



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **700 418 B1**

(51) Int. Cl.: **H02M 1/32** (2007.01)  
**H02M 7/04** (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00155/09

(22) Anmeldedatum: 04.02.2009

(43) Anmeldung veröffentlicht: 13.08.2010

(24) Patent erteilt: 31.10.2013

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.10.2013

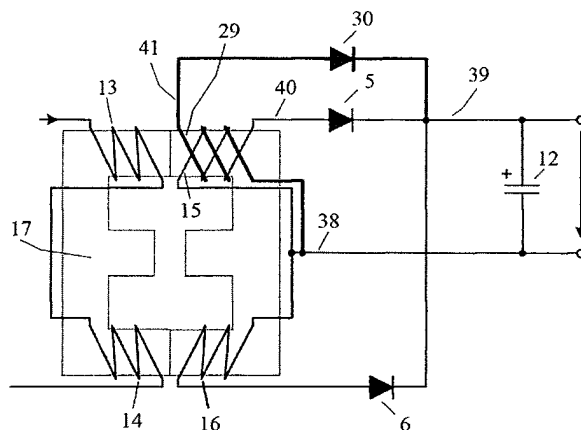
(73) Inhaber:  
ETH Zürich, ETH transfer HG E 47-49 Rämistrasse 101  
8092 Zürich (CH)

(72) Erfinder:  
Jürgen Biela, 8004 Zürich (CH)  
Uwe Badstübner, 8006 Zürich (CH)

(74) Vertreter:  
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771  
8032 Zürich (CH)

(54) **Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung und Verfahren zur Reduktion von Überspannungen an einem Gleichrichterelement.**

(57) Eine Entlastungsschaltung (29, 30) ist zur Reduktion von Überspannungen am Gleichrichterelement (5) vorgesehen. Die Gleichrichteranordnung (5, 15) weist mindestens eine erste Induktivität (15) und ein Gleichrichterelement (5) auf und ist zum Speisen einer Last (12) vorgesehen. Dabei weist die Entlastungsschaltung (29, 30) eine zweite Induktivität (29) und ein Schaltelement (30) zur Steuerung eines Stromes durch die zweite Induktivität (29) auf, wobei die zweite Induktivität (29) mit der ersten Induktivität (15) magnetisch gekoppelt ist und das Schaltelement (30) derart angeordnet und/oder angesteuert ist, dass es beim Auftreten einer Überspannung am Gleichrichterelement (5) einen erhöhten Strom durch die zweite Induktivität (29) zulässt und dadurch dem Magnetfeld der ersten und zweiten Induktivität (15, 29) mehr Energie entzieht, als wenn die genannte Überspannung nicht auftritt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft das Gebiet der Überspannungsbegrenzung bei Gleichrichterelementen infolge nichtidealer Kommutierung, beispielsweise in potentialgetrennten Gleichspannungswandlern. Die Erfindung bezieht sich auf eine Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung und ein Verfahren gemäss dem Oberbegriff der entsprechenden unabhängigen Patentansprüche.

## Stand der Technik

**[0002]** Überspannungsentlastungsschaltungen werden in leistungselektronischen Schaltungen wie z.B. Gleichspannungswandlern eingesetzt, um Schwingungen der Sperrspannung über Gleichrichterelementen wie Gleichrichterioden zu verringern. Solche Schwingungen werden beispielsweise durch resonante Ausgleichsvorgänge der parasitären Elemente von Transformator, Dioden, Induktivität und Leitungen hervorgerufen. Um eine effiziente Energieübertragung zu gewährleisten, werden nahezu verlustfreie Entlastungsschaltungen eingesetzt, welche die Energie der Schwingung zum Ausgang des Gleichspannungswandlers übertragen.

**[0003]** Beispielhaft wird die Beschreibung des Standes der Technik und anschliessend auch der Erfindung im Folgenden für einen Gleichspannungswandler mit «Current Doubler» (Stromverdoppler)-Ausgang beschrieben, wie in der Fig. 1 gezeigt. Der Gleichspannungswandler weist eine Wechselrichter-Brückenschaltung mit einer Eingangskapazität 10 und leistungselektronischen Schaltern 1, 2, 3, 4 auf, einen Transformator 11 mit einer in Serie mit einer Primärwicklung geschalteten Eingangsinduktivität 9 sowie einer parallel zu einer Sekundärwicklung geschalteten Serieschaltung von Ausgangsinduktivitäten 7, 8. An den Ausgangsinduktivitäten auftretenden Spannungen werden durch eine obere Gleichrichterdiode 5 und eine untere Gleichrichterdiode 6 auf einen Ausgangskondensator 12 geführt, welcher parallel zu einem (nicht eingezeichneten) Verbraucher liegt. Die Ausgangskapazität 12 wird als Teil der Last betrachtet, der Verbraucher, der parallel zur Ausgangskapazität 12 angeschlossen ist, bildet also zusammen mit der Ausgangskapazität 12 die Last des Gleichspannungswandlers.

