

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50231/2012
(22) Anmeldetag: 13.06.2012
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2013

(51) Int. Cl. : **H02J 11/00** (2006.01)
G05F 1/67 (2006.01)
H02M 1/092 (2006.01)

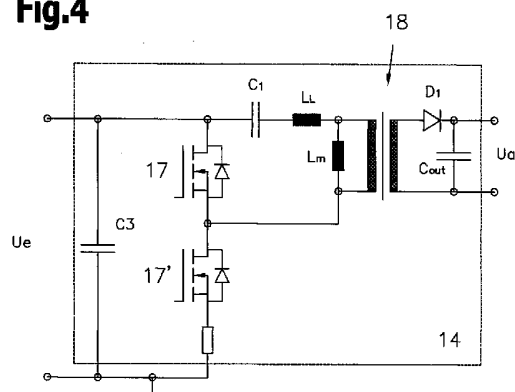
(56) Entgegenhaltungen:
DE 102011087431 A1
US 2011050190 A1
US 2006152199 A1
DE 102004001450 A1
EP 1143594 A2

(73) Patentanmelder:
FRONIUS INTERNATIONAL GMBH
4643 PETTENBACH (AT)

(54) **Schaltnetzteil sowie Wechselrichter und Strangüberwachung mit einem solchen Schaltnetzteil**

(57) Die Erfindung betrifft ein Schaltnetzteil (14) zur Versorgung der Komponenten einer Photovoltaikanlage (1) mit einer konstanten Ausgangsgleichspannung (U_a), mit Anschlüssen (15) zur Verbindung mit den Photovoltaikmodulen (2) der Photovoltaikanlage (1) zur Bereitstellung einer Eingangsgleichspannung (U_e), mit einem Gleichspannungswandler (16) enthaltend zumindest einen Schalter (17), einem Transformator (18), einer Regeleinrichtung (22) zur Ansteuerung des zumindest einen Schalters (17) mit einer Schaltfrequenz (f_s) zur Erzielung der gewünschten Ausgangsgleichspannung (U_a), einem Ausgangsgleichrichter (23) und mit Anschlüssen (24) zur Bereitstellung der Ausgangsgleichspannung (U_a), sowie einen Wechselrichter (4) und eine Strangüberwachung (3) einer Photovoltaikanlage (1). Zur Schaffung einer möglichst verlustarmen Ausgangsgleichspannung (U_a) bei einem sehr weiten Bereich der Eingangsgleichspannung (U_e) zwischen 200V und 1500V ist der Gleichspannungswandler (16) durch eine Kombination aus Sperr- und Durchflusswandler mit zwei in Serie angeordneten Schaltern (17, 17') gebildet, wobei die Schalter (17, 17') mit der Regeleinrichtung (22) verbunden sind, und die Regeleinrichtung (22) derart ausgebildet ist, dass die Regelung der Ausgangsspannung (U_a) derart erfolgt, dass die Schalter (17, 17') in Abhängigkeit des primärseitigen Stroms durch die Primärwicklung (20) des Transformators (18) geschaltet sind.

Fig.4



Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft ein Schaltnetzteil (14) zur Versorgung der Komponenten einer Photovoltaikanlage (1) mit einer konstanten Ausgangsgleichspannung (U_a), mit Anschlüssen (15) zur Verbindung mit den Photovoltaikmodulen (2) der Photovoltaikanlage (1) zur Bereitstellung einer Eingangsgleichspannung (U_e), mit einem Gleichspannungswandler (16) enthaltend zumindest einen Schalter (17), einem Transformator (18), einer Regeleinrichtung (22) zur Ansteuerung des zumindest einen Schalters (17) mit einer Schaltfrequenz (f_s) zur Erzielung der gewünschten Ausgangsgleichspannung (U_a), einem Ausgangsgleichrichter (23) und mit Anschlüssen (24) zur Bereitstellung der Ausgangsgleichspannung (U_a), sowie einen Wechselrichter (4) und eine Strangüberwachung (3) einer Photovoltaikanlage (1). Zur Schaffung einer möglichst verlustarmen Ausgangsgleichspannung (U_a) bei einem sehr weiten Bereich der Eingangsgleichspannung (U_e) zwischen 200V und 1500V ist der Gleichspannungswandler (16) durch eine Kombination aus Sperr- und Durchflusswandler mit zwei in Serie angeordneten Schaltern (17, 17') gebildet, wobei die Schalter (17, 17') mit der Regeleinrichtung (22) verbunden sind, und die Regeleinrichtung (22) derart ausgebildet ist, dass die Regelung der Ausgangsspannung (U_a) derart erfolgt, dass die Schalter (17, 17') in Abhängigkeit des primärseitigen Stroms durch die Primärwicklung (20) des Transformators (18) geschaltet sind.

(Fig. 4)

Die Erfindung betrifft ein Schaltnetzteil zur Versorgung der Komponenten einer Photovoltaikanlage mit einer konstanten Ausgangsgleichspannung, mit Anschlüssen zur Verbindung mit den Photovoltaikmodulen der Photovoltaikanlage zur Bereitstellung einer Eingangsgleichspannung im Bereich zwischen 200V und 1500V, mit einem Gleichspannungswandler enthaltend zumindest einen Schalter, einem Transformator mit einem Spulenkörper, einer Primärwicklung und einer Sekundärwicklung, einer Regeleinrichtung zur Ansteuerung des zumindest einen Schalters des Gleichspannungswandlers mit einer Schaltfrequenz zur Erzielung der gewünschten Ausgangsgleichspannung, einem Ausgangsgerichter und mit Anschlüssen zur Bereitstellung der Ausgangsgleichspannung.

