81; 64** auf, durch die der wenigstens eine Primärleiter hindurchgeführt ist, dessen Strom erfasst werden soll. Die Entstörfiltereinrichtung **24; 47** weist eine stromkompensierte Drossel **31; 49** mit einem Ringkern **76; 62** auf, um den Wicklungen **77, 78; 57, 58, 59, 61** aus einem Wicklungsdraht gewickelt sind. Der Messstromwandler **32; 54** und die stromkompensierte Drossel **31; 49** sind in räumlicher Nähe zueinander angeordnet, und der Wicklungsdraht wenigstens einer der Wicklungen **77, 78; 57, 58, 59, 61** der stromkompensierten Drossel **31; 49** ist einstückig, ununterbrochen sowohl durch den Ringkern **76; 62** der stromkompensierten Drossel hindurchgefädelt als auch durch die Durchgangsöffnung **81; 64** des Messstromwandlers **32; 54** hindurchgeführt, um den Primärleiter zu bilden, dessen Strom erfasst werden soll. Die Anordnung ist raumsparend und aufwandsarm zu fertigen und zu montieren.

## Patentansprüche

1. Stromsensor- und Entstörfilteranordnung (**56; 74**), insbesondere für transformatorlose Photovoltaikwechselrichter (**3**), mit einer Stromsensoreinrichtung (**26, 47**) zur Erfassung eines elektrischen Stroms, der in wenigstens einem Primärleiter (**36, 37, 38, 41; 19, 21**) fließt, mittels eines Messstromwandlers (**32, 54**), der eine Durchgangsöffnung (**81, 64**) aufweist, durch die der wenigstens eine Primärleiter (**36, 37, 38, 41; 19, 21**) hindurchgeführt ist, dessen Strom erfasst werden soll; und mit einer Entstörfiltereinrichtung (**24, 46**) zur Unterdrückung elektromagnetischer Störstrahlung mittels einer stromkompensierten Drossel (**31, 49**), die einen Ringkern (**76, 62**) und eine Anzahl um den Ringkern gewickelter Wicklungen (**77, 78; 57, 58, 59, 61**) aus einem Wicklungsdraht aufweist, wobei der Messstromwandler (**32; 54**) und die stromkompensierte Drossel (**31; 49**) in räumlicher Nähe zueinander angeordnet sind und der Wicklungsdraht wenigstens einer der Wicklungen (**77, 78; 57, 58, 59, 61**) der stromkompensierten Drossel (**31; 49**) durchgängig, zusammenhängend durch die Durchgangsöffnung (**81; 64**) des Messstromwandlers (**32, 54**) hindurchgeführt ist, um den Primärleiter (**19; 36, 37, 38, 41**) zu bilden, dessen Strom erfasst werden soll.
2. Stromsensor- und Entstörfilteranordnung (**56**) nach Anspruch 1, wobei der Wicklungsdraht der wenigstens einen der Wicklungen (**77, 78; 57, 58, 59, 61**) der stromkompensierten Drossel (**31; 49**) einstückig, ununterbrochen durch die Durchgangsöffnung (**81; 64**) des Messstromwandlers (**32, 54**) hindurchgeführt ist, um den Primärleiter (**19; 36, 37, 38, 41**) zu bilden, dessen Strom erfasst werden soll.
3. Stromsensor- und Entstörfilteranordnung (**56**) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie für die Wechselspannungs(AC)-Seite eines transformatorlosen Photovoltaik-Wechselrichters (**3**) zur Fehlerstromerkennung und Unterdrückung elektromagnetischer Störstrahlung eingerichtet ist.
4. Stromsensor- und Entstörfilteranordnung (**56**) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromsensoreinrichtung (**47**) einen Teil einer allstromsensitiven Fehlerstrom-Überwachungseinheit (**53**) bildet und der Messstromwandler (**54**) ein Differenzstromsensor ist, durch den im Einsatz wenigstens ein Phasenleiter (**36, 37, 38**) und ein Nullleiter (**41**) an einem AC-Ausgang (**8**) des Wechselrichters (**3**) hindurchgeschleift sind, und der zur Erfassung der Stromdifferenz eingerichtet ist.
5. Stromsensor- und Entstörfilteranordnung (**56**) nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie für ein dreiphasiges System mit drei Phasenleitern (**36, 37, 38**) und einem Neutraleiter (**41**)

eingerrichtet ist, die um den Ringkern (62) der stromkompensierten Drossel (49) gewickelt und durch den Messstromwandler (54) hindurchgeschleift sind.

6. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung (74) nach einem beliebigen der vorhergehenden Anspr6che, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie zur Erfassung eines von einem Photovoltaik-Generator (2) gelieferten Gesamtstroms und zur Unterdr6ckung elektromagnetischer St6rstrahlung auf der Gleichspannung(DC)-Seite eines transformatorlosen Photovoltaik-Wechselrichters (3) eingerichtet ist.

7. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit dem Photovoltaik-Generator (3) zu verbindende Anschlussleitungen (19, 21) um den Ringkern (76) der stromkompensierten Drossel (31) gewickelt sind und eine Anschlussleitung (19) durch den Messstromwandler (32) hindurchgeschleift ist, w6hrend die andere Anschlussleitung (21) an dem Messstromwandler (32) vorbeigef6hrt ist.

8. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung (56; 74) nach einem beliebigen der vorhergehenden Anspr6che, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromsensoreinrichtung (26; 47) nach dem Kompensationsprinzip arbeitet und der Messstromwandler (32; 54) einen magnetischen Kreis (66), eine wenigstens einen Abschnitt des magnetischen Kreises umgebende Sekund6rspule (67) und einen Magnetfeldsensor (68) aufweist.

9. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung (56; 74) nach einem beliebigen der vorhergehenden Anspr6che, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Messstromwandler (32; 54) in einem Stromwandlergeh6use (65) aufgenommen ist, das eine Durchgangs6ffnung (64) f6ur den oder die Prim6rleiter aufweist.

10. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung (56; 74) nach einem beliebigen der vorhergehenden Anspr6che, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ringkern (76; 62) der stromkompensierten Drossel (31; 49) ein Ringbandkern ist, das aus einem amorphen nanokristallinen Bandmaterial hergestellt ist.

11. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung nach einem beliebigen der vorhergehenden Anspr6che, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie ferner einen Ferritkern (28; 51) zur Unterdr6ckung h6oherfrequenter St6rstrahlung aufweist, der 6uber den zu der stromkompensierten Drossel (31; 49) gef6uhrten Prim6rleitern (36, 37, 38, 41; 19, 21) angeordnet ist und diese umschlie6t.

12. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung (56; 74) nach einem beliebigen der vorhergehenden Anspr6che, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine stehende Anordnung bildet, bei der die stromkom-

pensierte Drossel (31; 49) und der Messstromwandler (32; 54) in aufrechter Stellung nebeneinander angeordnet sind.

13. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung (56; 74) nach einem beliebigen der Anspr6che 1–11, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine liegende Anordnung bildet, bei der die stromkompensierte Drossel (31; 49) und der Messstromwandler (32; 54) in horizontaler Stellung wenigstens abschnittsweise 6uber einander angeordnet sind.

14. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung nach einem beliebigen der vorhergehenden Anspr6che, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie ein wenigstens einige der Komponenten (28, 31, 32; 49, 51, 54) aufnehmendes Geh6use aufweist.

15. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung (56; 74) nach einem beliebigen der vorhergehenden Anspr6che, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie wenigstens bereichsweise mit einem isolierenden Material, vorzugsweise Kunststoff, umgeben, vorzugsweise umspritzt ist.

16. Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung nach einem beliebigen der vorhergehenden Anspr6che, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine durch Automaten best6ckbare Baueinheit bildet.

17. Transformatorloser Photovoltaik-Wechselrichter mit wenigstens einer Stromsensor- und Entst6rfilteranordnung (56; 74) nach wenigstens einem der vorhergehenden Anspr6che.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen





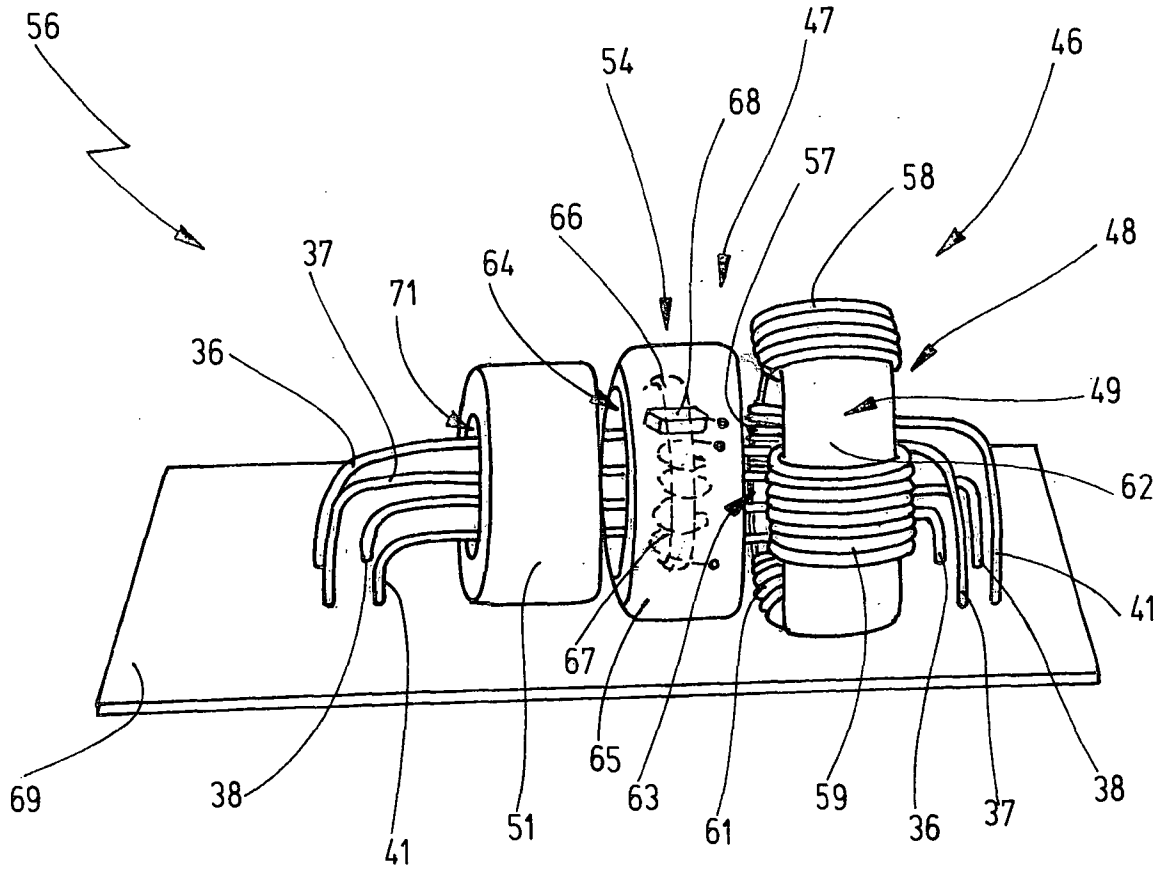


Fig.3

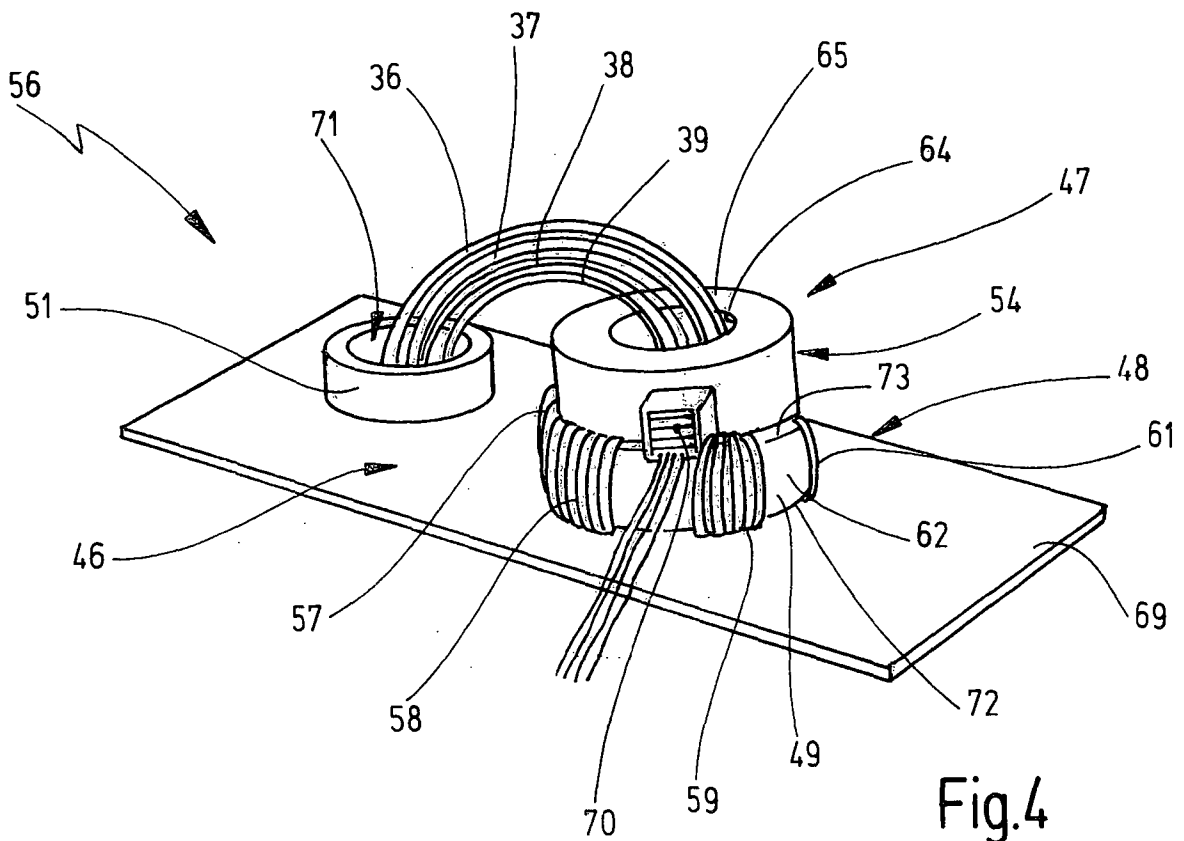


Fig.4

