

(19)



(11)

EP 2 927 918 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
07.10.2015 Patentblatt 2015/41

(51) Int Cl.:
H01F 37/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15160023.6**

(22) Anmeldetag: **20.03.2015**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA

(30) Priorität: **03.04.2014 DE 102014206469**

(71) Anmelder: **SUMIDA Components & Modules GmbH**
94130 Obernzell (DE)

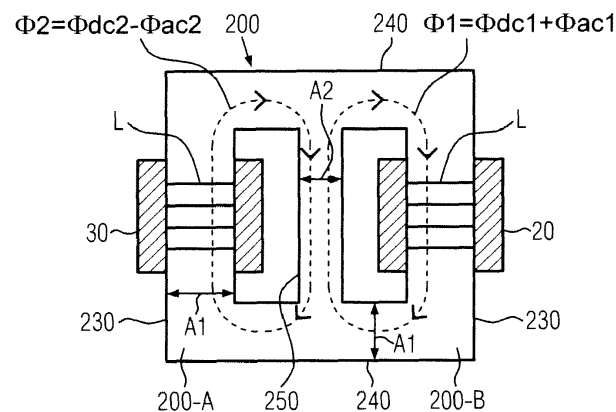
(72) Erfinder:
• **Winkler, Johann**
94116 Hutthurm (DE)
• **Ludwig, Robert**
94060 Pocking (DE)
• **Jungwirth, Herbert**
94051 Hauzenberg (DE)
• **Holzinger, Ernst**
94167 Tettenweis (DE)
• **Kebaisy, Iyad**
94034 Passau (DE)

(74) Vertreter: **Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB**
Leopoldstraße 4
80802 München (DE)

(54) Drossel und Drosselkern

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Drossel mit zwei Spulen (20, 30) und einem Kern (200) für interleaved Anwendungen bei Hochsetzsteller- oder Tiefsetzstellerschaltungen oder Leistungskorrekturfiltern (englisch: power factor correction oder power factor compensation, PFC). Der Kern (200) umfasst mehrere Kernabschnitte mit mehreren Außenschenkeln (230, 240, 240-A, 240-B, 240-C, 240-D) und einem Mittelschenkel (250, 350, 450), wobei der Kern (200) so ausgestaltet ist, dass ein Kopplungsfaktor k der zwei Spulen (20, 30) kleiner

als 3% - 5% ist. Weiterhin ist der Kern (200) so ausgestaltet, dass die Kernabschnitte zwei Schleifen mit dem Mittelschenkel als einem gemeinsamen Abschnitt bilden, wobei jede der zwei Spulen (20, 30) auf unterschiedlichen Schleifen außerhalb des gemeinsamen Abschnitts liegt. Die Außenschenkel (230, 240, 240-A, 240-B, 240-C, 240-D) weisen einen Querschnitt $A1$ auf und der Mittelschenkel (250, 350, 450) für den gemeinsamen Abschnitt weist einen Querschnitt $A2 < 2 \times A1$ auf.

**FIG. 4****EP 2 927 918 A2**

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Drossel mit zwei Spulen und einem Kern, die zur Verwendung bei Hochsetzsteller- oder Tiefsetzstellerschaltungen oder Leistungskorrekturfiltern (englisch: power factor correction oder power factor compensation, PFC) in Interleaved Konfiguration optimiert wurde. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung einen optimierten Doppelspulen Kern für interleaved Anwendungen bei Hochsetzsteller- oder Tiefsetzstellerschaltungen oder Leistungskorrekturfiltern (englisch: power factor correction oder power factor compensation, PFC).

[0002] Unter dem Begriff "Drossel" wird im Folgenden eine Anordnung aus einer oder mehreren Spulen, die auf einem gemeinsamen Kern sitzen, verstanden.

[0003] Unter einem Hochsetzsteller- oder Tiefsetzsteller wird eine Schaltung verstanden, die eine Gleichspannung höher oder tiefer setzen kann. Hochsetzsteller und Tiefsetzsteller arbeiten nach ähnlichen Prinzipien wie Leistungskorrekturfilter und verwenden teilweise die gleichen Komponenten.

[0004] Eine Leistungsfaktorkorrektur ist seit dem 1. Januar 2001 mit der EMV-Norm für elektrische Verbraucher ab 75 Watt in Deutschland vorgeschrieben. Unter Leistungsfaktor wird das Verhältnis des Betrags der Wirkleistung zum Betrag der Scheinleistung verstanden. Ein Wert kleiner als 1 bedeutet, dass die Scheinleistung, die aus dem Netz bezogen wird, größer als die Wirkleistung ist, so dass das Netz zusätzlich durch Blindleistung belastet wird, die bereitgestellt und transportiert werden muss, und die teilweise über die Netze wieder zurückfließen muss. Dadurch treten höhere Verluste im Netz auf und das Netz muss größer dimensioniert werden als eigentlich nötig ist. Leistungsfaktorkorrekturfilter sorgen dafür, dass der Leistungsfaktor möglichst nahe bei 1 liegt, d.h., dem Versorgungsnetz wird nur reine Wirkleistung entnommen. Bei einer aktiven Leistungsfaktorkorrektur (power factor correction PFC) wird der aufgenommene Strom dem zeitlichen Verlauf der sinusförmig verlaufenden Netzspannung nachgeregelt.

[0005] Ein zentrales Bauteil von Hochsetzstellern, Tiefsetzstellern und PFCs ist eine Drossel, mit der im Prinzip Energie zwischengespeichert wird und dann bei Bedarf wieder abgegeben wird. Die folgenden Erklärungen beschränken sich auf die Anwendung der Drossel in PFC Filtern. Ähnliche Überlegungen gelten aber auch für Hochsetzsteller und Tiefsetzsteller.

[0006] Ein der Drossel nachgeschalteter Schalter, der den Spulenausgang auf ein Bezugspotential legen kann, wird von einer Regeleinrichtung so geöffnet und geschlossen, dass einerseits genügend Leistung an den Verbraucher abgegeben wird und andererseits der dem Netz entzogene Strom der Netzspannungskurve gleichphasig folgt.

[0007] In einer Weiterentwicklung wird die Eingangsleistung auf zwei Spulen, die unabhängig voneinander geschaltet werden können, aufgeteilt. Im Allgemeinen

werden die Schalter invers zueinander betrieben, d.h. wenn der eine Schalter geöffnet ist, ist der andere Schalter geschlossen. Bei einer solchen "Interleaved" Betriebsweise wird ein Drosselzweig (Master) von der Regelschaltung direkt gesteuert, d.h. die Schaltzeiten für die Drossel werden direkt von der Regelung bestimmt. Der zweite Drosselzweig (Slave) folgt in der Regel dem Master um 180 Grad Phasen verschoben. Eine solch verschränkt (interleaved) arbeitende Anordnung hat den Vorteil, dass eine effizientere Leistungsfaktorkorrektur erzielt werden kann. Da jede Drossel nur die halbe Ausgangsleistung bewältigen muss, können kleinere Bauelemente dimensioniert werden, so dass Verlustleistung und Wärmeentwicklung verbessert wird und kompaktere PFC-Schaltungen möglich werden. Zu beachten ist, dass eine korrekte Funktionsweise auch bei anderen Phasenlagen $< 180^\circ$ möglich ist. Das heißt, dass die Phasenlage im allgemeinen variabel sein kann. Allerdings operiert die Mehrzahl der Anwendungen mit einer Phasenlage von 180° .

[0008] Aktive PFC-Schaltungen bestehen gewöhnlich aus einem Gleichrichter mit direkt nachgeschaltetem Hochsetzsteller mit einer Spule und einem Schalter, der einen großen Kondensator auf eine Spannung oberhalb der Scheitelspannung der Netzwechselspannung auflädt. Abbildung 1 a zeigt schematisch das Prinzip eines Hochsetzstellers in Interleaved-Technik. Am Eingang wird die Eingangsspannung V_{IN} an die zwei Drosselspulen L1 und L2 angelegt und der Eingangsstrom I_{IN} auf die zwei Drosseln aufgeteilt. Am Ausgang jeder Spule bzw. Drosseln L1 und L2 kann jeweils ein Schalter S1 bzw. S2 den Ausgang der Spule L1 bzw. L2 von einer Regelungsschaltung (nicht gezeigt) gesteuert auf ein Bezugspotential legen. Die Ausgänge der Spulen L1 bzw. L2 werden über jeweils eine Diode mit einem Kondensator C_{OUT} verbunden, der in Zusammenspiel mit den Spulen L1 und L2 die Spannung hochsetzt (Hochsetzsteller) und glättet, so dass sie an einen Lastwiderstand R_{LOAD} abgegeben werden kann.

