



(10) **DE 10 2016 201 258 A1** 2017.08.03

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 201 258.4**
(22) Anmeldetag: **28.01.2016**
(43) Offenlegungstag: **03.08.2017**

(51) Int Cl.: **H01F 27/24** (2006.01)
H01L 27/28 (2006.01)
H01F 27/34 (2006.01)
H02M 1/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:
**Gagel, Roland, Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., 81241
München, DE**

(72) Erfinder:
Matlok, Stefan, 91058 Erlangen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

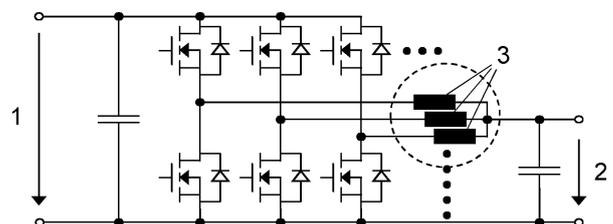
DE	33 05 708	A1
DE	10 2013 208 911	A1
DE	838 799	B
CH	198 504	A
US	7 733 204	B2
US	2006 / 0 187 684	A1
US	2010 / 0 328 003	A1
US	2015 / 0 287 512	A1
JP	2009- 111 029	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Elektrischer Spannungswandler mit mehreren Speicherdrosseln**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen elektrischen Spannungswandler mit mehreren Speicherdrosseln, die auf parallelen Schaltungszweigen zwischen einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss des Spannungswandlers verschaltet sind. Wenigstens zwei der Speicherdrosseln verfügen über einen gemeinsamen Kernsatz, der für jede Speicherdrossel einen von Spulenwicklungen der Speicherdrossel umwickelten Kernschenkel und Rückführungen für die in den Kernschenkeln erzeugten magnetischen Flüsse mit einem geringeren magnetischen Widerstand als die Kernschenkel aufweist. Die Rückführungen sind dabei lediglich durch Außenbereiche des Kernsatzes gebildet und die Speicherdrosseln so ausgebildet und verschaltet, dass jeweils in benachbarten Kernschenkeln ein magnetischer Fluss mit entgegengesetzter Flussrichtung erzeugt wird. Bei dem vorgeschlagenen Spannungswandler beanspruchen die Speicherdrosseln einen geringeren Bauraum als unabhängig voneinander ausgebildete Speicherdrosseln und sind dennoch weitgehend voneinander entkoppelt.



Beschreibung

Technisches Anwendungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen elektrischen Spannungswandler mit mehreren Speicherdrosseln gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Elektrische Spannungswandler werden für viele technische Anwendungen eingesetzt, beispielsweise in elektrischen Schaltnetzteilen. Insbesondere bei Gleichspannungswandlern (DC/DC-Wandler) hoher Leistung sind mehrere parallele Schaltungsbzw. Energiezweige (sog. Phasen) erforderlich, um die geforderte Leistung bereitzustellen. Jede Phase weist dabei eine Speicherdrossel auf, welche die pulsierende Halbbrückenspannung mit der Gleichspannung verbindet. Die Speicherdrosseln müssen Energie zwischenspeichern und benötigen dafür entsprechenden Bauraum.

Stand der Technik

[0003] Zur Verringerung des Bauraums ist es bekannt, mehrere der Speicherdrosseln durch Nutzung eines gemeinsamen Kernsatzes zu verkoppeln. Durch diese Verkopplung beeinflussen sich die einzelnen Speicherdrosseln jedoch häufig, so dass die einzelnen Phasen des Spannungswandlers untereinander nicht mehr elektrisch eigenständig sind. Die transformatorischen Effekte müssen daher immer berücksichtigt werden und können zum Verlust der effektiven Induktivität oder der maximalen Sättigung führen. Weiterhin werden höhere Ansprüche an die Regelung des Spannungswandlers gestellt, da sich die Nachbarphasen gegenseitig beeinflussen.

[0004] Aus der US 2015/0287512 A1 ist eine Spulenordnung aus zwei Speicherdrosseln bekannt, die über einen gemeinsamen dreiteiligen Kernsatz verkoppelt sind. Der Kernsatz weist für jede Speicherdrossel einen von Spulenwicklungen der Speicherdrossel umwickelten Schenkel mit wenigstens einem Luftspalt auf. Die beiden umwickelten Schenkel bilden dabei die außenliegenden Schenkel des Kernsatzes, zwischen denen ein mittlerer Schenkel zur Rückführung der in den außenliegenden Schenkeln erzeugten magnetischen Flüsse angeordnet ist. Dieser mittlere Schenkel hat dabei einen geringeren Querschnitt als die beiden äußeren Schenkel. Dies führt zu einer kompakteren Bauweise und einer Gewichtsersparnis gegenüber einer Ausbildung mit zwei getrennten Speicherdrosseln. Auch die in diesem Falle unerwünschte magnetische Kopplung zwischen den beiden Speicherdrosseln wird durch diese Ausgestaltung stark reduziert. Allerdings ist diese Lösung nur für Anordnungen mit zwei Speicherdrosseln möglich und weist zudem keine gute Schirmwirkung auf, so dass externe Magnetfelder auftreten können.