**[0004]** Fig. 2 zeigt eine mögliche Wicklungsanordnung zur Realisierung der Schaltung der Fig. 1 mit Integration der Ausgangsinduktivitäten 7,8 und des Transformators 11 auf einem Kern 17 mit Wicklungen 13, 14, 15, 16. In der schematischen Darstellung sind auf dem gleichen Schenkel liegende Wicklungen nebeneinander gezeichnet, in Wirklichkeit sind sie vorzugsweise übereinander gewickelt. Weitere Informationen zu dieser Anordnung sind zu finden in: P. Xu et al. «A novel integrated current doubler rectifier», Fifteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC'00), 2000, Februar, Vol. 2, pp. 735–740.

**[0005]** Fig. 3 zeigt die physische Anordnung der Primärwicklung mit separaten Abschnitten 13, 14 und der Sekundärwicklung mit separaten Abschnitten 15, 16 auf dem Kern 17, und mit Kühlkörpern 32, 33. Die zum Erreichen weichen Schaltens benötigte Eingangsinduktivität 9 wird durch die Streuung zwischen der Primärwicklung 13, 14 und der Sekundärwicklung 15, 16 erzeugt, welche durch einen Abstand 31 zwischen jeweils übereinander angebrachten Abschnitten der Primär- und Sekundärwicklung (13 und 15, sowie 14 und 16) bestimmbar ist.

**[0006]** Fig. 4 zeigt parasitäre Elemente der Anordnung, nämlich eine Streuinduktivität 20 (resultierend aus dem nicht-idealen Kopplungskoeffizienten zwischen Primärwicklung 13, 14 und Sekundärwicklung 15, 16) in Serie zu einem oberen Abschnitt 15 der Sekundärwicklung, und eine Wicklungskapazität 19 parallel zu diesem oberen Abschnitt. Dadurch entsteht ein LC-Schwingkreis bestehend aus der Streuinduktivität 20, welche parallelgeschaltet ist zur Wicklungskapazität 19 und ebenfalls parallelgeschaltet ist zur Serieschaltung einer parasitären Diodenkapazität 18 in Serie mit der Ausgangskapazität 12. Sobald der Strom im Laufe einer Schaltperiode von der oberen Gleichrichterdiode 5 auf die untere Gleichrichterdiode 6 kommutiert und die obere Gleichrichterdiode 5 die Sperrspannung übernimmt, wird der beschriebene LC-Schwingkreis angeregt, und die Sperrspannungsbeanspruchung der oberen Gleichrichterdiode 5 wird durch die überlagerte oszillierende Spannung erhöht, was zur Zerstörung dieses Bauelements führen kann resp. eine Diodendimensionierung weit über den idealen Bauteilkenngrössen erfordern würde. Analoge nichtideale Elemente und entsprechende Vorgänge treten natürlich auch am unteren Abschnitt 16 der Sekundärwicklung und der unteren Gleichrichterdiode 6 auf.

**[0007]** Um die oszillierenden Spannungsamplituden zu reduzieren, ist es bekannt, Entlastungsschaltungen einzusetzen, welche der Energie aus der Schwingung in den Ausgang speisen und demnach, bis auf Bauteilverluste, verlustfrei eingesetzt werden können. Eine solche Entlastungsschaltung für die beispielhaft aufgeführte Schaltungstopologie ist beschrieben in: H. Mao et al. «Lossless snubber circuits for current doubler rectifiers to reduce reverse-recovery losses», The 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'03), 2003, November, Vol. 3, pp 2639–2644.

**[0008]** Fig. 5 (wieder ohne die nichtidealen Elemente 18, 19, 20 gezeichnet) zeigt diese Entlastungsschaltung, mit zwei zusätzlichen Entlastungsdioden 21, 23 pro Gleichrichterdiode (in Fig. 5 nur für die obere Gleichrichterdiode 5 gezeichnet) sowie einer Entlastungskapazität 22, wodurch die Spannung über der oberen Sekundärwicklung 15 geklemmt respektive begrenzt wird. Bei der Umkommutierung des Stromes auf die untere Gleichrichterdiode 6 und beim Aufbau der Sperrspannung über der oberen Gleichrichterdiode 5 wird die Entlastungskapazität 22 über eine erste Entlastungsdiode 21 geladen. Während der negativen Schwingungshalbwellenzeit lädt die Entlastungskapazität 22 über eine zweite Entlastungsdiode 23 den Ausgangskondensator 12. Der Lade- und Entladevorgang der Entlastungskapazität 22 wiederholt sich für die darauffolgenden positiven und negativen Schwingungshalbwellen. Dadurch wird die Schwingungsenergie sukzessive abgebaut.

[0009] Eine weitere bekannte Entlastungsschaltung aus dem genannten Artikel von H. Mao et al. ist dargestellt in Fig. 6. Sie besteht aus drei weiteren Entlastungsdioden 24, 25, 26 und zwei weiteren Entlastungskapazitäten 27, 28 pro Gleichrichterdiode, in Fig. 6 nur für die obere Gleichrichterdiode 5 gezeichnet, wodurch die Spannung über der Gleichrichterdiode 5 geklemmt wird. Das Prinzip der unterschiedlichen Lade- und Entladepfade ist der vorangegangenen bekannten Entlastungsschaltungen gleich: Während der positiven Halbschwingungszeit der Sperrspannung überlagerten Schwingung werden die Entlastungskapazitäten 27, 28 über eine der Entlastungsdioden 25 geladen, und während der negativen Halbschwingungszeit werden die Entlastungskapazitäten 27, 28 zum Ausgangskondensator 12 über die anderen Entlastungsdioden 24, 26 entladen. Dadurch wird die Spannung über der Gleichrichterdiode 5 geklemmt und die Schwingungsenergie abgebaut.