Weiters betrifft die Erfindung einen Wechselrichter und eine Strangüberwachung für eine Photovoltaikanlage mit Photovoltaikmodulen, mit einer Spannungsversorgung.

Photovoltaikanlagen dienen dazu, elektrische Energie aus Licht, insbesondere Sonnenlicht, zu erzeugen und in Versorgungsnetze einzuspeisen bzw. zum Betrieb von elektrischen Verbrauchern zu nutzen. Zur Erzeugung von Gleichspannung aus Lichtenergie werden Photovoltaikmodule eingesetzt. Die erzeugte Gleichspannung wird mithilfe von Wechselrichtern in Wechselspannung umgewandelt. In letzter Zeit geht der Trend zur Verwendung einer höheren Anzahl an Photovoltaikmodulen mit entsprechend höheren Eingangsgleichspannungen vom unteren Niederspannungsbereich von beispielsweise 200V bis in den Mittelspannungsbereich von beispielsweise 1500V. Für das Management einer großen Anzahl an seriell und parallel zusammengeschalteten Photovoltaikmodulen werden sogenannte Strangüberwachungen (String Controller) eingesetzt. In Zukunft ist eine Fortsetzung des Trends zu noch mehr Photovoltaikmodulen bzw. noch höheren Eingangsgleichspannungen zu erwarten.

Zur Versorgung der elektrischen Komponenten der Photovoltaikanlage, insbesondere dem Wechselrichter und der allfälligen Strangüberwachung, falls diese nicht im Wechselrichter integriert ist, dienen üblicherweise Schaltungen zur Spannungsversorgung, welche aus der Gleichspannung der Photovoltaikmodule die erforderliche Gleichspannung zum Betrieb der elektrischen

Komponenten der Photovoltaikanlage erzeugen. Für den Einsatz bei bisherigen Photovoltaikanlagen mit begrenzten Eingangsspannungsbereichen konnten herkömmliche Spannungsversorgungen mit relativ gutem Wirkungsgrad und relativ geringen Verlusten eingesetzt werden. Durch den höheren Bereich der Eingangsgleichspannung von beispielsweise 200V bis 1500V ist es mit herkömmlichen Technologien jedoch nicht mehr möglich Spannungsversorgungsschaltungen bereitzustellen, welche bei allen möglichen Eingangsspannungen geringe Verluste und einen relativ guten Wirkungsgrad aufweisen, da bei einem so hohen Eingangsspannungsbereich die Energieeffizienz mit Schaltverlusten nicht zufriedenstellend ist und ein hoher Aufwand zur Kühlung der Schalter entsteht.

Bekannte Spannungsversorgungen für Komponenten netzgekoppelter Wechselrichter arbeiten mit Sperrwandlertopologien, welche den Nachteil aufweisen, dass bei höheren Spannungen immer höhere Schaltverluste entstehen und die Energieeffizienz somit sinkt. Bei Spannungen nahe der Mittelspannung oder darüber ist keine energieeffiziente Versorgung mehr möglich, und die in den Schaltern entstehenden Verluste können nur mit erhöhtem Kühlaufwand reduziert werden, wodurch jedoch wieder die Gesamtkosten steigen und der gesamte Wirkungsgrad sinkt.

Andere Lösungen teilen den großen Eingangsgleichspannungsbereich in zwei oder mehrere Bereiche auf und verwenden entsprechend viele serielle Spannungsversorgungen bzw. Schaltnetzteile mit entsprechend vielen Transformatorwicklungen. Dies erhöht jedoch den Schaltungsaufwand und somit die Kosten.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist die Schaffung eines oben genannten Schaltnetzteils und eines oben genannten Wechselrichters bzw. einer oben genannten Strandüberwachung für eine Photovoltaikanlage, durch welche auch bei einem relativ hohen Eingangsgleichspannungsbereich von 200V bis 1500V eine effiziente und verlustarme Versorgung der Komponenten der Photovoltaikanlage mit elektrischer Energie erzielt werden kann. Nachteile des Standes der Technik sollen vermieden oder zumindest reduziert werden.

Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe durch ein oben genann-

tes Schaltnetzteil, wobei der Gleichspannungswandler durch eine Kombination aus Sperr- und Durchflusswandler mit zwei in Serie angeordneten Schaltern gebildet ist, wobei die Schalter mit der Regeleinrichtung verbunden sind, und die Regeleinrichtung derart ausgebildet ist, dass die Regelung der Ausgangsspannung derart erfolgt, dass die Schalter in Abhängigkeit des primärseitigen Stroms durch die Primärwicklung des Transformators geschaltet sind. Der erfindungsgemäße Gleichspannungswandler des Schaltnetzteils wird durch eine Kombination aus Sperr- und Durchflusswandler in Halbbrückenordnung gebildet. Beim gegenständlichen Schaltnetzteil werden die Schalter so gestaltet, dass möglichst geringe Verluste auftreten, was zur Erhöhung des Wirkungsgrades eines mit diesem Schaltnetzteil ausgestatteten Wechselrichters führt. Zusätzlich ist die Regeleinrichtung des gegenständlichen Schaltnetzteils mit der Primärseite des Transformators des Schaltnetzteils verbunden, sodass die Regelung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit des primärseitigen Stroms und nicht in Abhängigkeit der stark schwankenden Eingangsspannung erfolgen kann. Das erfindungsgemäße Schaltnetzteil zeichnet sich durch geringe Verluste und somit eine geringere Baugröße aus. Aufgrund der geringen Verluste in den Schaltern des Schaltnetzteils ist die Montage von Kühlkörpern zur Kühlung der Komponenten des Schaltnetzteils bzw. Wechselrichters nicht erforderlich. Insbesondere kann die Baugröße des Transformators des Schaltnetzteils gegenüber bisher verwendeten Transformatoren deutlich reduziert werden.

Vorteilhafterweise sind die Schalter mit der Primärwicklung des Transformators verbunden.

Zur isolierten Ansteuerung des mit der positiven Eingangsgleichspannung verbundenen Schalters, dem sogenannten Highside-Schalters, enthält die Regeleinrichtung des Schaltnetzteils vorzugsweise einen Optokoppler zur Ansteuerung dieses Highside-Schalters. Somit wird die Ansteuerung des Highside-Schalters des Schaltnetzteils über optoelektronische Bauelemente vorgenommen.

Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist der Optokoppler durch eine Bootstrap-Schaltung versorgt. Durch die Verwendung einer solchen Bootstrap-Schaltung zur Ansteuerung der Schalter

des Schaltnetzteils kann der Highside-Schalter länger als 50% eingeschaltet sein.

Die Regeleinrichtung kann zur Regelung der Schaltfrequenz der Schalter in Abhängigkeit des primärseitigen Stroms durch die Primärwicklung des Transformators ausgebildet sein. In diesem Fall der Regelung wird also die Schaltfrequenz der Schalter mit konstantem primärseitigem Strom verändert, um eine konstante Ausgangsspannung des Schaltnetzteils zu erzielen. Diese Regelung ist unter der Bezeichnung Pulse Frequency Mode bekannt.

Gemäß einer Variante des Schaltnetzteils ist die Regeleinrichtung zur Regelung der Einschaltzeit eines Schalters in Abhängigkeit des primärseitigen Stroms durch die Primärwicklung des Transformators bei konstanter Frequenz ausgebildet. Bei dieser Variante wird also die Pulsweite, während der ein Schalter durchgeschaltet ist, geregelt.

Um den hohen Anforderungen an die Isolierung und den Aufbau des Transformators des Schaltnetzteils gerecht zu werden und eine möglichst geringe Baugröße des Transformators zu erzielen, sind verschiedene Maßnahmen vorteilhaft. Zum einen ist es zur Reduktion der parasitären Kapazitäten des Transformators von Vorteil, wenn die Anschlüsse der Primärwicklung und die Anschlüsse der Sekundärwicklung des Transformators auf einer Seite angeordnet sind.

Weiters ist es von Vorteil, wenn der Abstand zwischen den Anschlüssen der Primärwicklung und der Abstand der Anschlüsse der Sekundärwicklung des Transformators möglichst groß gewählt ist, da dadurch die höchstmöglichen Potenziale den größten Abstand zueinander haben.

Wenn über den Anschlüssen der Primärwicklung des Transformators ein Isolationsschlauch angeordnet ist, werden ausreichende Luft- und Kriechstrecken an der Primärseite des Transformators geschaffen, was sich wiederum positiv auf die Baugröße des Transformators auswirkt. Als Isolationsschlauch eignet sich insbesondere ein Silikonschlauch.

Wenn die Sekundärwicklung des Transformators durch eine doppelt gegengleiche bandierte Litze, eine vollisolierte Litze oder einen vollisolierten Draht gebildet ist, kann eine weitere Verbesserung der Isolation und eine Vergrößerung der Luft- und Kriechstrecken geschaffen werden.

Eine weitere Verbesserung kann dadurch erzielt werden, dass zwischen der Primärwicklung und der Sekundärwicklung des Transformators eine Isolation, insbesondere eine Polyesterfolie, angeordnet wird.

Weiters ist es von Vorteil, wenn direkt auf den Spulenkörper des Transformators eine Isolation, insbesondere eine Polyesterfolie, angeordnet wird.

Durch ein Vergießen des Transformators mit entsprechend geeignetem Material können weitere Verbesserungen der Isolation und Vergrößerungen der Luft- und Kriechstrecken erzielt werden.

Vorteilhafterweise beträgt die Schaltfrequenz 18kHz bis 500kHz, vorzugsweise 54kHz. Bei der Verwendung derartig hoher Schaltfrequenzen kann die Baugröße des Transformators gering gehalten werden.

Die Schalter des Schaltnetzteils sind vorzugsweise durch Transistoren, insbesondere Feldeffekttransistoren, gebildet. Insbesondere eignen sich niederohmige Hochspannungstransistoren, wie beispielsweise Silizium Carbid MOS-FET oder J-FET besonders.