[0005] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Spannungswandler mit mehreren Speicherdrosseln anzugeben, bei dem die Speicherdrosseln einen möglichst geringen Bauraum beanspruchen, gut magnetisch abgeschirmt und weitgehend voneinander entkoppelt sind.

Darstellung der Erfindung

[0006] Die Aufgabe wird mit dem elektrischen Spannungswandler gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Spannungswandlers sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

[0007] Der vorgeschlagene elektrische Spannungswandler weist mehrere Speicherdrosseln auf, die auf parallelen Schaltungszweigen zwischen einem ersten Anschluss des Spannungswandlers und einem zweiten Anschluss des Spannungswandlers verschaltet sind. Die Speicherdrosseln verfügen über einen gemeinsamen Kernsatz, der für jede Speicherdrossel einen von Spulenwicklungen der Speicherdrossel umwickelten Kernschenkel und Rückführungen für die in den Kernschenkeln erzeugten magnetischen Flüsse zur Bildung magnetischer Kreise aufweist. Die Kernschenkel und die Rückführungen sind dabei so ausgebildet, dass die Rückführungen einen geringeren magnetischen Widerstand als die Kernschenkel aufweisen, vorzugsweise einen um einen Faktor von ≥ 10 geringeren magnetischen Widerstand. Das kann beispielsweise durch Materialien unterschiedlicher Permeabilität für die Kernschenkel und die Rückführungen erreicht werden. Vorzugsweise weisen die Kernschenkel jedoch einen oder mehrere Luftspalte auf, durch die deren magnetischer Widerstand deutlich erhöht wird.

[0008] Der vorgeschlagene Spannungswandler zeichnet sich dadurch aus, dass zum einen die Rückführungen lediglich durch Außenbereiche des Kernsatzes gebildet und andererseits die Spulenwicklungen der Speicherdrosseln so ausgebildet und verschaltet sind, dass beim Betrieb des Spannungswandlers jeweils in benachbarten Kernschenkeln ein magnetischer Fluss mit entgegengesetzter Flussrichtung erzeugt wird. Dies kann durch unterschiedlichen Wicklungssinn der Spulenwicklungen benachbarter Kernschenkel oder auch durch umgekehrte Anschlusspolung der Spulen jeweils benachbarter Kernschenkel erreicht werden.

[0009] Bei der vorgeschlagenen Ausbildung des Spannungswandlers wird ausgenutzt, dass bei vielen Spannungswandlern, insbesondere bei Gleichspannungswandlern, die Hauptstromrichtung durch die einzelnen Schaltungszweige identisch ist und die Ströme in den Schaltungszweigen ähnlich groß sind. Dadurch kompensieren sich bei der vorgeschla-

genen Ausbildung des Kernsatzes mit den Speicherdrosseln die Magnetströme weitgehend. Restdifferenzen, die beispielsweise durch betriebsbedingte Stromwelligkeit (AC-Ripple) hervorgerufen werden, können über die äußeren Rückführungen fließen. Durch diese Rückführungen bleiben die Wicklungen der Speicherdrosseln daher weiterhin entkoppelt. Durch die vorgeschlagene Ausbildung und Verschaltung der Spulenwicklungen der Speicherdrosseln benachbarter Kernschenkel wird der magnetische Fluss in den Rückführungen deutlich reduziert, so dass auch deren Querschnitt entsprechend reduziert werden kann. Die Rückführungen werden lediglich durch Außenbereiche des Kernsatzes und somit durch außenliegende Kernschenkel gebildet. Es sind damit keine Rückführungen zwischen den einzelnen umwickelten Kernschenkel bzw. den Speicherdrosseln mehr erforderlich, so dass die gesamte Anordnung einen kleineren Bauraum beansprucht. Durch den Verzicht auf innen liegende Rückführungen und den geringeren Bauraum werden auch Gewicht und Kosten eingespart. Die außen liegenden Rückführungen sorgen außerdem dafür, dass kein externes Magnetfeld auftritt.