[0010] Die bisher beschriebenen Methoden weisen eine relativ hohe erste Überschwingungsspitze auf und benötigen mindestens drei zusätzliche Beschaltungselemente. Des Weiteren wird bei den bekannten Methoden die Schwingungsenergie durch eine unmittelbare elektrische Kopplung gedämpft.

### **Darstellung der Erfindung**

[0011] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, eine Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung und ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, welche die oben genannten Nachteile behebt. Insbesondere soll damit die Reduktion des Überschwingens infolge der nicht-idealen Bauelemente mit einem verringerten zusätzlichen Beschaltungsaufwand geschehen.

[0012] Diese Aufgabe lösen eine Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung und ein Verfahren mit den Merkmalen der entsprechenden unabhängigen Patentansprüche.

[0013] Die Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung ist also vorgesehen zur Reduktion von Überspannungen an einem Gleichrichterelement einer Gleichrichteranordnung, wobei die Gleichrichteranordnung neben dem Gleichrichterelement mindestens eine erste Induktivität aufweist und zum Speisen einer Last vorgesehen ist. Dabei weist die Entlastungsschaltung eine zweite Induktivität und ein Schaltelement zur Steuerung eines Stromes durch die zweite Induktivität auf, wobei die zweite Induktivität mit der ersten Induktivität magnetisch gekoppelt ist. Das Schaltelement ist derart angeordnet und/oder angesteuert, dass es beim Auftreten einer Überspannung am Gleichrichterelement einen erhöhten Strom durch die zweite Induktivität zulässt und dadurch dem Magnetfeld der ersten und zweiten Induktivität mehr Energie entzieht, als wenn die genannte Überspannung nicht auftritt.

[0014] Durch die dem Magnetfeld entzogene Energie wird die Schwingung gedämpft und die Überspannung reduziert oder eliminiert. Der Strom durch die zweite Induktivität wird vorzugsweise in den Ausgangskreis der Gleichrichteranordnung, also in die Last, eingespeist, oder in einen von der Last verschiedenen Verbraucher, insbesondere in eine Hilfsspannungsversorgung der Gleichrichteranordnung. Eine solche Hilfsspannungsversorgung kann beispielsweise zur Versorgung von Steuer- oder Treiberschaltungen für Leistungshalbleiter erforderlich sein.

[0015] Das Gleichrichterelement ist beispielsweise eine Diode oder, bei einem aktiven Gleichrichter, ein gesteuerter Schalter, typischerweise ein Halbleiterschalter wie ein IGBT oder ein FET. Das Schaltelement ist beispielsweise ebenfalls eine Diode, welche in Serie mit der zweiten Induktivität geschaltet ist. Es kann aber auch ein aktiv gesteuerter Halbleiterschalter sein, welcher aufgrund einer Spannungsmessung über der Last oder über dem Gleichrichterelement angesteuert wird, um beim Auftreten einer Überspannung dem Magnetfeld Energie zu entnehmen.

[0016] Anders als bei den beschriebenen bekannten Entlastungsschaltungen wird also bei der Erfindung die Schwingungsenergie mittels magnetischer Kopplung reduziert und zum Ausgangskreis bzw. zu einem Hilfskreis geführt. Die magnetische Kopplung wird durch eine zusätzliche Wicklung erreicht. Es sind keine Entlastungskondensatoren erforderlich, der zusätzliche Raumbedarf durch die Entlastungsschaltung ist also klein.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die erste und die zweite Induktivität durch Wicklungen realisiert, welche ineinander gewickelt sind, also auf demselben Abschnitt des Kernes, beispielsweise konzentrisch zueinander. Sie können aber auch durch Wicklungen realisiert sind, welche auf separaten Schenkeln eines Transformatorernes angeordnet sind, insbesondere kann die zweite Induktivität durch eine Wicklung realisiert ist, welche auf dem mittleren Schenkel eines E-Kern-Transformators angeordnet ist, wobei die erste Induktivität auf einem äusseren Schenkel angeordnet ist.

[0018] Weitere bevorzugte Ausführungsformen gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor. Dabei sind Merkmale der Verfahrensansprüche sinngemäss mit den Vorrichtungsansprüchen kombinierbar und umgekehrt.