[0009] Die Öffnungs- und Schließzeiten des Schalters S1 werden von einer Regelung bestimmt (Master), die dafür sorgt, dass einerseits für den Verbraucher R_{LOAD} ausreichend Strom I_{OUT} zur Verfügung steht und andererseits der Eingangsstrom I_{IN} phasenrichtig der Eingangsspannung V_{IN} folgt. Der Schalter S2 folgt dem Schalter S1 um 180 Grad Phasen verschoben (Slave). Damit erfolgt im Prinzip eine Pulsweitenmodulation des Eingangsstroms, bei der die Pulsweite von dem Regler gesteuert wird. Fig. 1 b zeigt das Schaltverhalten der Schalter S1 und S2. Die Zeit, in der der Schalter S1 geschlossen ist, wird mit T_{on} bezeichnet und ist je nach Regelung variabel. In der Zeit, in der der Schalter S1 geschlossen ist, ist der Schalter S2 geöffnet (180 Grad Phasenverschiebung). Die Gesamtzeit, die sich aus der Summe der Zeit T_{on} , in der der Schalter S1 geschlossen ist, und der Zeit T_{off} , in der der Schalter geöffnet ist, ergibt, wird Periode T genannt und ist konstant. Das Tastverhältnis (duty cycle) $D = T_{on}/T$ ist variabel und von der

Regelung abhängig. In der Figur 1b ist ein Tastverhältnis D von konstant 0,5 dargestellt.

[0010] Fig. 1c zeigt die Ströme I_1 und I_2 durch die Spulen L_1 und L_2 . Der Strom I_1 durch die Spule L_1 setzt sich aus einer Gleichstromkomponente I_{dc1} und einer Rippelkomponente i_{ac1} , verursacht durch die Schaltvorgänge, zusammen. Entsprechend setzt sich der Strom I_2 durch die Spule L_2 aus einer Gleichstromkomponente I_{dc2} und einer Rippelkomponente i_{ac2} (Wechselstromkomponente durch Schaltvorgänge) zusammen. Da die Schalter um 180 Grad Phasen verschoben geschaltet werden, ist die Phasenverschiebung zwischen i_{ac1} und i_{ac2} 180 Grad. Am Kondensator C_{OUT} werden die Ströme I_1 und I_2 addiert. D. h. die gesamte Gleichstromkomponente ergibt sich zu $I_{dc} = I_{dc1} + I_{dc2}$. Da $I_{dc1} = I_{dc2} = I_{IN}/2$ ergibt sich I_{dc} zu $I_{dc} = I_{IN}$. Für die gesamte Rippelstromkomponente (Wechselstromkomponente) ergibt sich $i_{ac} = i_{ac1} - i_{ac2}$, da i_{ac1} und i_{ac2} um 180° Phasen verschoben sind. Dies gilt jedoch nur für ein Tastverhältnis von $D = 0,5$, also für $t_{on} = t_{off}$. D.h. bei einem Tastverhältnis $D = 0,5$ kompensieren sich die Rippelstromkomponenten. Bei anderen Tastverhältnissen kompensieren sich die Rippelströme nicht genau. In jedem Fall wird aber bei einem Interleaved Design die Rippelstromkomponente insgesamt verringert, so dass ein glatterer Spannungsverlauf erreicht wird.

[0011] Zu beachten ist, dass bei 180°C Phasenverschiebung das Rippelflussmaximum im Mittelschenkel bei einem Tastverhältnis $D=0,5$ auf tritt. Die Interleaved-Drossel funktioniert aber auch bei anderen Phasenlagen $< 180^\circ$. Hier verschiebt sich nur das Tastverhältnis D bei dem das Maximum des Wechselflussrippels auftritt. Das heißt, dass die Phasenlage im allgemeinen variabel sein kann. Allerdings operiert die Mehrzahl der Anwendungen mit einer Phasenlage von 180°.

[0012] Drosseln zum Einsatz in interleaved Hochsetzstellern und PFC Stufen sind aus dem Stand der Technik bekannt. Im einfachsten Fall werden zwei Spulen auf einen gemeinsamen Kern gewickelt, wie beispielsweise in dem US Patent US 6,362,986 B1 der Firma Volterra gezeigt wird. Fig. 2 zeigt schematisch die Spulenanordnung dieses Patents mit den Schaltern 40 für den interleaved Betrieb. Die beiden Spulen 20 und 30 sind auf einem gemeinsamen ringförmigen Kern 10 angeordnet, d.h. das Spulenpaar 20, 30 arbeitet mit starker magnetischer Kopplung, ähnlich einem Transformator. Da sich die magnetischen Flüsse aus den Spulen addieren, sind die Kerngeometrien entsprechend groß, um einerseits eine hohe magnetische Leitfähigkeit zu erreichen und andererseits den Kern nicht bis zur Sättigungsmagnetisierung belasten.

[0013] Das US Patent 8,217,746 B2 beschreibt eine Weiterentwicklung einer Drosselspule für Interleaved PFC-Schaltkreise, in denen der Spulenkern für die beiden Spulen so ausgebildet ist, dass die beiden Spulen nur schwach magnetisch gekoppelt sind. Fig. 3 zeigt eine schematische Ansicht der Spulen- und Kernkonfiguration der US 8,217,746 B2. Der Kern besteht aus zwei E-

förmigen Teilen 110 und 120, die durch ein I-förmiges Teil 130 voneinander getrennt sind. Die Spulen 20 und 30 sind auf die Mittelschenkel der E-förmigen Teile 110 und 120 aufgewickelt. Da sich der magnetische Fluss ϕ_1 bzw. ϕ_2 in den Spulen 20 bzw. 30 vom Mittelschenkel der E-förmigen Teile auf die beiden Außenschenkel der E-förmigen Teile aufteilt, kann der Querschnitt A_2 der Außenschenkel halb so groß wie der Querschnitt A_1 im Mittelschenkel sein. Da die Spulen 20 und 30 gegenphasig gewickelt bzw. angeschlossen werden, heben sich die Gleichstromanteile der magnetische Flüsse ϕ_1 und ϕ_2 der Spulen 20 und 30 im I-förmigen Teil 130 weitgehend auf, so dass der Querschnitt des I-förmigen Teils 130 auch kleiner gehalten werden kann, als der Querschnitt A_1 im Mittelschenkel der E-förmigen Teile 110 und 120. Durch das Zusammenfügen der zwei E-förmigen Teile 110 und 120 und des I-förmigen Teils 130 entstehen an den Stossstellen Luftspalte 140.

[0014] Im Hinblick auf neue Energiespartechiken, beispielsweise in der Automobiltechnik im Bereich der Hybrid- und Elektrofahrzeuge gibt es einen zunehmenden Bedarf an Drosseln für interleaved PFC Schaltungen mit geringem Gewicht und hoher Effizienz um einerseits Energie zu sparen (Gewicht) und andererseits Energie effizient zu übertragen, beispielsweise, wenn Bewegungsenergie in Elektromobilen oder Hybridmobilen mit einem Generator zurückgewonnen wird und in das Bordnetz eingespeist wird. Es ist deshalb eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Drossel mit einer optimierten Kerngeometrie für ein Drosselspulenpaar zur Anwendung in interleaved PFC-Anwendungen bereitzustellen, das kompakt ist, und geringe Verluste und ein geringes Gewicht aufweist.

[0015] Die Aufgabe wird gelöst mit einer Drossel mit zwei Spulen und einem Kern gemäß Patentanspruch 1.