[0010] Der Kernsatz kann bei dem vorgeschlagenen Spannungswandler unterschiedliche Geometrien aufweisen. So können beispielsweise die umwickelten Kernschenkel in einer Reihe zwischen zwei oder mehr als zwei außen liegenden Rückführungschenkel angeordnet sein. Auch eine nicht lineare Anordnung der umwickelten Kernschenkel ist möglich. Die Kernschenkel sind jeweils beidseitig über das magnetisierbare Material des Kernsatzes mit den Rückführungen und – soweit vorhanden – mit den jeweils benachbarten Kernschenkel verbunden. Der Kernsatz ist vorzugsweise zweiteilig ausgebildet. Besonders bevorzugt bilden die beiden Teile zwei gleichartige Hälften des Kernsatzes, die bei vertikaler Ausrichtung der Kernschenkel insbesondere die obere und die untere Hälfte des Kernsatzes darstellen.

[0011] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Summe der senkrecht zur magnetischen Flussrichtung gebildeten Querschnittflächen der Rückführungen kleiner als die Summe der senkrecht zur magnetischen Flussrichtung gebildeten Querschnitte der von den Spulenwicklungen umwickelten Kernschenkel. Damit lässt sich eine nahezu beliebige Reduzierung der Rückführungsquerschnitte erreichen.

[0012] Besonders bevorzugt ist die Summe der senkrecht zur magnetischen Flussrichtung gebildeten Querschnitte der Rückführungen so groß wie der senkrecht zur magnetischen Flussrichtung gebildete Querschnitt eines einzelnen der von den Spulenwicklungen umwickelten Kernschenkel. Unter der gleichen Größe ist dabei ein Bereich zwischen einer exakten Übereinstimmung bis zu einer Abweichung von maximal 10% zu verstehen. Die Querschnitte der ein-

zelnen von den Spulenwicklungen umwickelten Kernschenkel sind dabei zumindest annähernd gleich. Damit kann eine magnetische Sättigung des Kernmaterials in den Rückführungen vermieden werden.

[0013] Eine optimale Kompensation der Magnetflüsse wird bei dem vorgeschlagenen Spannungswandler bei einer geraden Anzahl von Speicherdrosseln auf einem gemeinsamen Kernsatz erreicht.

[0014] Der vorgeschlagene Spannungswandler ist vorzugsweise als mehrphasiger Gleichspannungswandler ausgebildet, wobei jeder der Schaltungszweige einer Phase des Spannungswandlers entspricht. Durch den vorgeschlagenen Aufbau des Kernsatzes mit den Speicherdrosseln können das Volumen und somit auch das Gewicht und die Kosten des magnetischen Materials (Ferritmaterial oder andere magnetische Stoffe) reduziert werden. Im Falle von lediglich zwei Speicherdrosseln bzw. -phasen kann damit beispielsweise eine Einsparung des Ferritmaterials von ca. 16% erreicht werden. Bei mehr als zwei Phasen wird eine Einsparung von bis zu ca. 30% ohne systembedingte transformatorische Kopplung der Phasen erreicht. Es lassen sich damit mehrphasige Gleichspannungswandler (DC/DC Wandler) aller Leistungsklassen realisieren. Das gilt ebenfalls für sämtliche Buck- und Boostwandler sowie Vollbrücken und resonante Wandler, solange der Peak-zu-Peak AC-Anteil kleiner ist als der doppelte Wert des DC-Anteils. Beispiele für derartige Wandler sind Mehrphasenwandler auf PC- und Server-Mainboards, DC-Backbone Versorgungen in Telekommunikations- und Rechenzentren, Brennstoffzellen-Booster im stationären und mobilen Bereich, Traktionsnetzrichter im Automobilbereich oder Ankoppler von Supercaps.

[0015] Prinzipiell lässt sich der vorgeschlagene Spannungswandler auch als Wechselspannungswandler (AC-Wandler) realisieren. Bei Wechselspannungswandlern ist die Ausprägung mit 3 Phasen besonders günstig, da sich die drei Sinusströme hier perfekt ergänzen. Die äußeren Rückführungen bzw. Außenschenkel entkoppeln dabei in genau gleicher Weise die Spulen und erlauben den Ausgleich der Schaltwelligkeit (Schaltripple).