### **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

[0019] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

Fig. 1 einen Umrichter gemäss dem Stand der Technik;

- Fig. 2 eine elektrische Wicklungsanordnung des Umrichters der Fig. 1 mit Integration der magnetischen Komponenten auf einen Kern;
- Fig. 3 eine physische Wicklungsanordnung des Umrichters der Fig. 2;
- Fig. 4 zusätzlich nichtideale, parasitäre Elemente eines Sekundärkreises;
- Fig. 5 eine bekannte Entlastungsschaltung;
- Fig. 6 eine weitere bekannte Entlastungsschaltung;
- Fig. 7 eine Entlastungsschaltung gemäss der Erfindung für den Transformator der Fig. 1–4;
- Fig. 8 die Entlastungsschaltung gemäss der Erfindung zur Speisung eines von der Last verschiedenen Verbrauchers;
- Fig. 9 einen Sperrspannungsverlauf mit und ohne Entlastungsschaltung gemäss der Erfindung; und
- Fig. 10 eine Entlastungsschaltung gemäss der Erfindung in einer einfachen Gleichrichterschaltung.

**[0020]** Die in den Zeichnungen verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezugszeichenliste zusammengefasst aufgelistet. Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

#### Wege zur Ausführung der Erfindung

**[0021]** Fig. 7 zeigt eine Entlastungsschaltung gemäss der Erfindung für den Transformator der Fig. 1–6. Als Gleichrichterelement ist die obere Gleichrichterdiode 5 des beispielhaft herangezogenen Gleichspannungswandlers dargestellt: Die Entlastungsschaltung weist eine zusätzliche Diode oder Entlastungsdiode 30 und eine gegensinnig zu einem oberen Abschnitt 15 der Sekundärwindung angebrachte Dämpfungswicklung 29 auf. Die Dämpfungswicklung 29 kann prinzipiell auch auf dem mittleren Schenkel des Transformator kernels 17 angebracht werden, in Hinblick auf einen besseren Kopplungskoeffizienten zwischen dem oberen Abschnitt 15 der Sekundärwicklung und der Dämpfungswicklung 29 wurden diese aber vorzugsweise auf dem gleichen Schenkel des Transformator kernels 17 ineinander gewickelt.

**[0022]** Der obere Abschnitt 15 der Sekundärwicklung und die Dämpfungswicklung 29 weisen einen gemeinsamen Anschlusspunkt 38 auf und sind von diesem ausgehend gegensinnig zueinander gewickelt. Die Gleichrichterdiode 5 ist mit einem ersten Anschluss an demjenigen Anschluss 40 des oberen Abschnitts 15 der Sekundärwicklung angeschlossen, welcher nicht gleich dem gemeinsamen Anschlusspunkt 38 ist, und ist mit einem zweiten Anschluss (vorzugsweise ihrer Kathode) an einem ersten Lastanschluss 39 angeschlossen.

**[0023]** Die Spannung über dem oberen Abschnitt 15 der Sekundärwicklung wird mit dem Übersetzungsverhältnis zwischen der Dämpfungswicklung 29 und dem oberen Abschnitt 15 der Sekundärwicklung transformiert, auf die Spannung über den Ausgangskondensator 12 geklemmt und liegt über der Entlastungsdiode 30 an. Die maximale Sperrspannung über der Gleichrichterdiode 5 kann mittels der Wicklungszahl von Dämpfungswicklung 29 und dem oberen Abschnitt 15 der Sekundärwicklung sowie der Ausgangsspannung über den Ausgangskondensator 12 berechnet und eingestellt werden. Bei der Wahl der maximalen Sperrspannung geringfügig über der stationären (idealen) Sperrspannung über der Gleichrichterdiode 5 wird die Entlastungsdiode 30 leitend, sobald die Spannung über der Gleichrichterdiode 5 die maximale Sperrspannung überschreiten würde. Damit wird die Schwingungsenergie dem magnetischen Kreis entnommen und direkt zum Ausgangskreis respektive der Last mit dem Ausgangskondensator 12 übertragen.

**[0024]** Fig. 8 zeigt dasselbe Prinzip der Entlastung, jedoch zur Speisung eines von der Last verschiedenen Verbrauchers 34. Dieser Verbraucher 34 ist also zwischen der Kathode der Entlastungsdiode 30 und dem gemeinsamen Anschlusspunkt angeschlossen. Die Energie der Überschwingung wird also in beiden Fällen magnetisch gekoppelt durch eine zusätzliche Wicklung und einer Diode zum Ausgang des Gleichspannungswandlers geleitet oder für weitere Schaltungen wie z.B. Hilfsspannungsversorgungen zur Verfügung gestellt.

**[0025]** Fig. 9 zeigt einen Sperrspannungsverlauf mit und ohne Entlastungsschaltung gemäss der Erfindung. Darin eingezeichnet ist eine ideale, blockförmig verlaufende Sperrspannung 35, eine aufgrund der Nichtidealitäten des Schaltkreises entstehende schwingende Sperrspannung 36 ohne die erfindungsgemässe Dämpfung, und ein durch das Wicklungsverhältnis zwischen der Dämpfungswicklung 29 und dem oberen Abschnitt 15 der Sekundärwicklung definierter Spannungsschwellwert 37. Überschreitet die schwingende Sperrspannung 36 den Spannungsschwellwert 37, so wird ein Teil der sonst den Schwingkreis speisenden Energie von der Primärseite der Potentialtrennung durch die Dämpfungsschaltung 29, 30 entnommen und übertragen und somit die Gleichrichterschaltung entlastet.