[0016] Insbesondere wird die Aufgabe gelöst durch eine Drossel mit zwei Spulen und einem Kern, die dadurch gekennzeichnet ist, dass der Kern mehrere Kernabschnitte mit mehreren Außenschenkeln und einem Mittelschenkel umfasst, wobei der Kern so ausgestaltet ist, dass die Kernabschnitte zwei Schleifen mit dem Mittelschenkel als einen gemeinsamen Abschnitt bilden, wobei jede der zwei Spulen auf unterschiedlichen Schleifen außerhalb des gemeinsamen Abschnitts liegt, dass die Außenschenkel einen Querschnitt A_1 aufweisen, und dass der Mittelschenkel für den gemeinsamen Abschnitt einen Querschnitt $A_2 < 2 \times A_1$ aufweist.

[0017] Mit dieser Anordnung ist ein Kopplungsfaktor k der zwei Spulen von kleiner als 5%, bevorzugter kleiner als 3% und noch bevorzugter kleiner als 1% realisierbar, wodurch die Kernquerschnitte in den Außenschenkeln kleiner gehalten werden können, da sich die Magnetfelder der Spulen in den Außenschenkeln nicht mehr überlappen. Weiterhin hebt sich der magnetische Fluss, der der Gleichstromkomponente entspricht, der beiden Spulen im gemeinsamen Abschnitt auf, so dass der Querschnitt des gemeinsamen Abschnitts klein gemacht werden kann und damit Material gespart werden kann. Da

die Spulen nicht koaxial wie in der US 8,217,746 B2 angeordnet sind, sondern auf den Außenschenkeln sitzen, wird weniger Material für den Kern benötigt, wodurch sich eine Gewichtersparnis ergibt. Dies erreicht man z.B. dadurch, dass die zwei Spulen auf zwei gegenüberliegenden Außenschenkeln angeordnet sind.

[0018] In einer Ausführungsform liegt der Querschnitt A2 im Bereich 0,5 A1 bis 0,2 A1, so dass weiter Gewicht reduziert werden kann.

[0019] Um einen Kopplungsfaktor von weniger als 5%, 3% oder 1 % zu erreichen, wird der Kern so ausgelegt, dass der magnetische Widerstand in zumindest einem der Außenschenkel R_{MA} größer ist als der magnetische Widerstand des Mittelschenkels R_{MI} , wobei $R_{MA} > 20 R_{MI}$ (5%), $R_{MA} > 33 R_{MI}$ (3%) bzw. $R_{MA} > 100 R_{MI}$ (1%) ist.

[0020] In einer Ausführungsform wird für den Kernabschnitt im Mittelschenkel ein Material mit hoher Permeabilität verwendet um die Verkopplung zwischen den beiden Wicklungen, bzw. deren Flüssen, gering zu halten. In den Außenschenkeln wird ein Material mit hoher Sättigungsflussdichte bevorzugt um den magnetischen Querschnitt der Außenschenkel gering zu halten.

[0021] Diese Ausführungsform mit unterschiedlichen Materialien für Außenschenkel und Mittelschenkel ist nur für bestimmte Fälle vorteilhaft, wo eine zu große Kopplung zwischen den beiden Wicklungen und hohe Verluste im Mittelschenkel vermieden werden sollen. Eine hohe Permeabilität ist im Allgemeinen jedoch nicht unbedingt notwendig, da der Kern gesichert ist. Gängige Leistungsferrite die verwendet werden können, haben i.a. eine Anfangspermeabilität μ_i von 1000 bis 3000. Eine hohe Permeabilität im Mittelschenkel ist vorteilhaft da die Kopplung verringert wird. Der Einfluss der Permeabilität der Außenschenkel auf die Kopplung ist vernachlässigbar, da hier der Luftspalt den magnetischen Widerstand dominiert. Im Mittelschenkel wird man damit eher ein hochpermeables Material verwenden. Da hier die Verluste durch die erhöhte Wechselflussaussteuerung aufgrund der Querschnittsreduzierung dominieren, wird man den Mittelschenkelquerschnitt meist nicht bis zur Sättigungsgrenze verringern können, so dass hier vorteilhaft auch ein verlustärmeres Material mit etwas geringerer Sättigungsflussdichte verwendet wird. Im Außenschenkel wird man, wie bei einer normalen Drossel, ein Material mit hoher Aussteuerung und noch tolerierbaren Verlusten auswählen. In den meisten Anwendungsfällen kann der gesamte Kern aus einem Material bestehen. Nur in bestimmten Fällen (zu große Kopplung, hohe Verluste im Mittelschenkel) wird man zu unterschiedlichen Materialien für Außenschenkel und Mittelschenkel greifen.

[0022] Um einen 100-fach größeren magnetischen Widerstand in einem Außenschenkel gegenüber dem Mittelschenkel zu erreichen, kann in einer Ausführungsform der Außenschenkel einen Luftspalt aufweisen, der vorzugsweise in dem Bereichen der Spulen angeordnet ist.

[0023] Um die erfindungsgemäße Kerngeometrie zu erreichen, sind verschiedene Ausführungsformen möglich.

[0024] In einer Ausführungsform werden die Kernabschnitte aus zwei E-förmigen Teilen gebildet, die so zusammengefügt werden, dass deren freien Enden aneinander stoßen, so dass die zusammengefügteten Mittelschenkel der zwei E-förmigen Teile den gemeinsamen Abschnitt bilden. Mit dieser Konfiguration ist eine kürzere und damit kompaktere Bauform möglich als beispielsweise in der US 8217746 gezeigt ist.

[0025] In einer anderen Ausführungsform werden die Außenschenkel aus zwei U-förmigen Teilen gebildet, die so zusammengefügt werden, dass deren freien Enden aneinander stoßen, so dass ein magnetischer Kreis entsteht, wobei der Mittelschenkel für den gemeinsamen Abschnitt T-förmig ist und zwischen den zwei Spulen in den magnetischen Kreis so eingefügt ist, dass der magnetische Kreis kurz geschlossen wird, so dass der magnetische Kreis in die zwei magnetisch schwach gekoppelten Schleifen unterteilt wird. Neben der kompakten Bauform weist diese Ausführungsform den weiteren Vorteil auf, dass beim Zusammenfügen von je zwei Formteilen nur zwei Flächen aneinander stoßen im Gegensatz zum E-förmigen Formteil, bei dem drei Flächen aneinander stoßen. Bei drei aneinander stossende Flächen müssen die Formteile sehr präzise gefertigt sein, um unkontrollierte Luftspalte zu vermeiden. Aufgrund von Fertigungstoleranzen sind diese Luftspalte nahezu unvermeidlich. Bei zwei aneinander stossende Flächen wie bei den U-förmigen Teilen und dem T-förmigen Teil tritt dieser Effekt jedoch nicht auf, so dass mit dieser Ausführungsform Drosseln mit geringeren Toleranzen hergestellt werden können.

[0026] In einer Ausführungsform davon entspricht eine Höhe H2 eines vertikalen Teils des T-förmigen Mittelschenkels einer Höhe H1 des Außenschenkels. Weiterhin entspricht eine Breite B2 des vertikalen Teils des T-förmigen Mittelschenkels einem lichten Abstand zwischen den zwei Spulen und eine Tiefe T2 des vertikalen Teils des T-förmigen Kernabschnittes entspricht einem Innenabstand T1 von gegenüberliegenden Außenschenkeln des magnetischen Kreises. Dies trägt zu einer kompakten Bauform bei, da der Raum zwischen den Spulen innerhalb des magnetischen Kreises spielfrei ausgefüllt wird und damit vollständig für den magnetischen Fluss nutzbar ist. In einer weiteren Ausführungsform davon liegt ein horizontaler Teil des T-förmigen Mittelschenkels auf einem Außenschenkel auf. Insgesamt erlaubt die T-förmige Ausbildung des Mittelschenkels eine einfache und präzise Positionierung des magnetischen Kurzschlusses zwischen den beiden Spulen. Durch die Auflageflächen, die durch den horizontalen Teil des T-förmigen Mittelschenkels gebildet werden, wird der Mittelschenkel präzise bis zur korrekten Tiefe in den magnetischen Kreis eingeführt.