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0016] Der vorgeschlagene Spannungswandler wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals näher erläutert. Hierbei zeigen:

[0017] Fig. 1 ein Schaltbild eines mehrphasigen Gleichspannungswandlers;

[0018] Fig. 2 einen Querschnitt durch einen beispielhaften Aufbau zweier benachbarter Speicherdrosseln gemäß dem Stand der Technik;

[0019] Fig. 3 einen Querschnitt durch einen beispielhaften Aufbau eines Kernsatzes mit zwei Speicherdrosseln gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0020] Fig. 4 einen Querschnitt durch einen beispielhaften Aufbau eines Kernsatzes mit einer größeren Anzahl N an Speicherdrosseln gemäß der vorliegenden Erfindung; und

[0021] Fig. 5 eine schematische Darstellung eines unteren Teils eines weiteren beispielhaften Aufbaus eines Kernsatzes mit zwei Speicherdrosseln gemäß der vorliegenden Erfindung.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0022] Im Folgenden wird anhand von Fig. 1 eine beispielhafte Schaltung für einen Gleichspannungswandler dargestellt, wie sie auch beim vorgeschlagenen Wandler eingesetzt werden kann. Der in Fig. 1 dargestellte Wandler hat mehrere parallele Energie- oder Schaltungszweige, sog. Phasen, die zwischen einem ersten Anschluss 1 und einem zweiten Anschluss 2 des Spannungswandlers verlaufen. In den einzelnen Schaltungszweigen ist jeweils eine Speicherdrossel 3 verschaltet, die der Zwischenspeicherung der Energie beim Betrieb des Spannungswandlers dient. Im vorliegenden Beispiel sind drei parallele Schaltungszweige mit entsprechenden Schaltern dargestellt, über die in bekannter Weise die Pulsbreite und damit der Wandlungsfaktor des Spannungswandlers eingestellt wird.

[0023] Im vorliegenden Beispiel liegt am ersten Anschluss 1 die Highside-Eingangsspannung und am zweiten Anschluss 2 die Lowside-Ausgangsspannung an. Es handelt sich damit um einen Abwärts-wandler. Der Wandler kann auch eine größere Anzahl N an Phasen bzw. Speicherdrosseln aufweisen, wie dies durch die Punkte in der Figur angedeutet ist. Durch den mehrphasigen Aufbau lässt sich zum einen die Restwelligkeit bei der Wandlung verringern und zum anderen auch eine größere elektrische Leistung am Ausgang bereitstellen. Die Speicherdrosseln benötigen für die Energiespeicherung Bauraum, der sich bei mehreren Speicherdrosseln entsprechend summiert.

[0024] Fig. 2 zeigt hierzu beispielhaft im Querschnitt zwei nebeneinander angeordnete Speicherdrosseln 3, wie sie gemäß dem Stand der Technik ausgebildet sein können. Jede Speicherdrossel weist hierbei einen magnetisch leitfähigen Kernsatz 4 auf, der im vorliegenden Beispiel in E-Kern-Bauform zweiteilig ausgeführt ist. Der Kernsatz weist einen zentralen Kernschenkel 5 auf, der von den Spulenwicklun-

gen 6 der Speicherdrossel 3 umwickelt ist. Beidseitig des zentralen Kernschenkel 5 sind Rückführungen 7 für den im Kernschenkel 5 erzeugten magnetischen Fluss zur Bildung eines magnetischen Kreises ausgebildet. Der Kernschenkel 5 jeder Speicherdrossel 3 weist jeweils einen Luftspalt 8 auf, der in der Fig. 2 angedeutet ist. Bei einer Anordnung der beiden Speicherdrosseln 3 nebeneinander treten die in der Figur angedeuteten magnetischen Flüsse ϕ_1 und ϕ_2 auf und verteilen sich entsprechend auf die Rückführungen 7. Die Flussrichtung der magnetischen Flüsse ist in der Figur mit den Pfeilen angedeutet.

[0025] Zur Verringerung des Bauraums für die Speicherdrosseln wird bei dem Spannungswandler der Erfindung ein Aufbau der Speicherdrosseln mit einem gemeinsamen Kern, für jeweils zwei oder mehr Phasen, gewählt. Die Nutzung eines gemeinsamen Kerns führt zwar in der Regel zu einer Verkopplung der Speicherdrosseln, die jedoch durch den vorgeschlagenen Aufbau weitestgehend wieder kompensiert wird. Durch die erfindungsgemäße Ausbildung des Kernsatzes und die Ausbildung und Verschaltung der Spulenwicklungen der Speicherdrosseln wird erreicht, dass der größte Teil des magnetischen Flusses jeweils durch die Nachbarwindungen kompensiert wird und verbleibende Differenzmagnetfelder über außenliegende Rückführungen kurzgeschlossen werden. Auf innenliegende Rückführungen bzw. Schenkel zwischen den einzelnen Speicherdrosseln kann damit verzichtet werden. Dies führt zu einer Verringerung des Bauraumes für die Speicherdrosseln, zu einer Gewichts- und damit auch zu einer Kostenersparnis.