**[0026]** Eine detaillierte Erklärung dieses Vorganges erfolgt nun anhand der Fig. 10. Diese zeigt eine Entlastungsschaltung gemäss der Erfindung in einer einfachen Gleichrichterschaltung. Diese Schaltung kann Teil einer Anordnung wie bei einem Gleichrichter gemäss den Fig. 1–8 sein, aber auch Teil einer an sich beliebigen anderen Gleichrichterschaltung, bei welcher

eine Überspannung an einem Gleichrichterelement wie der Gleichrichterdiode 5 zu vermeiden ist. Der obere Abschnitt 15 der Sekundärwicklung wird deshalb im Folgenden verallgemeinert als Hauptwicklung 15 bezeichnet.

**[0027]** Die Sperrspannung über der Gleichrichterdiode 5 ist mit  $U_D$  bezeichnet, die Spannung der Hauptwicklung 15 als  $V_S$ , jene über der Dämpfungswicklung 29 als  $V_D$ , die Spannung an der Entlastungsdiode 30 als  $U_{DS}$  und die Lastspannung als  $U_{OUT}$ . Im Entlastungskreis gilt

$$U_{DS} = V_D + U_{OUT}$$

**[0028]** Wenn also  $-V_D \geq U_{OUT}$ , so leitet die Entlastungsdiode 30. Dadurch wird die Spannung  $V_D$  auf  $-U_{OUT}$  geklemmt, also ist in diesem Zustand

$$V_D = -U_{OUT}$$

**[0029]** Aufgrund der magnetischen Kopplung von  $V_D$  und  $V_S$  gilt allgemein und insbesondere auch für die Maximalwerte

$$V_{S\max} = V_{D\max} \frac{N_S}{N_D}$$

wobei  $N_S$  und  $N_D$  die Wicklungszahlen der Hauptwicklung 15 und der Dämpfungswicklung 29 sind. Beim Einsetzen der obigen Beziehungen in die Gleichung für die Spannungen im Kreis aus Hauptwicklung 15, Gleichrichterdiode 5 und Last 12:

$$U_{D\max} = U_{OUT} - V_{S\max}$$

ergibt sich für die maximale Sperrspannung  $U_{D\max}$

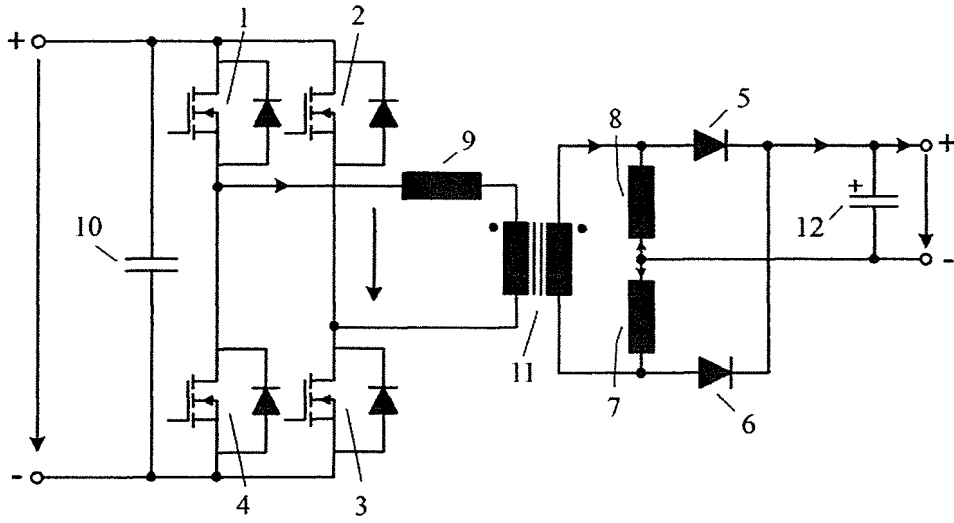
$$U_{D\max} = U_{OUT} + U_{OUT} \frac{N_S}{N_D} = U_{OUT} \left( 1 + \frac{N_S}{N_D} \right)$$

**[0030]** Die maximale Sperrspannung bezüglich der nominalen Ausgangsspannung kann also durch das Wicklungsverhältnis der Hauptwicklung 15 und der Dämpfungswicklung 29 eingestellt werden.