[0027] In einer weiteren Ausführungsform werden die Außenschenkel aus zwei U-förmigen Teilen gebildet, deren freie Enden jeweils gegenüber liegen und voneinander durch einen geraden langgestreckten Kernabschnitt, der als Mittelschenkel dient, spielfrei getrennt sind, so

dass die zwei Schleifen mit dem Mittelschenkel als gemeinsamen Abschnitt entstehen, die zwei miteinander schwach gekoppelte magnetische Kreise bilden. Ein gerader langgestreckter Kernabschnitt, der als Mittelschenkel dient, hat gegenüber einem T-förmigen Kernabschnitt den Vorteil, dass Microluftspalte, die zwischen den T-Teil und den Außenschenkeln entstehen, vermieden werden. Dadurch wird die Kopplung zwischen den Magnetkreisen reduziert. Gleichzeitig kann durch diesen Aufbau die Toleranz in den Außenluftspalten bzw. in den Außenschenkeln abgefangen werden, da der Mittelschenkel jetzt flexibel an die Außenschenkel bzw. Seitenplatten geklebt werden kann. Geringe Überstände des Mittelschenkels sind kein Problem und auch ein etwas kürzerer Mittelschenkel beeinflusst den Flussverlauf von den Außenschenkeln in den Mittelschenkel nur unwesentlich. In einer Ausführungsform wird jedes U-förmige Teil oder E-förmige Teil aus mehreren geraden Stücken zusammengefügt. Diese geraden Stücke können beispielsweise zusammengeklebt werden, so dass Toleranzen aufgrund von unkontrollierten Microluftspalten reduziert werden.

[0028] In einer Ausführungsform werden die Kernabschnitte aus einem Plattenstapel aus weichmagnetischem Material hergestellt. Mit dieser Technik können auf einfache Weise beliebige Kernformen mit geringem technischen Aufwand realisiert werden.

[0029] Die weiter oben genannte Aufgabe wird auch durch einen Drosselkern gelöst, der mehrere Kernabschnitte bestehend aus mehreren Außenschenkeln und einem Mittelschenkel umfasst. Die Kernabschnitte sind dabei so angeordnet, dass die Kernabschnitte zwei Schleifen mit dem Mittelschenkel als einen gemeinsamen Abschnitt bilden, um zwei schwach gekoppelte magnetische Kreise zu bilden, wobei die Außenschenkel einen Querschnitt A1 aufweisen und wobei der Mittelschenkel für den gemeinsamen Abschnitt einen Querschnitt A2 kleiner als $2 \times A1$ aufweist.

[0030] Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele, Weiterbildungen, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung anhand der beigefügten Figuren näher erläutert. Dabei sind alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination grundsätzlich Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbeziehung. Auch wird der Inhalt der Ansprüche zu einem Bestandteil der Beschreibung gemacht. In den Figuren zeigt:

Fig. 1 das Prinzip eines Hochsetzstellers in interleaved-Technik;

Fig. 2 ein erstes Beispiel für eine Drossel zur Verwendung in einer PFC-Vorrichtung gemäß dem Stand der Technik;

Fig. 3 ein zweites Beispiel für eine Drossel zur Anwendung in einer PFC-Vorrichtung gemäß dem Stand der Technik;

Fig. 4 das Prinzip einer Drossel für PFC-Anwendungen gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 eine erste Ausführungsform einer Drossel für PFC-Anwendungen gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6a eine Draufsicht einer zweiten und dritten Ausführungsform für eine Drossel für PFC-Anwendungen gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6b eine perspektivische Ansicht der zweiten Ausführungsform der Drossel gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6c eine andere perspektivische Ansicht der zweiten Ausführungsform der Drossel gemäß der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 6d eine perspektivische Ansicht einer dritten Ausführungsform der Drossel für PFC-Anwendungen gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0031] Die vorliegende Erfindung erfolgte, um neue Drosseln mit einer optimierten kompakten Kerngeometrie für PFC-Anwendungen mit Interleaved-Topologie bereitzustellen. Insbesondere bei der wachsenden Elektromobilität, Technologie mit Elektrofahrzeugen (EV, electric vehicle) und Hybridelektrofahrzeugen (HEV, hybrid electric vehicle) werden neue, kompakte, d.h. mit geringem Gewicht, Drosseln und Drosselkerne erforderlich, die auch bei höheren Frequenzen ab 100 kHz verwendet werden können.

[0032] Fig. 4 zeigt das Prinzip der vorliegenden Erfindung. Zwei Spulen 20 und 30 sitzen auf einem optimierten Kompaktkern 200, der aus mehreren Außenschenkeln 230 und 240 und einem Mittelschenkel 250 besteht. Die Außenschenkel setzen sich aus zwei Spulen tragenden Außenschenkeln 230 und zwei seitlichen Außenschenkeln 240, die als Verbindungselemente der Spulen tragenden Außenschenkeln 230 dienen, zusammen, die einen magnetischen Kreis bilden. Der Mittelschenkel 250, der parallel zu den Spulen tragenden Außenschenkeln 230 verläuft, und der etwa die Mitten der seitlichen Außenschenkel 240 verbindet, erzeugt einen magnetischen Kurzschluss zwischen den Verbindungselementen 240 und unterteilt den magnetischen Kreis in zwei Schleifen 200-A und 200-B. Die Außenschenkel weisen einen Querschnitt A1 auf. Der Mittelschenkel weist einen Querschnitt A2 kleiner als $2 \times A1$ auf. In der PFC-Anwendung werden die Spulen 20 und 30 so angeschlossen, dass der Gleichstromanteil des magnetischen Flusses im Mittelschenkel 250 gegenläufig ist und sich somit kompensiert. Durch den kompensierten DC-Fluss (Gleichstromfluss) kann der Querschnitt des Mittelschenkels stark verringert werden. Der Wechselstrom der Spulen 20 und 30

addiert sich jedoch im Mittelschenkel im Wesentlichen, da die Wechselflussamplituden durch die gegenphasige Pulsweitenmodulation (siehe Abb.1 c) der PFC-Regelung sich im Mittelschenkel aufgrund der umgekehrten Polung der Spulen 20 und 30 addieren. Bei einem Tastverhältnis von $D = 0,5$, d.h. $T_{on} = T_{off}$ ist der maximale Wechselfluss $\Phi_{AC\ max} = \Phi_{ac1}$ (Wechselfluss durch die Spule 20) + Φ_{ac2} (Wechselfluss durch die Spule 30). Bei anderen Tastverhältnissen verkleinert sich die maximale Wechselflussamplitude durch den Mittelschenkel 250. Werden die Außenschenkel 230 und 240 bis zu einer Sättigungsflussdichte B_{satt} von gängigen Ferritmaterialien von 350-400 mT betrieben und wird das Verhältnis des Ripplestroms I_{ac} zum Gesamtstrom $I_{ac} + I_{dc}$ auf einen Wert zwischen 0,1 und 0,5 eingestellt, kann der minimale Querschnitt A2 des Mittelschenkels 250 das 0,2 fach bis zum einfachen des Querschnittes A1 der Außenschenkel betragen. Vorzugsweise werden die PFC-Stufen so eingestellt, dass A2 im Bereich von $1 \times A1$ bis $0,2 \times A1$ liegt.

[0033] Um eine kleine Kopplung zwischen den Spulen 20 und 30 zu erreichen, sollte der magnetische Widerstand R_{MA} in den Außenschenkeln 100 mal so hoch sein wie der magnetische Widerstand R_{MI} im Mittelschenkel. Der Kopplungsfaktor ergibt sich aus $k = R_{MI} / R_{MA}$, wobei R_{MI} der magnetische Widerstand im Mittelschenkel ist und R_{MA} der magnetische Widerstand in den Außenschenkeln ist. Trotz kleinerem Querschnitt A2 des Mittelschenkels 250 wird dies leicht durch Luftspalte L erreicht, die beispielsweise in den Außenschenkeln 230 in dem Bereich der Spulen 20 und 30 eingearbeitet sein können, und die verhindern, dass ein relativ großer Gleichstromanteil durch die Spulen den Kern in den Außenschenkeln in die Sättigung treibt. Durch die geringe magnetische Kopplung dringen die Magnetfelder der Spule 20 nicht in den Kernbereich der Außenschenkel der Spule 30 ein und umgekehrt, wie das bei einer starken Kopplung der Fall wäre. Im Fall einer starken magnetischen Kopplung würden sich die Magnetfelder der Spulen zumindest teilweise verstärken, so dass die Sättigungsmagnetisierung in den Außenschenkeln schneller erreicht wäre. d.h., bei einer starken magnetischen Kopplung der Spulen 20 und 30 müsste der Kernquerschnitt der Außenschenkel größer dimensioniert werden. Allgemein ist es jedoch vorteilhaft, Materialien im Mittelschenkel mit einem geringen magnetischen Widerstand (große Permeabilität) und im Außenschenkel mit einer hohen Sättigungsmagnetisierung zu verwenden.