[0026] Fig. 3 zeigt hierbei einen Querschnitt durch einen beispielhaften Aufbau gemäß der Erfindung, der in seiner Leistungsfähigkeit dem Aufbau der Fig. 2 identisch ist. In der Figur ist der zweiteilige Kernsatz 4 mit den beiden innen liegenden Kernschenkel 5 zu erkennen, die jeweils einen Luftspalt 8 aufweisen und von den Spulenwicklungen 6 der jeweiligen Speicherdrossel 3 umwickelt sind. Im vorliegenden Beispiel sind die beiden innen liegenden Kernschenkel 5 jeweils gegensinnig umwickelt, so dass im linken Kernschenkel der Fluss ϕ_1 nach oben und im rechten Kernschenkel der Fluss ϕ_2 nach unten, also in entgegengesetzter Flussrichtung erzeugt wird. Verbleibende Differenzflüsse werden über die außen liegenden Rückführungen 7 kurzgeschlossen. Diese Rückführungen 7 sorgen dafür, dass die beiden Speicherdrosseln 3 weiterhin magnetisch entkoppelt sind und auch kein externes Magnetfeld auftritt. Durch die entgegengerichteten magnetischen Flüsse in den benachbarten innenliegenden Kernschenkel 5 kann auf eine zwischenliegende Rückführung verzichtet werden. Aus der Fig. 3 ist deutlich ersichtlich, dass damit das Volumen der Anordnung von Speicherdrosseln gegenüber einer Aus-

gestaltung gemäß dem Stand der Technik, wie sie in **Fig. 2** dargestellt ist, reduziert wird.

[0027] Ein derartiger Aufbau lässt sich auf eine beliebige Anzahl von Speicherdrosseln **3** ausdehnen. Dies ist in **Fig. 4** schematisch dargestellt, in der eine Anzahl von N Speicherdrosseln **3** mit den entsprechenden Kernschenkeln **5** und Spulenwicklungen **6** und den außen liegenden Rückführungen **7** angedeutet ist.

[0028] Der Aufbau der Anordnung von Speicherdrosseln gemäß der vorliegenden Erfindung kann selbstverständlich auch in anderer Weise erfolgen. So zeigt **Fig. 5** schematisch in einer nicht proportionsgerechten Darstellung eine weitere Möglichkeit für den Aufbau. In diesem Beispiel sind die untere Hälfte des Kernsatzes **4** für zwei Speicherdrosseln sowie eine Spulenwicklung **6** einer der Speicherdrosseln angedeutet. Der Kernsatz **4** weist dabei wiederum zwei innenliegende Kernschenkel **5** auf, die jeweils von einer Spulenwicklung **6** der entsprechenden Speicherdrossel umwickelt sind. Auch hier ist ein in diesem Beispiel nicht ersichtlicher Luftspalt in den innenliegenden Kernschenkeln **5** ausgebildet. Die Rückführungen **7** werden in diesem Beispiel durch sechs außenliegende Rückführungsschenkel gebildet. Die in der Figur erkennbaren Querschnittsflächen dieser Rückführungen **7** entsprechen in Summe vorzugsweise der Querschnittsfläche eines innenliegenden Kernschenkel **5**. Selbstverständlich lässt sich ein derartiger Aufbau in analoger Weise auf mehr als zwei Speicherdrosseln erweitern.

[0029] Mit dem vorgeschlagenen Aufbau und der entsprechenden Verschaltung der Speicherdrosseln lassen sich Bauraum, Gewicht und Kosten für die Speicherdrosseln ohne negativen Einfluss einer Verkopplung reduzieren. Der Kopplungsfaktor kann bei einer derartigen Ausgestaltung zumindest theoretisch auf Null reduziert werden. Sämtliche Auslegungen, Induktivität und Sättigung können dabei im Vergleich zu einer getrennten Ausbildung der Speicherdrosseln identisch bleiben. Bereits durchgeführte Simulationen zeigen den vernachlässigbaren gegenseitigen Einfluss der Speicherdrosseln. Es konnte auch bereits mit Simulationen nachgewiesen werden, dass die Speicherdrosseln gegenüber einer getrennten Ausführung ihre Induktivität nicht verändern und elektromagnetisch unabhängig bleiben.