Wenn parallel zu den Schaltern des Schaltnetzteils Dioden und Kondensatoren entsprechender Dimensionierung angeordnet sind, kann ein verlustarmes Schalten der Schalter (Zero Voltage Switching) erzielt werden.

Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe auch durch einen oben genannten Wechselrichter für eine Photovoltaikanlage und eine oben genannte Strangüberwachung für eine Photovoltaikanlage, bei der die Spannungsversorgung durch ein Schaltnetzteil gemäß der obigen Beschreibung ausgebildet ist. Durch die Schaffung eines besonders verlustarmen Schaltnetzteils, welches in der Lage ist,

auch bei einem sehr großen Eingangsspannungsbereich von beispielsweise 200V bis 1500V eine konstante Ausgangsspannung für die Komponenten der Photovoltaikanlage zu liefern, kann dieses auch in den Wechselrichter oder die Strangüberwachung integriert werden. Die Verluste in den Transistoren sind aufgrund dieser Betriebsart des Schaltnetzteils so gering, dass keine Kühlkörper montiert werden müssen.

Die vorliegende Erfindung wird anhand der beigefügten, schematischen Zeichnungen näher erläutert. Darin zeigen:

- Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Photovoltaikanlage;
- Fig. 2 ein Blockschaltbild eines Wechselrichters einer Photovoltaikanlage;
- Fig. 3 ein Blockschaltbild eines Schaltnetzteils zur Versorgung der Komponenten einer Photovoltaikanlage;
- Fig. 4 eine Ausführungsform eines Schaltnetzteils zur Versorgung der Komponenten einer Photovoltaikanlage;
- Fig. 5 ein schematischer zeitlicher Verlauf des primärseitigen Stroms durch den Transformator des Schaltnetzteils gemäß Fig. 4;
- Fig. 6 eine Ausführungsform des Treibers für den Highside-Schalter des Schaltnetzteils gemäß Fig. 4;
- Fig. 7 eine andere Ausführungsform eines Treibers für den Highside-Schalter des Schaltnetzteils gemäß Fig. 4;
- Fig. 8 eine weitere Ausführungsform eines Treibers für den Highside-Schalter des Schaltnetzteils gemäß Fig. 4;
- Fig. 9 eine Draufsicht auf einen Transformator eines Schaltnetzteils zur Versorgung der Komponenten einer Photovoltaikanlage; und
- Fig. 10 ein Schnittbild durch den Transformator eines Schaltnetzteils gemäß Fig. 9.

Einführend wird festgehalten, dass gleiche Teile des Ausführungsbeispiels mit gleichen Bezugszeichen versehen werden.

Fig. 1 zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer bekannten Photovoltaikanlage 1. Die Photovoltaikmodule 2 der Photovoltaikanlage 1 werden üblicherweise über eine Strangüberwachung 3

(String Controller), die auch in einem Wechselrichter 4 integriert sein kann, mit dem Wechselrichter 4 verbunden. Der Wechselrichter 4 erzeugt aus der Gleichspannung der Photovoltaikmodule 2 eine entsprechende Wechselspannung, die ins Versorgungsnetz 5 eingespeist und/oder zur Versorgung entsprechender Verbraucher 6 verwendet wird. Üblicherweise sind viele Photovoltaikmodule 2 in Serie und parallel zueinander geschaltet. Die Komponenten der Photovoltaikanlage 1, insbesondere die Strangüberwachung 3 und der Wechselrichter 4, müssen mit entsprechenden Spannungsversorgungen 7 mit der gewünschten elektrischen Energie, vorzugsweise einer Gleichspannung von beispielsweise 14V, versorgt werden. Der Wechselrichter 4 und/oder die Strangüberwachung 3 erzeugt eine interne Versorgungsspannung für die elektronischen Bauteile bzw. für den Schaltungsaufbau, wobei diese über entsprechende Anschlüsselemente auch nach außen für zusätzliche anschließbare Komponenten geführt sein kann. Es wird also die für die Komponenten der Photovoltaikanlage 1 notwendige Spannung direkt aus der zur Verfügung stehenden Gleichspannung der Photovoltaikmodule 2 abgeleitet. Bei einem sehr großen Eingangsgleichspannungsbereich bzw. einer sehr großen Anzahl an seriell geschalteten Photovoltaikmodulen 2 und der daraus resultierenden hohen Spannung wird es mit herkömmlichen Technologien an Schaltnetzteilen sehr schwierig, die erforderliche Gleichspannung für die Komponenten der Photovoltaikanlage 1 verlustarm, d.h. mit relativ gutem Wirkungsgrad, herzustellen. Der große Eingangsgleichspannungsbereich ergibt sich daraus, dass sich die Sonneneinstrahlung im Laufe eines Tages verändert, d.h., nach Sonnenaufgang liefern die Photovoltaikmodule 2 weniger Energie als zur Mittagszeit. Weiters hat ein großer Eingangsgleichspannungsbereich den Vorteil, dass die Anzahl der in seriell und parallel geschalteten Photovoltaikmodule 2 flexibler gestaltet werden kann.