[0034] Fig. 5 zeigt eine Umsetzung der vorliegenden Erfindung gemäß einer ersten Ausführungsform mit zwei E-förmigen Formteilen 210 und 220, die so zusammengefügt werden, dass deren freien Enden aneinander stoßen. Zur Verdeutlichung der E-Form zeigt die Darstellung in der Fig. 5 größere Lücken L1, L2 und L3 zwischen den freien Enden der zwei E-förmigen Teile 210 und 220. Bei der Umsetzung in der Praxis sollten jedoch möglichst keine Lücken L1, L2 und L3 auftreten, um undefinierte Luftspalte zu vermeiden. d.h. die Endflächen

an den freien Enden der E-förmigen Teile müssen so präzise gefertigt sein, dass sie auf einer Ebene liegen, so dass keine Luftspalte entstehen. Luftspalte werden definiert beispielsweise in den Seitenschenkeln 230 im Bereich der Spulen 20 und 30 eingefügt. Der Querschnitt A2 des Mittelschenkels 250 ist, wie oben ausführlicher dargestellt wurde, kleiner als der Querschnitt A1 der Seitenschenkel 240 und 230.

[0035] Um eine Situation, wie sie bei den E-förmigen Teilen mit den drei Lücken L1, L2 und L3 auftreten kann, zu vermeiden, können zwei U-förmige Kernteile 260 und 270 verwendet werden, die so zusammengefügt werden, dass deren freien Enden aneinander stoßen.

[0036] Fig. 6a zeigt eine schematische Draufsicht eines Kerns aus zwei U-förmigen Teilen 260 und 270 und einem Mittelschenkel 250 gemäß einer zweiten und dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In der Fig. 6a sind die Stosskanten der freien Enden der U-Teile 260 bzw. 270 nicht sichtbar. Sie Spulen 20 und 30 sitzen auf den spulenträgenden Außenschenkeln 230 des Kerns. Der Mittelschenkel 250 füllt die Lücke zwischen den Spulen 20 und 30 und bildet außerdem einen magnetischen Kurzschluß zwischen den seitlichen Außenschenkeln 240, so dass zwei Magnetschleifen bestehen. Die Luftspalte L in den Seitenschenkeln 230 im Bereich der Spulen 20 und 30 sorgt für einen Betrieb außerhalb der magnetischen Sättigung in den Außenschenkeln und gleichzeitig für eine geringe Kopplung von weniger als ein Prozent zwischen den beiden Schleifen bzw. Spulen 20 und 30.

[0037] Fig. 6b zeigt eine perspektivische Ansicht des Schemas von Fig. 6a gemäß einer zweiten Ausführungsform mit herausgezogenem Mittelschenkel 350. Die Fig. 6b zeigt nur die Kernanordnung ohne die Spulenwicklungen 20 und 30 gemäß der zweiten Ausführungsform. Der Kern ist aus zwei U-förmigen Teilen 260 und 270 zusammengesetzt, die sich an den Stirnflächen der freien Enden der U-förmigen Teile, die in Fig. 6b durch die Linie 280 dargestellt ist, berühren. Da nur zwei Stossflächen 280 vorhanden sind, ist es einfacher, unkontrollierte Luftspalte in den Außenschenkeln zu vermeiden. Die Außenschenkel weisen eine Höhe H1 und eine Breite B1 auf, so dass die Außenschenkel einen Querschnitt $A1 = B1 \times H1$ aufweisen. Der Abstand der Außenschenkel 240, die die spulenträgenden Außenschenkel 230 verbinden, ist T1. Der Mittelschenkel 350, der in der Darstellung von Fig. 6b aus der Ringstruktur herausgezeigt wird, ist T-förmig ausgebildet mit einem vertikalen Teil 350-1 und einem horizontalen Teil 350-2. Der vertikale Teil 350-1 hat eine Höhe H2, eine Länge T2 und eine Breite B2. Um den Luftraum zwischen den Spulen 20 und 30 (siehe Fig. 6a) möglichst optimal auszufüllen, entspricht die Breite B2 des vertikalen Teils des T-förmigen Mittelschenkels 350 der lichten Weite des Zwischenraums zwischen den Spulen. Die Länge T2 des T-förmigen Mittelschenkels 350 entspricht dem Abstand T1 zwischen den Außenschenkeln 240 und die Höhe H2 des vertikalen Teils des T-förmigen Mittelschenkels 350 ent-

spricht der Höhe H1 der Außenschenkel 230 und 240. Die Überstände des horizontalen Teils 350-2 des T-förmigen Mittelschenkels 350 weisen eine Länge L1 auf und liegen jeweils auf den seitlichen Außenschenkeln 240 auf. Die maximale Länge L2 des horizontalen Teils 350-2 des T-förmigen Mittelschenkels 350 ist maximal $T1 + 2 \times B1$ bzw. die Länge L1 der Überstände des horizontalen Teils 350-2, die auf den Außenschenkeln 240 aufliegen, entsprechen ungefähr B1. Die Luftspalte L in den U-förmigen Teilen 260 bzw. 270 können beispielsweise durch Füllmaterialien wie CEM-1 oder FR4 realisiert werden. Die Dicke B2 des T-förmigen Mittelschenkels 350 ist kleiner als die Breite B1 der Außenschenkel 230 und 240.

[0038] Die Fig. 6c zeigt eine perspektivische Ansicht des Kerns gemäß der Fig. 6b in zusammengesetzter Form. Die Bezugszeichen in Fig. 6c, die identisch sind mit den Bezugszeichen von Fig. 6b bezeichnen dieselben technischen Merkmale und auf eine Wiederholung der Erläuterung wird hier verzichtet. Die Lufträume zwischen dem vertikalen Teil 350-1 des Mittelschenkels 350 und den spulentragenden Außenschenkeln 230 (die Spulen sind in Fig. 6c nicht gezeigt) werden nahezu vollständig von den Spulenwicklungen ausgefüllt. In Fig. 6c schließt der horizontale Teil 350-2 des T-förmigen Mittelschenkels 350 mit den Außenrändern der Außenschenkel 240 bündig ab. Jedoch beeinflussen geringe Abweichungen, d.h. Überstände und Unterstände das magnetische Verhalten des gesamten Kerns nicht.

[0039] Fig. 6d zeigt eine perspektivische Ansicht eines Kerns gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Kern setzt sich wie in der Fig. 6b aus zwei U-förmigen Teilen 260 und 270 zusammen. Zwischen den U-förmigen Teilen 260 und 270 befindet sich der Mittelschenkel 450, so dass die freien Flächen 280-1 und 280-2 der offenen Enden der U-förmigen Teile 260 und 270 auf gegenüberliegende Seiten des Mittelschenkels 450, der quaderförmig mit einer Höhe H3, Breite B3 und einer Länge von $T1 + 2 \times B1$ vorliegt, stossen. Die Größenangabe T1, B1 und H1 entsprechen den Größenangaben in Fig. 6b. Im Übrigen können die U-förmigen Teile aus der Fig. 6b identisch zu den U-förmigen Teilen aus der Fig. 6d sein. In der Fig. 6d bezeichnen Bezugszeichen, die identisch sind zu Bezugszeichen in den vorherigen Figuren sind, dieselben technischen Merkmale und auf eine Wiederholung wird hier deshalb verzichtet. Fig. 6d zeigt eine schematische dreidimensionale Anordnung bei der die einzelnen Elemente 260, 270 und 450 auseinandergezogen dargestellt werden. Im zusammengebauten Zustand wird der Mittelschenkel 450 flexibel an die Außenschenkel 240-a, 240-b, 240-d und 240-c geklebt, wodurch Toleranzen in den Außenluftspalten L abgefangen werden können. Geringe Überstände des Mittelschenkels bzw. etwas kürzere Mittelschenkel beeinflussen den Flussverlauf von den Außenschenkeln in den Mittelschenkel nur unwesentlich.