- 5** Kernschenkel
- 6** Spulenwicklungen
- 7** Rückführung
- 8** Luftspalt

Bezugszeichenliste

- 1** Eingang des Spannungswandlers
- 2** Ausgang des Spannungswandlers
- 3** Speicherdrossel
- 4** Kern

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2015/0287512 A1 [0004]

Patentansprüche

1. Elektrischer Spannungswandler mit mehreren Speicherdrosseln (3), die auf parallelen Schaltungszweigen zwischen einem ersten Anschluss (1) des Spannungswandlers und einem zweiten Anschluss (2) des Spannungswandlers verschaltet sind, wobei wenigstens zwei der Speicherdrosseln (3) über einen gemeinsamen Kernsatz (4) verfügen, der

– für jede Speicherdrossel (3) einen von Spulenwicklungen (6) der Speicherdrossel (3) umwickelten Kernschenkel (5) und

– Rückführungen (7) für die in den Kernschenkeln (5) erzeugten magnetischen Flüsse zur Bildung magnetischer Kreise aufweist, wobei die Rückführungen (7) einen geringeren magnetischen Widerstand als die Kernschenkel (5) aufweisen,

dadurch gekennzeichnet, dass die Rückführungen (7) lediglich durch Außenbereiche des Kernsatzes (4) gebildet und die Spulenwicklungen (6) der Speicherdrosseln (3) so ausgebildet und verschaltet sind, dass jeweils in benachbarten Kernschenkeln (5) ein magnetischer Fluss mit entgegengesetzter Flussrichtung erzeugt wird.

2. Elektrischer Spannungswandler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die von den Spulenwicklungen (6) umwickelten Kernschenkel (5) wenigstens einen Luftspalt (8) aufweisen.

3. Elektrischer Spannungswandler nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Spannungswandler eine gerade Anzahl an Speicherdrosseln (3) aufweist.

4. Elektrischer Spannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Summe der senkrecht zur magnetischen Flussrichtung gebildeten Querschnitte der Rückführungen (7) so groß wie ein senkrecht zur magnetischen Flussrichtung gebildeter Querschnitt eines von den Spulenwicklungen (6) umwickelten Kernschenkel (5) ist.

5. Elektrischer Spannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Summe der senkrecht zur magnetischen Flussrichtung gebildeten Querschnitte der von den Spulenwicklungen (6) umwickelten Kernschenkel (5) größer einer Summe der senkrecht zur magnetischen Flussrichtung gebildeten Querschnitte der Rückführungen (7) ist.

6. Elektrischer Spannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kernsatz (4) zwei außenliegende Schenkel als Rückführungen (7) aufweist, zwischen denen die mit den Spulenwicklungen (6) umwickelten Kernschenkel (5) in Reihe angeordnet sind.

7. Elektrischer Spannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kernsatz (4) mehr als zwei außenliegende Schenkel als Rückführungen (7) aufweist, zwischen denen die mit den Spulenwicklungen (6) umwickelten Kernschenkel (5) in Reihe angeordnet sind.

8. Elektrischer Spannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Spannungswandler als mehrphasiger Gleichspannungswandler ausgebildet ist, wobei jeder der Schaltungszweige einer Phase des Spannungswandlers entspricht.

9. Elektrischer Spannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Spannungswandler als dreiphasiger Wechselspannungswandler ausgebildet ist, wobei jeder der Schaltungszweige einer Phase des Spannungswandlers entspricht und alle Speicherdrosseln (3) über den gemeinsamen Kernsatz (4) verfügen.

10. Elektrischer Spannungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kernsatz (4) als zweiteiliger Kernsatz ausgebildet ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