In Fig. 2 ist ein Aufbau eines bekannten Wechselrichters 4, im Detail eines HF-Wechselrichters, dargestellt. Da die einzelnen Komponenten bzw. Baugruppen und Funktionen von Wechselrichtern 4 bereits aus dem Stand der Technik bekannt sind, wird auf diese nachstehend nicht näher eingegangen.

Der Wechselrichter 4 weist zumindest einen Eingangs-DC-DC-Wand-

ler 8, einen Zwischenkreis 9 und einen Ausgangs-DC-AC-Wandler 10 auf. Am Eingangs-DC-DC-Wandler 8 ist ein oder sind mehrere parallel und/oder seriell zueinander geschaltete Photovoltaikmodule 2 angeschlossen. Der Ausgang des Wechselrichters 4 bzw. des Ausgangs-DC-AC-Wandlers 10 kann mit einem Versorgungsnetz 5, wie einem öffentlichen oder privaten Wechselspannungsnetz oder einem Mehr-Phasennetz, und/oder mit zumindest einem elektrischen Verbraucher 6 verbunden sein. Beispielsweise wird ein Verbraucher 6 durch einen Motor, Kühlschrank, Funkgerät, Haushaltsgeräte, usw. gebildet. Ebenso kann der Verbraucher 6 auch eine Hausversorgung darstellen. Die einzelnen Komponenten des Wechselrichters 4 können über einen Datenbus 11 mit einer Steuervorrichtung 12 verbunden sein.

Bevorzugt dient ein derartiger Wechselrichter 4 als sogenannter netzgekoppelter Wechselrichter 4, dessen Energiemanagement daraufhin optimiert ist, möglichst viel Energie in das Versorgungsnetz 5 einzuspeisen. Wie aus dem Stand der Technik bekannt, werden die Verbraucher 6 über das Versorgungsnetz 5 versorgt. Selbstverständlich können auch mehrere parallel geschaltete Wechselrichter 4 eingesetzt werden. Dadurch kann mehr Energie zum Betrieb der Verbraucher 6 bereitgestellt werden.

Diese Energie wird von den Photovoltaikmodulen 2 in Form einer Gleichspannung geliefert, welche über zumindest zwei Anschlüsse 15 mit dem Wechselrichter 4 verbunden sind.

Die Steuervorrichtung 12 des Wechselrichters 4 ist beispielsweise durch einen Mikroprozessor, Mikrocontroller oder Rechner gebildet. Über die Steuervorrichtung 12 kann eine entsprechende Steuerung der einzelnen Komponenten des Wechselrichters 4, wie dem Eingangs-DC-DC-Wandler 8 oder dem Ausgangs-DC-AC-Wandler 10, insbesondere der darin angeordneten Schaltelemente, vorgenommen werden. In der Steuervorrichtung 12 sind hierzu die einzelnen Regel- bzw. Steuerabläufe durch entsprechende Software-Programme und/oder Daten bzw. Kennlinien gespeichert.

Des Weiteren sind mit der Steuervorrichtung 12 Bedienelemente 13 verbunden, durch welche der Benutzer beispielsweise den Wechselrichter 4 konfigurieren und/oder Betriebszustände oder Parameter

anzeigen - beispielsweise mittels Leuchtdioden - und einstellen kann. Die Bedienelemente 13 sind dabei beispielsweise über den Datenbus 11 oder direkt mit der Steuervorrichtung 12 verbunden. Derartige Bedienelemente 13 sind beispielsweise an einer Front des Wechselrichters 4 angeordnet, sodass eine Bedienung von außen möglich ist. Ebenso können die Bedienelemente 13 auch direkt an Baugruppen und/oder Modulen innerhalb des Wechselrichters 4 angeordnet sein.

Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild eines Schaltnetzteils 14 für den Wechselrichter 4 und/oder die Strangüberwachung 3 bzw. weitere Komponenten einer Photovoltaikanlage 1 zur Bildung einer konstanten Ausgangsgleichspannung U_a aus einer Eingangsgleichspannung U_e in einem relativ großen Bereich von etwa 200V bis 1500V. Über zwei Anschlüsse 15 wird das Schaltnetzteil 14 mit den Photovoltaikmodulen 2 (nicht dargestellt) verbunden. Die Photovoltaikmodule 2 liefern eine Eingangsgleichspannung U_e , die in einem sehr großen Bereich von beispielsweise 200V bis 1500V liegt. In einem Gleichspannungswandler 16 wird mit Hilfe zumindest eines Schalters 17 die Eingangsgleichspannung U_e in Wechselspannung umgewandelt und einem Transformator 18 zugeführt. Der Transformator 18 besteht aus einem Spulenkörper 19, einer Primärwicklung 20 und zumindest einer Sekundärwicklung 21. In einem Ausgangsgleichrichter 23 wird das transformierte Spannungssignal gleichgerichtet und den Anschlüssen 24 zum Abgreifen der Ausgangsgleichspannung U_a zugeführt. Mit dieser Ausgangsgleichspannung U_a werden die Komponenten der Photovoltaikanlage 1 versorgt. Über eine Regeleinrichtung 22 wird der zumindest einen Schalter 17 des Gleichspannungswandlers 16 derart angesteuert, dass auch bei unterschiedlichen bzw. schwankenden Eingangsgleichspannungen U_e eine konstante Ausgangsgleichspannung U_a erzielt werden kann. Dabei ist der Gleichspannungswandler 16 des Schaltnetzteils 14 bevorzugt durch eine Kombination aus Sperr- und Durchflusswandler mit zwei in Serie angeordneten Schaltern 17, 17' gebildet, wobei die Regeleinrichtung 22 mit der Primärwicklung 20 des Transformators 18, insbesondere über die Schalter 17, 17', verbunden ist. Ebenso erfasst die Regeleinrichtung 22 über die Anschlüsse 24 die Ausgangsspannung U_a , welche in gewünschter Höhe konstant gehalten wird. Dazu werden die Schalter 17, 17' in Abhängigkeit der Ausgangsspannung U_a geschaltet, sodass der primär-