Patentansprüche

1. Drossel mit zwei Spulen (20, 30) und einem Kern (200),
dadurch gekennzeichnet,
dass der Kern (200) mehrere Kernabschnitte mit mehreren Außenschenkeln (230, 240, 240-A, 240-B, 240-C, 240-D) und einem Mittelschenkel (250, 350, 450) umfasst;
dass die Kernabschnitte zwei Schleifen mit dem Mittelschenkel als einem gemeinsamen Abschnitt bilden;
dass jede der zwei Spulen (20, 30) auf unterschiedlichen Schleifen außerhalb des gemeinsamen Abschnitts liegt;
dass die Außenschenkel (230, 240, 240-A, 240-B, 240-C, 240-D) einen Querschnitt A1 aufweisen; und
dass der Mittelschenkel (250, 350, 450) für den gemeinsamen Abschnitt einen Querschnitt $A2 < 2 \times A1$ aufweist.
2. Drossel nach Anspruch 1, wobei die zwei Spulen (20, 30) auf zwei gegenüberliegenden Spulen tragenden Außenschenkeln (230) angeordnet sind.
3. Drossel nach Anspruch 1 oder 2, wobei A2 im Bereich von $1 \times A1$ bis $0,2 \times A1$ liegt.
4. Drossel nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der magnetische Widerstand mindestens eines der Außenschenkeln R_{MA} größer ist als der magnetische Widerstand des Mittelschenkels R_{MI} , wobei $R_{MA} > 20 \times R_{MI}$.
5. Drossel nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei für den Kernabschnitt im Mittelschenkel ein magnetisch hochpermeables Material und für die Außenschenkel ein Material mit hoher Sättigungsflussdichte verwendet wird.
6. Drossel nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei in mindestens einem Außenschenkel (230) ein Luftspalt (L, L1, L2) liegt.
7. Drossel nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei Luftspalte (L, L1, L2) in den Außenschenkeln (230) in den Bereichen der Spulen (20, 30) angeordnet sind.
8. Drossel nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Kernabschnitte aus einem Plattenstapel aus weichmagnetischem Material hergestellt sind.
9. Drossel nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Kernabschnitte zwei E-förmige Teile (210, 220) sind, die so zusammengefügt werden, dass deren freien Enden aneinander stoßen, so dass die zusammengefügt Mittelschenkel (250) der zwei E-förmigen

gen Teile (210, 220) den gemeinsamen Abschnitt bilden.

10. Drossel nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Außenschenkel (230, 240) aus zwei U-förmigen Teilen gebildet werden, die so zusammengefügt werden, dass deren freien Enden aneinander stoßen, so dass ein magnetischer Kreis entsteht, und wobei der Mittelschenkel (350) für den gemeinsamen Abschnitt T-förmig ist und zwischen den zwei Spulen (20, 30) in den magnetischen Kreis so eingefügt ist, dass der magnetische Kreis kurzgeschlossen wird, so dass der magnetische Kreis in die zwei Schleifen unterteilt wird. 5
11. Drossel nach Anspruch 10, wobei eine Höhe H2 eines vertikalen Teils (350-1) des T-förmigen Mittelschenkels (350) einer Höhe H1 des Außenschenkels (230, 240) entspricht, eine Breite B2 des vertikalen Teils (350-1) des T-förmigen Mittelschenkels (350) einem lichten Abstand zwischen den zwei Spulen entspricht und eine Länge T2 des vertikalen Teils (350-1) des T-förmigen Kernabschnitts (350) einem Innenabstand T1 von gegenüberliegenden Außenschenkeln (240) des magnetischen Kreises entspricht, so dass der vertikale Teil (350-1) des T-förmigen Kernabschnitts (350) den Raum zwischen den Spulen innerhalb des magnetischen Kreises spielfrei ausfüllt. 10
12. Drossel nach Anspruch 10 oder 11, wobei ein horizontaler Teil (350-2) des T-förmigen Mittelschenkels (350) auf einem Außenschenkel (240) aufliegt. 15
13. Drossel nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Außenschenkel (230, 240, 240-A, 240-B, 240-C, 240-D) aus zwei U-förmigen Teilen gebildet werden, deren freien Enden jeweils gegenüberliegen und voneinander durch einen geraden langgestreckten Kernabschnitt (450), der als Mittelschenkel dient, spielfrei getrennt sind, so dass die zwei Schleifen mit dem Mittelschenkel (450) als gemeinsamen Abschnitt entstehen, die zwei miteinander gekoppelte magnetische Kreise bilden. 20
14. Drossel nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei jedes U-förmige Teil aus mehreren geraden Stücken zusammengefügt ist. 25
15. Drosselkern mit mehreren Kernabschnitten bestehend aus mehreren Außenschenkeln (230, 240, 240-A, 240-B, 240-C, 240-D) und einem Mittelschenkel (250, 350, 450), wobei die Kernabschnitte so angeordnet sind, dass die Kernabschnitte zwei Schleifen mit dem Mittelschenkel (250, 350, 450) als einem gemeinsamen Abschnitt bilden, um zwei schwach gekoppelte magnetische Kreise zu bilden; 30

wobei die Außenschenkel (230, 240, 240-A, 240-B, 240-C, 240-D) einen Querschnitt A1 aufweisen; und wobei der Mittelschenkel (250, 350, 450) für den gemeinsamen Abschnitt einen Querschnitt A2 kleiner als 2 x A1 aufweist. 35