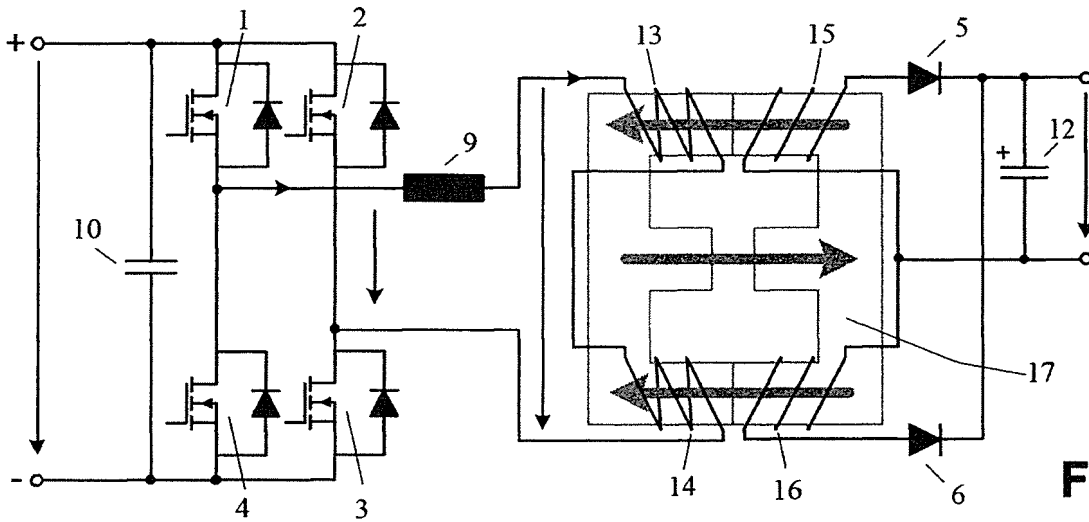
### Patentansprüche

1. Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung (29, 30), wobei die Gleichrichteranordnung (5, 15) mindestens eine erste Induktivität (15) und ein Gleichrichterelement (5) aufweist und zum Speisen einer Last (12) vorgesehen ist, und die Entlastungsschaltung (29, 30) zur Reduktion von Überspannungen am Gleichrichterelement (5) vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Entlastungsschaltung (29, 30) eine zweite Induktivität (29) und ein Schaltelement (30) zur Steuerung eines Stromes durch die zweite Induktivität (29) aufweist, wobei die zweite Induktivität (29) mit der ersten Induktivität (15) magnetisch gekoppelt ist und das Schaltelement (30) derart angeordnet und/oder angesteuert ist, dass es beim Auftreten einer Überspannung am Gleichrichterelement (5) einen erhöhten Strom durch die zweite Induktivität (29) zulässt und dadurch dem Magnetfeld der ersten und zweiten Induktivität (15, 29) mehr Energie entzieht, als wenn die genannte Überspannung nicht auftritt.
2. Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung (29, 30) gemäss Anspruch 1, wobei die erste und die zweite Induktivität (15, 29) durch Wicklungen realisiert sind, welche ineinander gewickelt sind.
3. Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung (29, 30) gemäss Anspruch 1, wobei die erste und die zweite Induktivität (15, 29) durch Wicklungen realisiert sind, welche auf separaten Schenkeln eines Transformator-kernes (17) angeordnet sind, insbesondere indem die zweite Induktivität (29) durch eine Wicklung realisiert ist, welche auf dem mittleren Schenkel eines E-Kern-Transformators angeordnet ist.
4. Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung (29, 30) gemäss einem der bisherigen Ansprüche, wobei die erste und die zweite Induktivität (15, 19) einen gemeinsamen Anschlusspunkt (38) aufweisen und von diesem ausgehend gegenseitig zueinander gewickelt sind.
5. Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung (29, 30) gemäss einem der bisherigen Ansprüche, wobei die Gleichrichteranordnung (5, 15) eine Serienschaltung der ersten Induktivität (15) und des Gleichrichterelementes (5) zur Speisung der Last (12) aufweist, und das Gleichrichterelement (5) mit einem ersten Anschluss an dem Anschluss (40) der ersten Induktivität (15) angeschlossen ist, welcher nicht gleich dem gemeinsamen Anschlusspunkt (38) ist, und das Gleichrichterelement (5) mit einem zweiten Anschluss an einem ersten Lastanschluss (39) angeschlossen ist.
6. Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung (29, 30) gemäss einem der bisherigen Ansprüche, wobei das Schaltelement (30) eine in Serie mit der zweiten Induktivität (29) geschaltete Diode ist, und das Schaltelement (30) mit einem ersten Anschluss an dem Anschluss (41) der zweiten Induktivität (29) angeschlossen ist, welcher nicht gleich dem gemeinsamen Anschlusspunkt (38) ist, und das Schaltelement (30) mit einem zweiten Anschluss an einem zweiten Anschluss des Gleichrichterelementes (5) angeschlossen ist.
7. Gleichrichteranordnung mit Entlastungsschaltung (29, 30) gemäss Anspruch 5 oder gemäss den Ansprüchen 5 und 6, wobei das Gleichrichterelement (5) eine Diode ist und diese Diode (5) mit ihrer Kathode an den ersten Lastanschluss (39) angeschlossen ist, oder wobei das Gleichrichterelement (5) ein steuerbarer Halbleiterschalter ist.