seitige Strom durch die Primärwicklung 20 des Transformators 18 angepasst wird.

Fig. 4 zeigt eine bevorzugte Ausführungsvariante eines Schalt-
netzteils 14 zur Versorgung von Komponenten einer Photovoltaik-
anlage 1, insbesondere zum Einsatz in einem Wechselrichter 4
und/oder einer Strangüberwachung 3, bei welcher der Gleichspan-
nungswandler 16 durch eine Kombination eines Sperrwandlers und
eines Durchflusswandlers in Halbbrückenordnung mit zwei in Se-
rie geschalteten Schaltern 17, 17' (einem mit dem positiven Pol
der Eingangsgleichspannung verbundenen sogenannten High-Side-
Schalter 17 und einem mit der Masse verbundenen sogenannten Low-
Side-Schalter 17') gebildet ist. Es handelt sich bei der Schal-
tung quasi um einen asymmetrischen Duty Cycle Flyback Converter,
dessen Funktionsweise im Folgenden und unter Heranziehung des
Zeitdiagramms des primärseitigen Stroms des Transformators 18
gemäß Fig. 5 beschrieben wird.

Während des Zeitintervalls t_1 ist der Schalter 17', der sogenann-
te Low-Side-Schalter 17' bzw. Low-Side-Transistor eingeschaltet
und es wird sowohl die Magnetisierungsinduktivität L_m als auch
die Streuinduktivität L_L des Transformators 18 und der in Serie
geschaltete Kondensator C1 mit Energie aufgeladen. Dementspre-
chend steigt der Strom im Zeitintervall t_1 , wobei auf die Sekun-
därseite des Transformators 18 keine Energie übertragen wird.
Der Kondensator C3 ist hierbei aufgeladen und der Schalter 17
ausgeschaltet.

Während des Zeitraums t_2 wird der Low-Side-Schalter 17' ausge-
schaltet. Der Strom kommutiert in den parallelen parasitären
oder zusätzlichen Kondensator C2, welcher also aufgeladen wird.
Somit entstehen keine Ausschaltverluste, da der Schalter 17'
spannungsfrei ist. Der Kondensator C2 wird nun bis auf die Ein-
gangsspannung U_e aufgeladen, während der parallel zum High-Side-
Schalter 17 bzw. High-Side-Transistor liegende Kondensator C3
entladen wird. Das heißt, dass C2 und C3 umgeladen werden. Für
dieses Umladen werden die Induktivitäten L_m und L_L entladen und
der Kondensator C1 aufgeladen, wobei sich die Polarität des
Transformators 18 auf der Primärseite und Sekundärseite ändert.
Somit kann im nächsten Schritt Energie auf die Sekundärseite

übertragen werden. Die Zeitdauer für das Umladen ist von der Dimensionierung der Kondensatoren C2 und C3 bzw. der Wahl der Schalter abhängig, ist generell aber sehr kurz im Verhältnis zu den Lade- und Entladevorgängen von C1.

Während der Zeit t_3 ist der Kondensator C2 bereits völlig entladen und der Strom von den Induktivitäten L_m und L_s fließt durch die Bodydiode oder eine parallel geschaltete Diode des High-Side-Schalters 17. Der High-Side-Schalter 17 kann nun nahezu spannungsfrei und somit verlustarm eingeschaltet werden. Dabei wird ein Stromkreis mit Schalter 17, Kondensator C1 und Trafo 18 gebildet. Hierbei wird der Strom von L_m auf die Sekundärseite übertragen (Sperrwandlerbetrieb) und der Strom von L_s lädt C1. Entsprechend eines Sperrbetriebs wirkt hier der Trafo als Drossel. Der Zeitpunkt, wann der Schalter 17 eingeschaltet werden muss, kann mittels Spannungsmessung am Schalter 17 eruiert werden – wobei nahezu null gemessen werden muss bzw. die Diodenspannung, oder man gibt eine fixe Totzeit vor, in der die Kapazitäten C2 und C3 sicher umgeladen werden. Entsprechend wird der Zeitpunkt von der Regeleinrichtung 22 bestimmt. Wesentlich ist hierbei, dass der Schalter 17 während der Zeit t_3 eingeschaltet wird – im Wesentlichen also auch zu einem beliebigen Zeitpunkt möglich – sodass Energie übertragen wird. Dazu fließt der Strom weiter in die selbe Richtung.