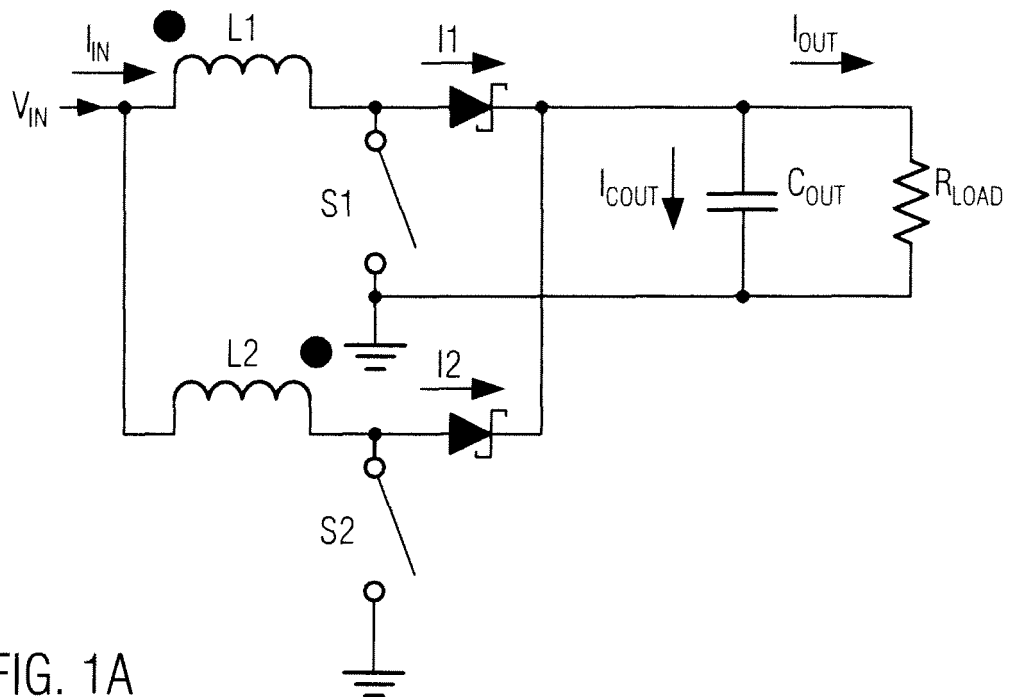


FIG. 1A

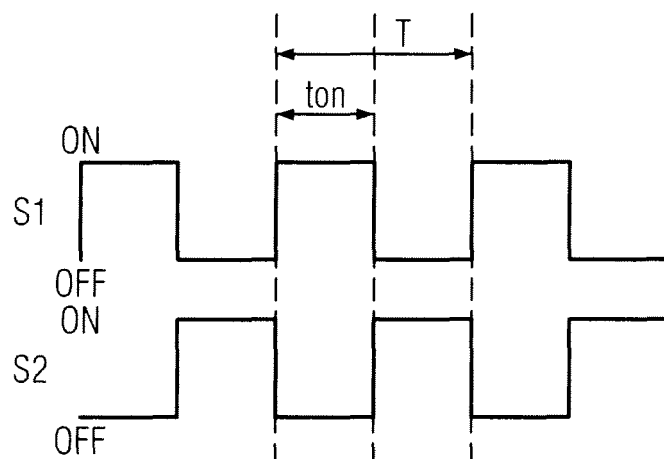


FIG. 1B

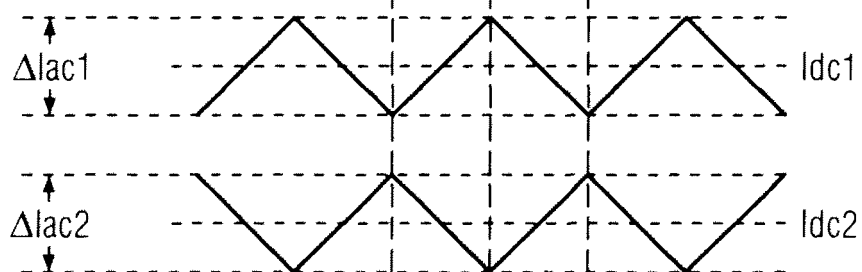


FIG. 1C

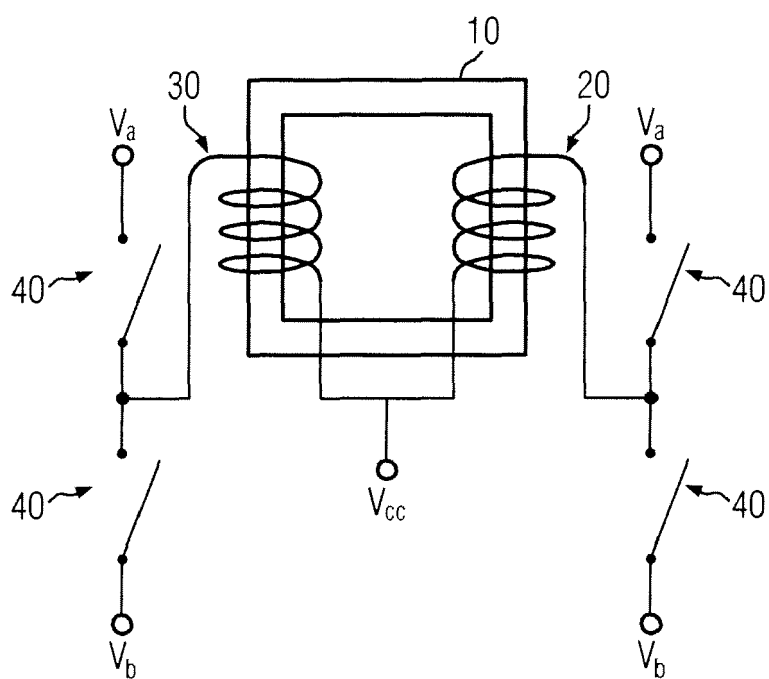


FIG. 2

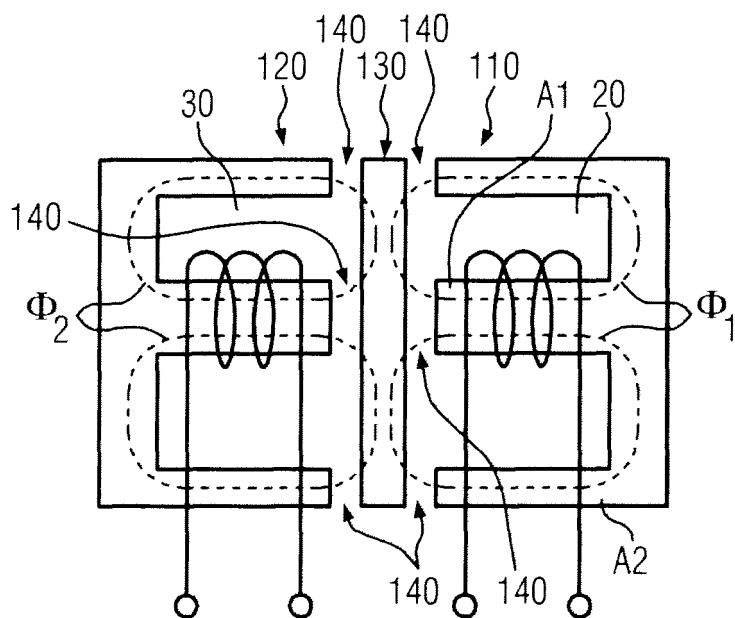
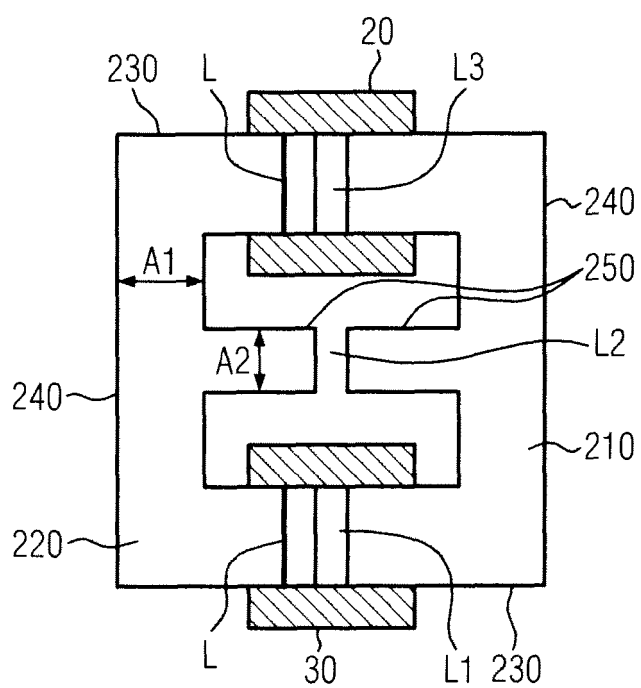
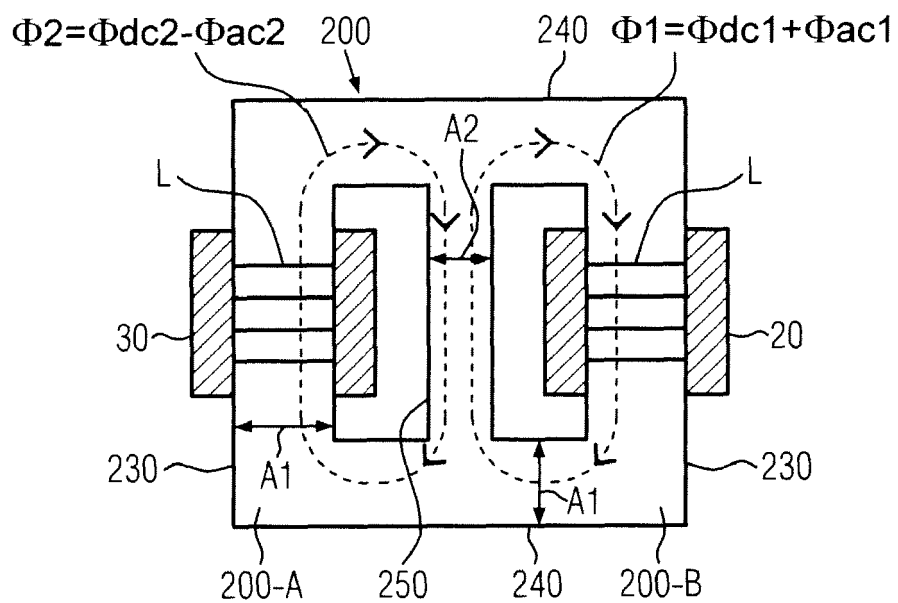