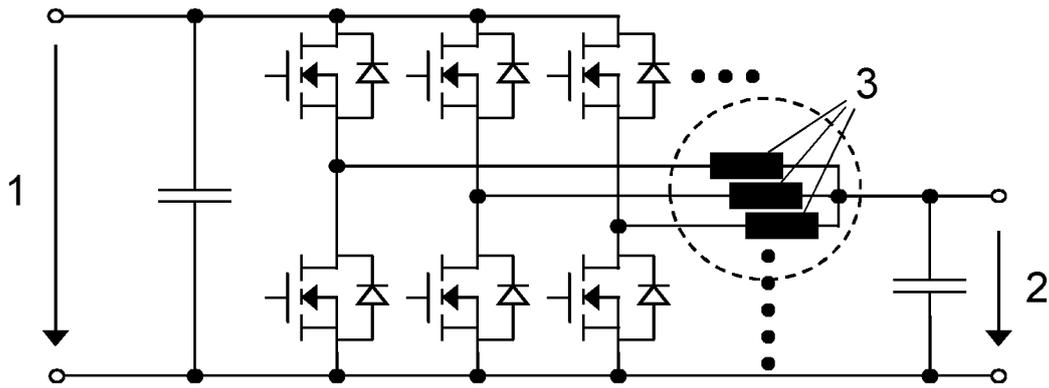


Fig. 1

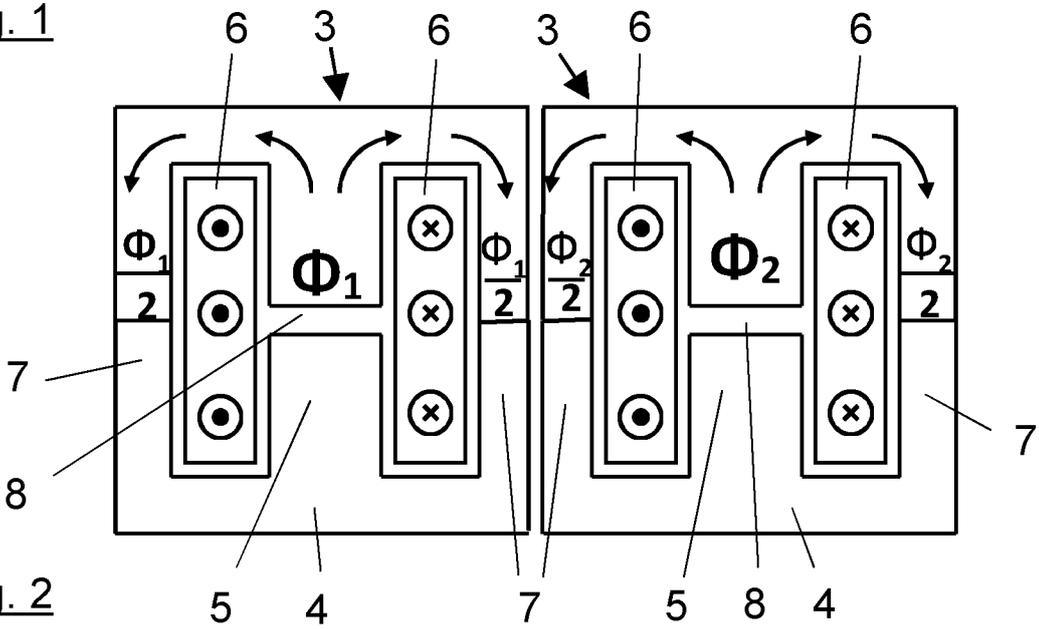


Fig. 2

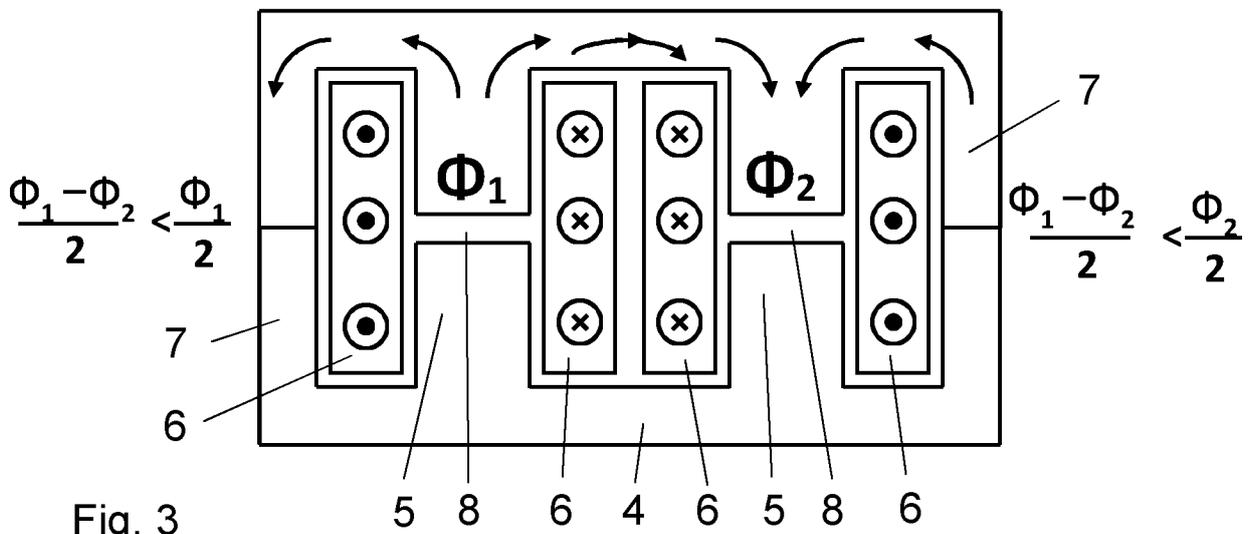