Durch die Energieübertragung sinkt der Strom auf der Primärseite, bis die Spannung am Kondensator C1 größer ist als die Spannung an der Sekundärseite des Transformators 18 mal dem Übersetzungsverhältnis des Transformators 18 und die gesamte Primärstreuinduktivität L_s im Transformator 18 entladen bzw. übertragen ist.

Anschließend ändert der Strom durch die Primärwicklung 20 des Transformators 18 seine Polarität und die Energie aus dem Kondensator C1 wird über den Transformator 18 im Flussbetrieb (Durchflusswandler) während der Zeit t_4 übertragen. Dies zusätzlich zum Sperrbetrieb, da ja der Schalter 17' ausgeschaltet ist. Voraussetzung hierfür ist, dass die Spannung am Kondensator C1 größer ist, als die Spannung U_s an der Sekundärseite des Transformators 18 multipliziert mit dem Übersetzungsverhältnis u des

Transformators 18. Es wird also solange Energie übertragen, bis $C1$ und $U_a \cdot \dot{U}$ gleich sind.

Die Zeit, bis sich der Kondensator $C1$ auf die genannte Spannung $U_a \cdot \dot{U}$ entladen hat, ist bestimmt durch die Resonanzformel $t = \pi \cdot \sqrt{L_L \cdot C1}$. Ist diese Zeit länger als t_1 , so wird der Gleichspannungswandler 16 nicht lückend betrieben. Ist die Zeit kürzer, wird $C1$ ganz bis auf $U_a \cdot \dot{U}$ entladen (was dem sogenannten lückenden Betrieb des Gleichspannungswandlers 16 entspricht) und die restliche Zeit bis zum Umschalten wird genutzt, die Magnetisierung der Induktivität L_m umzudrehen. Dies ist insofern ein Vorteil bei höheren Spannungen gemäß der vorliegenden Erfindung, da beim Umschwingen während t_s dann mehr Energie zur Verfügung steht.

Während der Zeit t_s wird der Highside-Schalter 17 verlustfrei ausgeschaltet, da der Kondensator $C3$ seit der Zeit t_2 entladen ist. Dies deshalb, da der Strom in den Kondensator $C3$ kommutiert. Für das nachfolgende Einschalten des Schalters 17' ist es erforderlich, den Kondensator $C3$ zu laden und den Kondensator $C2$ zu entladen. Dies erfolgt im Wesentlichen automatisch durch Ausschalten des Schalters 17. Anschließend kann der Schalter 17' verlustfrei von der Regeleinrichtung 22 eingeschaltet werden. Im nicht lückenden Betrieb treibt nur die Primärstreuinduktivität L_L und vernachlässigbar die Magnetisierungsinduktivität L_m den Strom weiter und lädt den Kondensator $C3$ auf und entlädt den Kondensator $C2$. Im lückenden Betrieb ist der Anteil der Magnetisierungsinduktivität L_m wesentlich mehr beteiligt. Während der kurzen Zeitdauer t_s werden also äquivalent zur Zeit t_2 die Kondensatoren $C2$ und $C3$ umgeladen.

Für den Umladevorgang ist entsprechende Energie erforderlich.

Zu Beginn der Zeit t_0 ist der Kondensator $C2$ schon beinahe vollständig entladen und die Bodydiode des Low-Side-Schalters 17' oder eine parallele Diode führt den Strom. Der Low-Side-Schalter 17' kann somit beinahe spannungsfrei und somit verlustarm eingeschaltet werden. Der Zeitpunkt, an dem der Schalter 17' verlustarm eingeschaltet werden kann, kann durch Spannungsmessung am Schalter 17' oder durch eine fixe Zeit, in welcher der Kondensa-

tor C2 sicher entladen ist, bestimmt werden. Entsprechend erfolgt das Einschalten des Schalters 17' äquivalent zum Einschalten von Schalter 17 in der Zeit t_3 .

Dieser Ablauf wiederholt sich entsprechend mit einer Schaltfrequenz im Bereich von 18kHz bis 500kHz, insbesondere 54kHz. Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass während der Zeit t_3 Energie im Sperrbetrieb und während der Zeit t_4 Energie im Durchflussbetrieb und Sperrbetrieb übertragen wird. Demzufolge sind Sperr- und Durchflusswandler kombiniert. Daraus resultiert entsprechend die gewünschte Ausgangsspannung U_a des Netzteils, beispielsweise 5V, 12V, 24V usw..

Die Ansteuerung des High-Side-Schalters 17 stellt sich hier als nicht so trivial heraus, da dieser länger als 50% eingeschaltet ist (von Zeitpunkt t_3 bis t_4). Bei höheren Spannungen oder bei einem eventuellen Softstart ist er sogar bis 90% oder noch länger eingeschaltet. Die Ansteuerung mittels magnetischen Übertrager ist deshalb nicht zweckgemäß, da das Entmagnetisieren des Übertragers verhältnismäßig hohe Spannungen erfordert. Deshalb eignet sich hierfür vorzugsweise eine optische Ansteuerung mit Hilfsversorgung, welche entweder durch ein Hilfsnetzteil realisiert werden kann, oder durch eine Bootstrapschaltung.