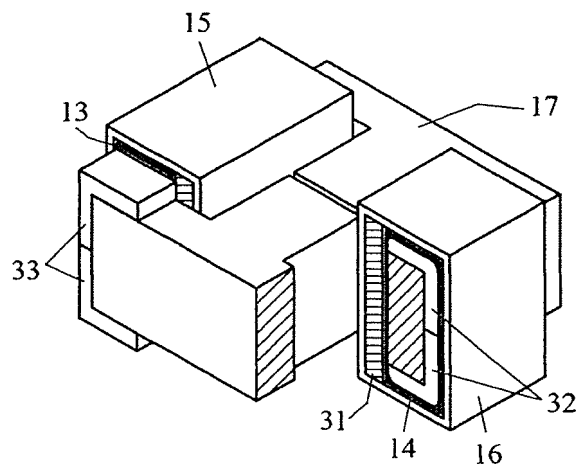
8. Verfahren zur Reduktion von Überspannungen an einem Gleichrichterelement (5) einer Gleichrichteranordnung (5, 15) wobei die Gleichrichteranordnung (5, 15) mindestens eine erste Induktivität (15) und das Gleichrichterelement (5) zur Speisung einer Last (12) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass beim Auftreten einer Überspannung am Gleichrichterelement (5) ein Schaltelement (30) einen Strom durch eine zweite Induktivität (29) erhöht, wobei die zweite Induktivität (29) mit der ersten Induktivität (15) magnetisch gekoppelt ist, und dadurch dem Magnetfeld der ersten und zweiten Induktivität (15, 29) mehr Energie entzieht als wenn die genannte Überspannung nicht auftritt.