Fig. 3

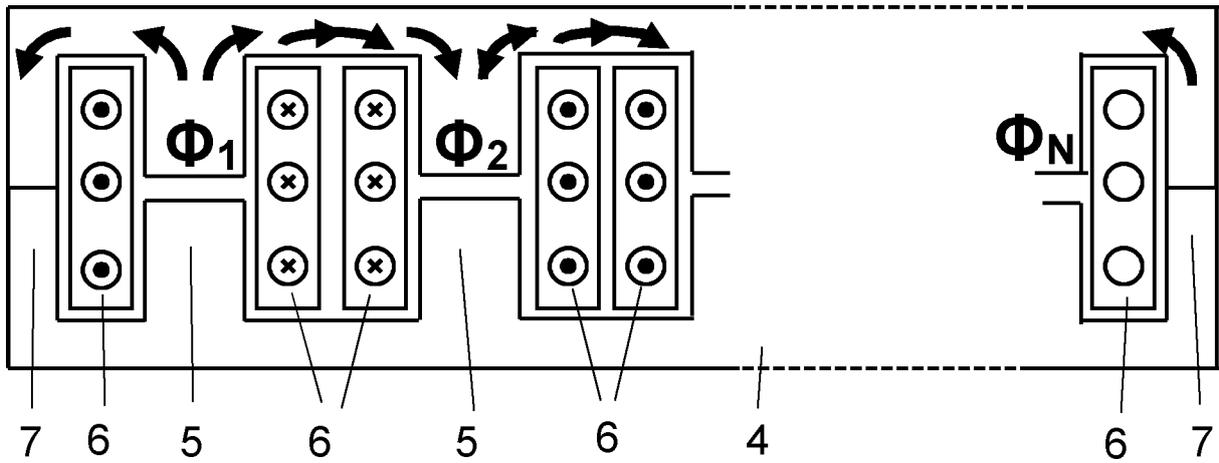


Fig. 4

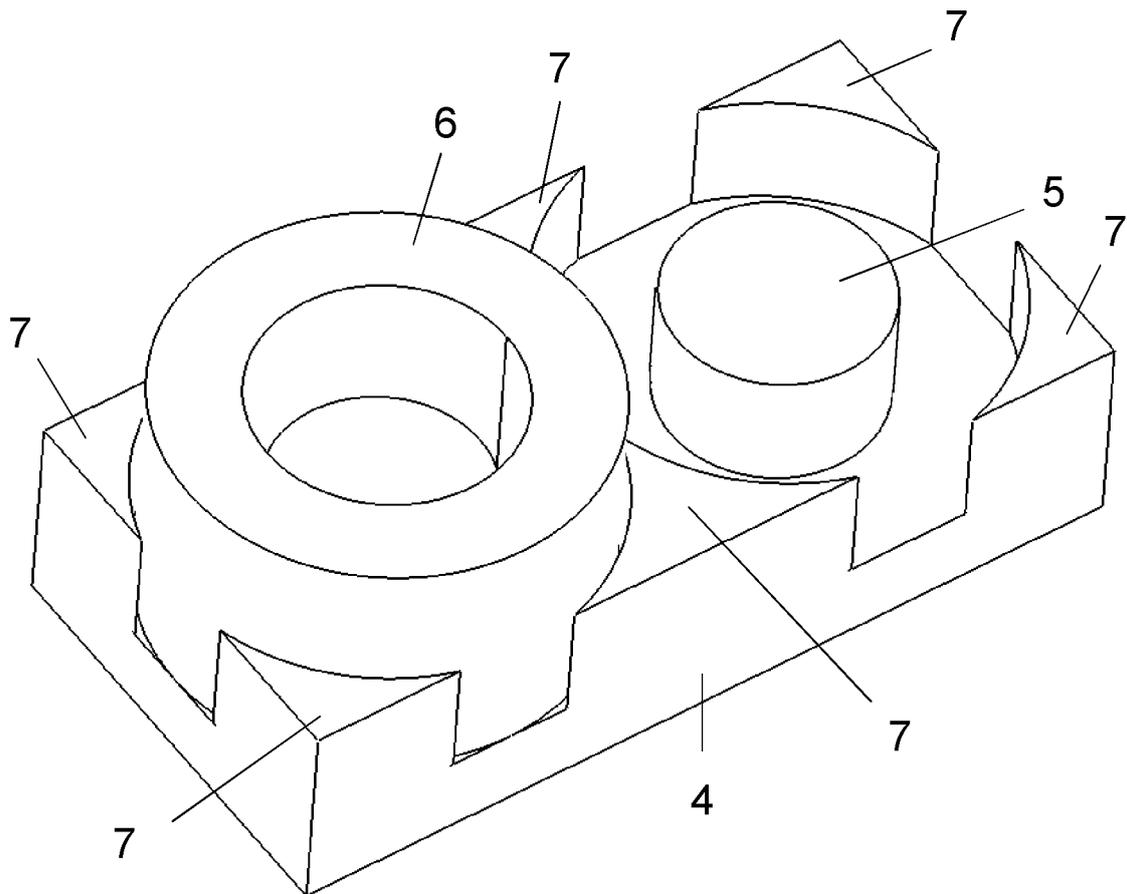


Fig. 5