FIG. 3



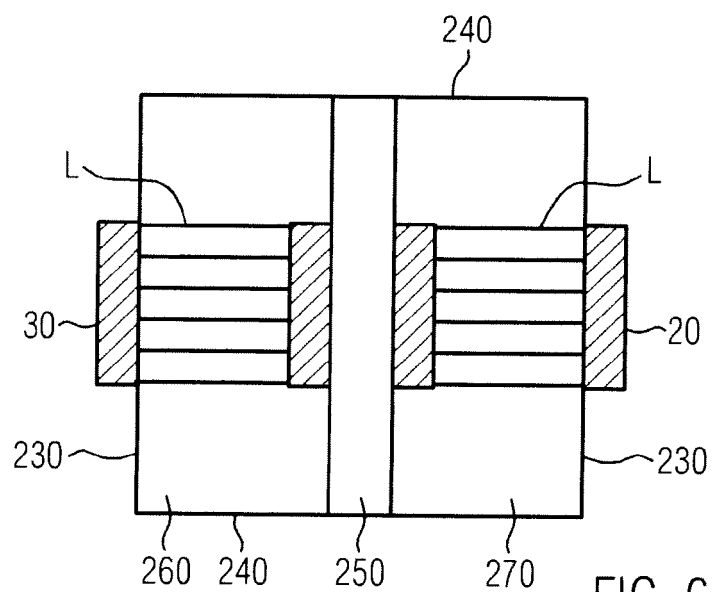


FIG. 6A

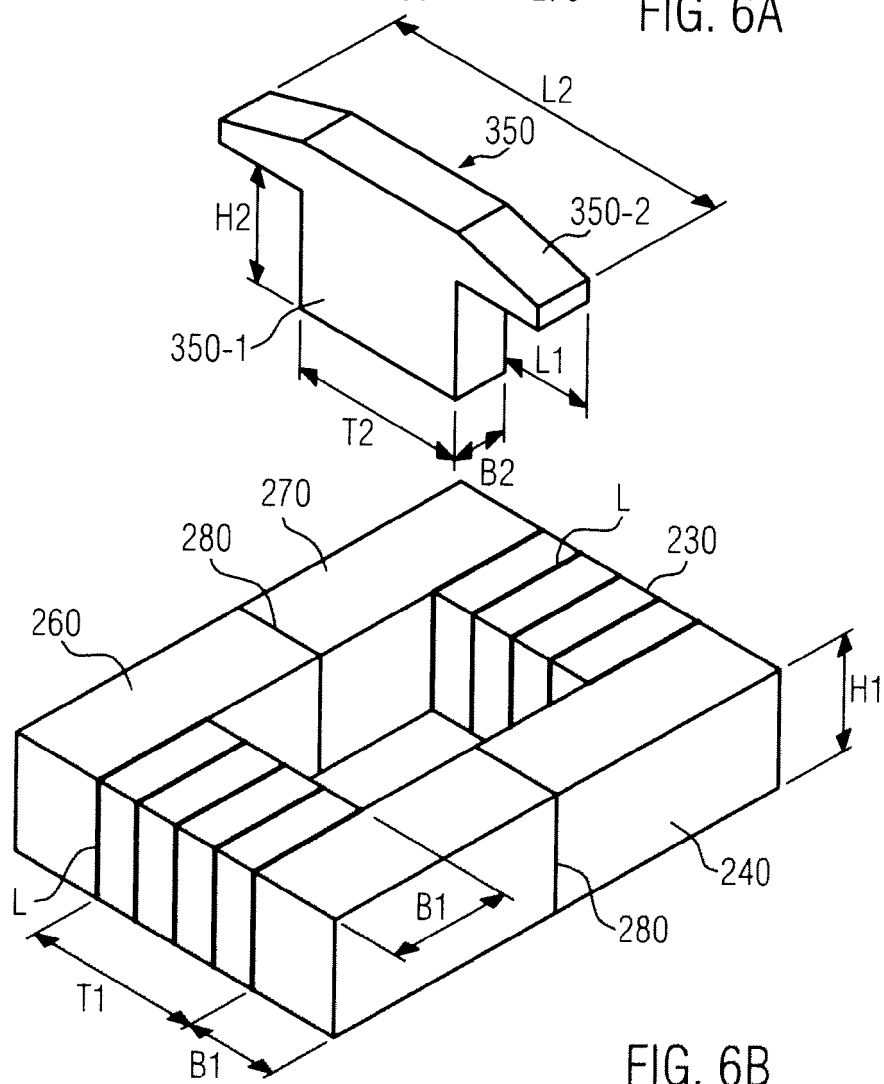
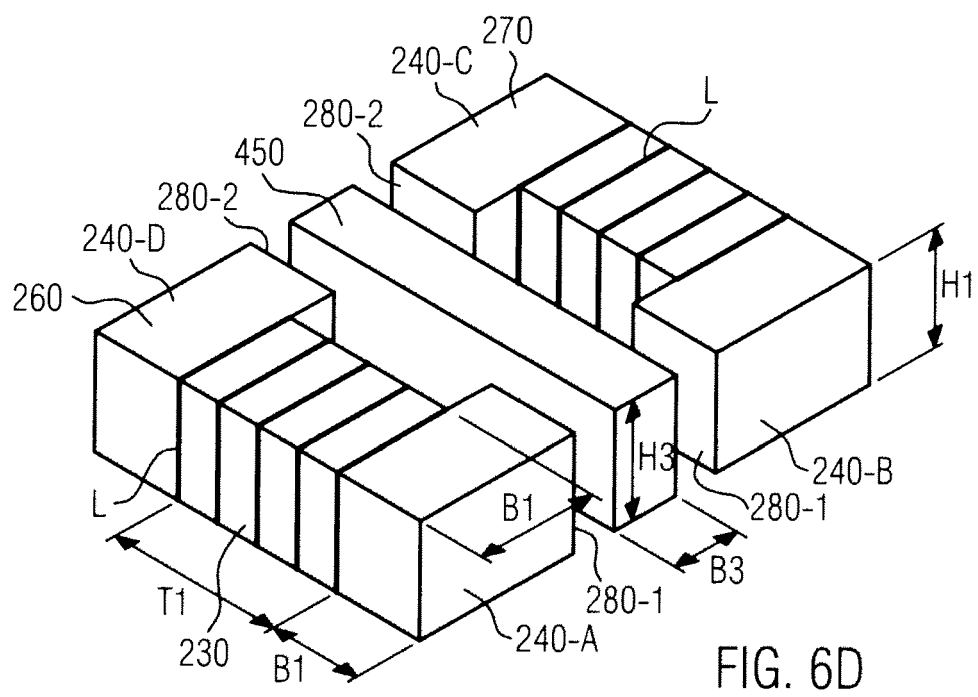
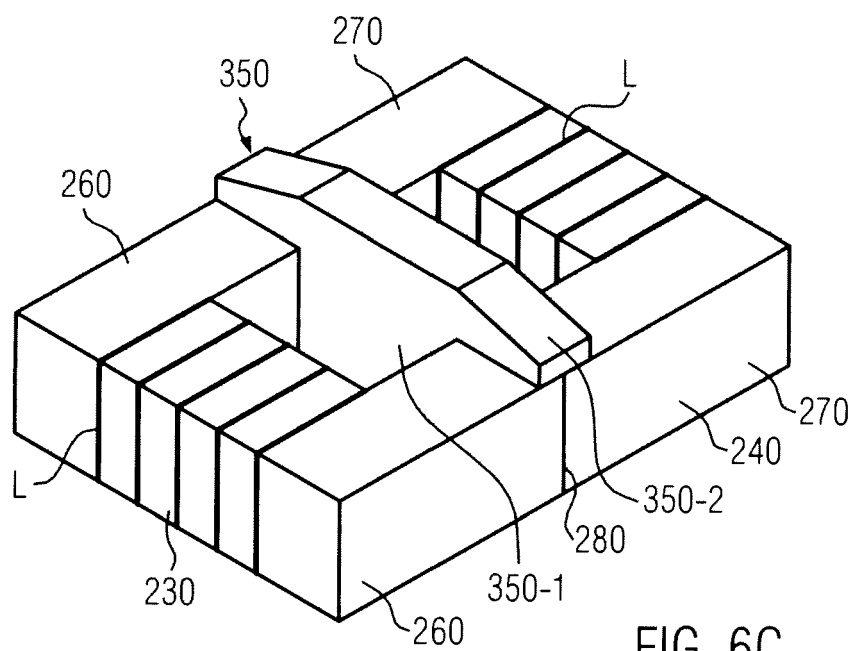


FIG. 6B



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 6362986 B1 [0012]
- US 8217746 B2 [0013] [0017]
- US 8217746 B [0024]