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**

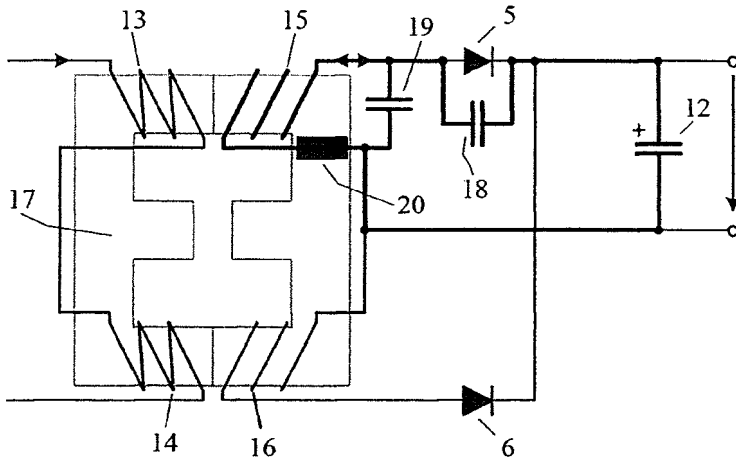


Fig. 4

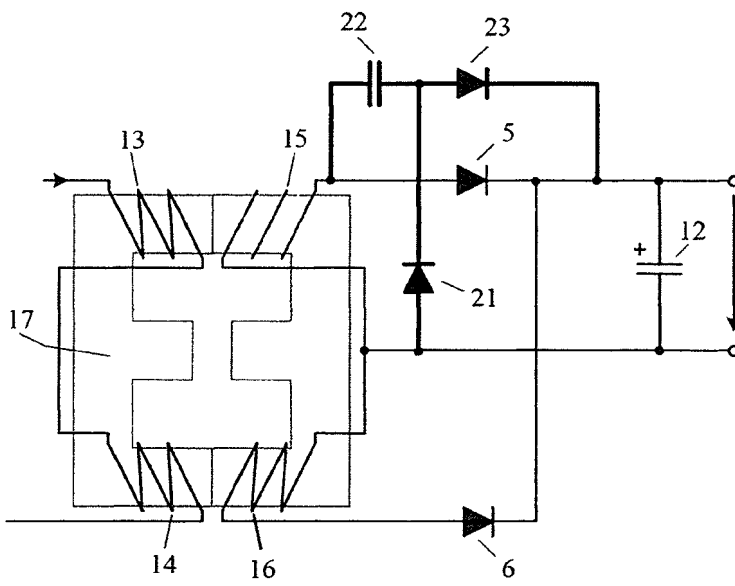


Fig. 5

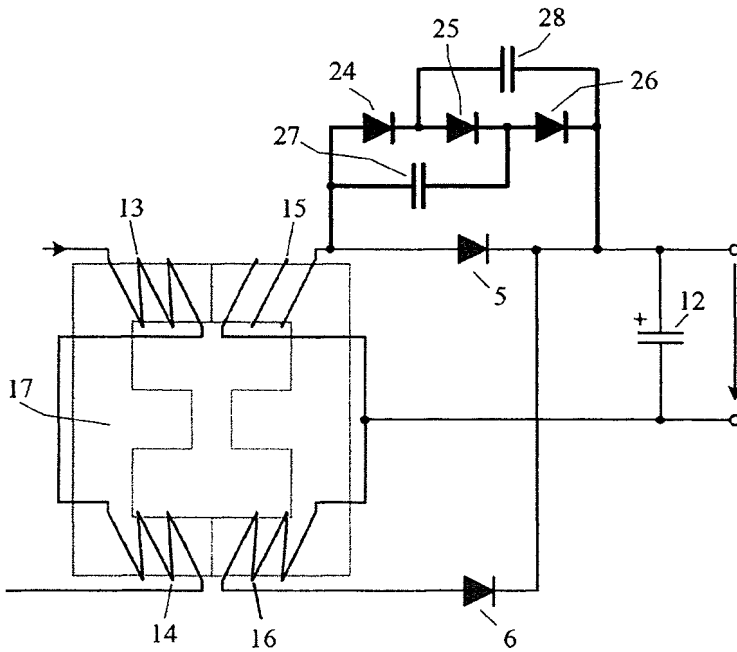
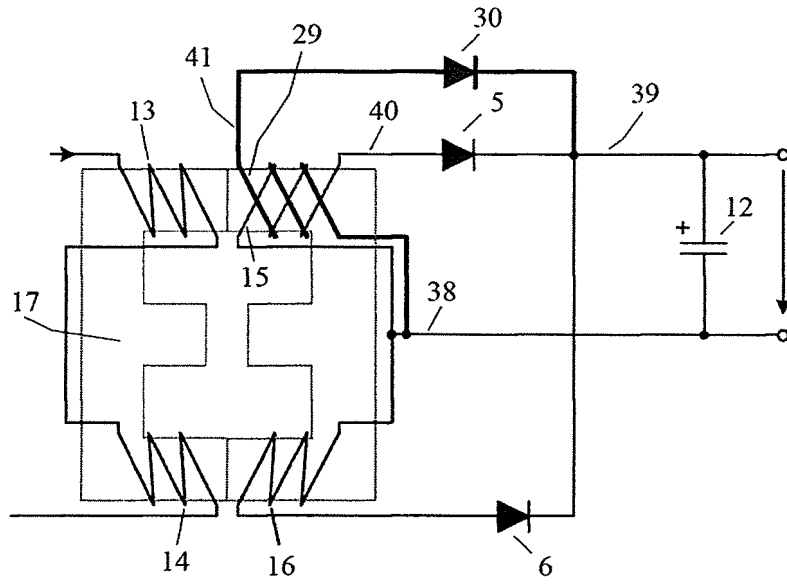
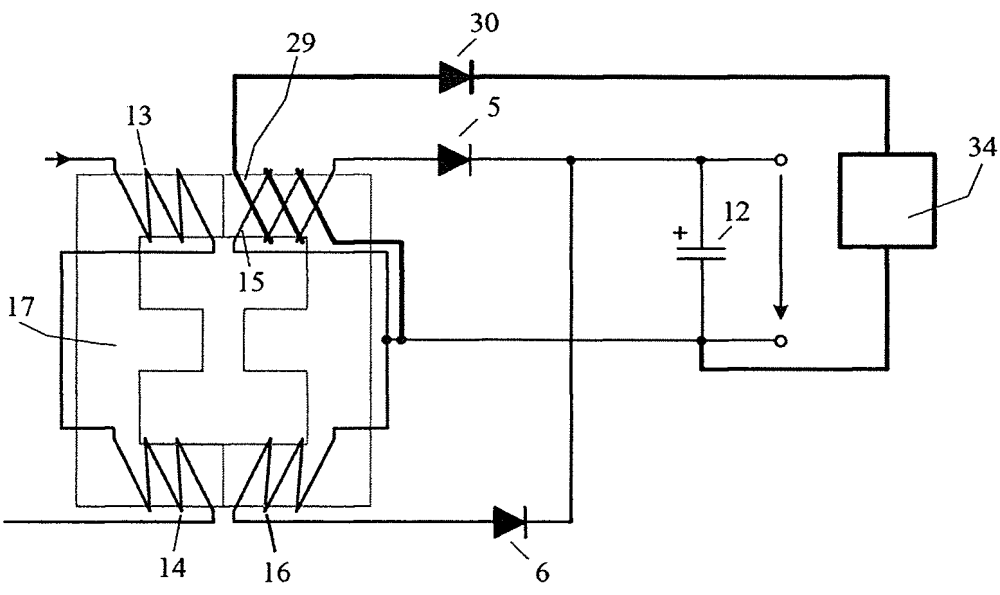


Fig. 6

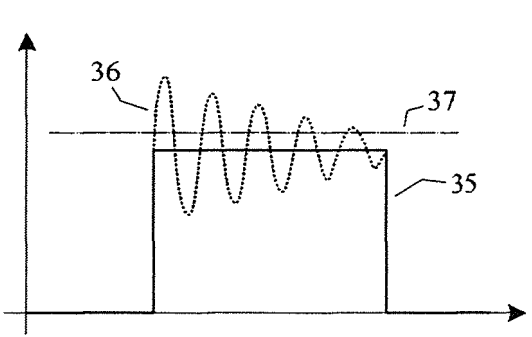




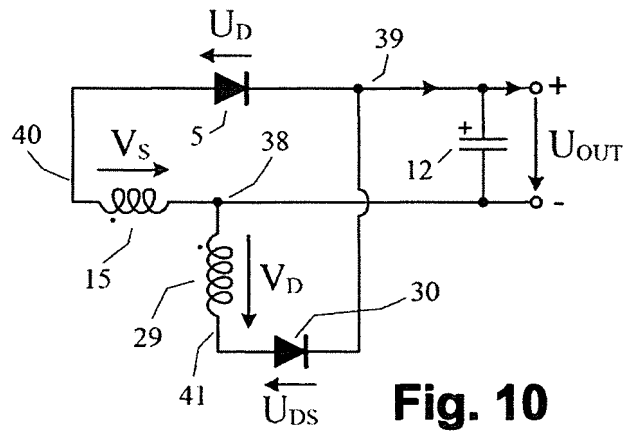
**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**



**Fig. 10**