Fig. 6 zeigt eine Variante der Ansteuerung des High-Side-Schalters 17 des Gleichspannungswandlers 16 des Schaltnetzteils 14 mit einer Bootstrap-Schaltung. Der High-Side-Schalter 17 wird mit der Energie aus dem Bootstrap-Kondensator C_{BS} eingeschaltet. Dieser wird immer dann aufgeladen, wenn der Low-Side-Schalter 17' eingeschaltet ist. Bei sehr kurzen Einschaltdauern, wie sie vor allem bei hohen Spannungen vorkommen, muss diese Ladung in sehr kurzer Zeit erfolgen. IGBT's (Insulated Gate Bipolar Transistor) sind hierfür als Schalter 17, 17' nicht geeignet, da die Sättigungsspannung verhältnismäßig spät erreicht wird, weshalb der Bootstrap-Kondensator C_{BS} nicht vollständig geladen wird und die Spannung nicht ausreicht, um den High-Side-Schalter 17 anzusteuern. Besser geeignet sind hier niederohmige MOS-FETs oder J-FETs, beispielsweise auf Basis von Siliziumcarbid. Man kann hier die Zeit, welche zum Laden des Bootstrap-Kondensators C_{BS} benötigt wird, einfach mit dem Widerstand $R_{DS(on)}$ des Low-Side-Schalters 17'

berechnen mit $t = R_{DSon} * C_{BS}$ und $U_{CBS} = U_q * (1 - e^{(-t/T)})$, wobei U_q in diesem Fall 15V minus der Vorwärtsspannung der Diode ist. Dabei entsprechen die 15V der Versorgungsspannung der Regeleinrichtung 22 zur Erzeugung des Highside-Signals HS und Lowside-Signals LS. Zur Erzielung einer Isolierung gegenüber dem Ground-Potential ist die Ansteuerung des Schalters 17 durch einen Optokoppler 25 gebildet, da ja Schalter 17 kein Ground-Potential aufweist.

Fig. 7 zeigt eine Variante der Ansteuerung des Schalters 17 mit einer Hilfsversorgung U_x , welche beispielsweise von einer Batterie oder einem Hilfsnetzteil geliefert wird.

Eine andere Möglichkeit für eine sichere Ansteuerung besteht darin, wenn man die Topologie so ändert, dass der High-Side-Schalter 17 nicht über 50% Einschaltdauer erreicht. Dann kann man auf aus dem Stand der Technik bekannte magnetische Koppler 27 zur Ansteuerung des High-Side-Schalters 17 zurückgreifen (siehe Fig. 8). Dazu wird gemäß der Funktionsbeschreibung der Fig. 2 bis 7 die Schalter vertauscht. Somit übernimmt der Schalter 17' die Funktion des Schalters 17, hat demnach einen Bezug zu Ground und kann direkt von der Regeleinrichtung 22 angesteuert werden. Dies hat zur Folge, dass die Einschaltdauer nicht mehr relevant ist und entsprechend der magnetische Koppler 27 eingesetzt werden kann.

Eine Möglichkeit der Regelung durch die Regeleinrichtung 22 der Ausgangsspannung U_a besteht in der Regelung der Zeit t_1 bei konstanter Schaltfrequenz f_s . Die Regelung kann Grundsätzlich über zwei bekannte Verfahren erfolgen. Beim „Current Mode“ wird in Abhängigkeit der Ausgangsspannung U_a die Stromamplitude während t_1 geregelt. Beim Hochstarten, wenn der Sekundärkondensator noch entladen ist, wird langsam der Primärstrom erhöht, bis die Ausgangsspannung U_a erreicht wird. Der Vorteil in dieser Regelung liegt in erster Linie darin, dass eben beim Hochstarten im Vergleich zum „Voltage Mode“ keine großen primären Überströme entstehen. Beim „Voltage Mode“ wird die Pulsweite während t_1 reguliert. Beim Hochstarten geht dieser Schritt für Schritt auseinander. Dies hat den Nachteil, dass bei noch niedriger Sekundärspannung, die Energie, welche im Transformator 18 gespeichert ist, nicht schnell genug entladen werden kann, und es bleibt ein

Großteil der Energie im Transformator 18. Somit startet der Primärstrom bei der nächsten Periode bei annähernd dem Wert, bei dem er bei der letzten Periode abgedreht wurde. Somit steigt der Strom immer weiter an, und es besteht die Gefahr, dass der Transformator 18 sättigt. Abhilfe kann mit einer Strombegrenzung geschaffen werden, welche den Schalter 17, welcher während t_1 leitet, bei einem definierten Strom abdrehet und hier in den „Current Mode“ übergeht.

Eine weitere Möglichkeit ist die Regelung der Frequenz f_s mit konstanter Zeit t_1 . Dies ist bekannt unter „Pulse Frequency Mode“. Hierbei wird t_1 bei sinkender Last verlängert, sodass die Zahl der Energieübertragungen sinkt. Gleichzeitig entlädt sich auch der in Serie zum Transformator 18 geschaltene Kondensator C1 tiefer, und es wird mehr Blindleistung benötigt, um Energie zu übertragen.

Bei hohen Spannungen sind die Anforderungen an die Isolierungen und den Aufbau des Transformators 1 enorm. Zum einen ist die Energie, welche zum Umschwingen benötigt wird, direkt proportional zur parallelen parasitären Kapazität des Transformators 18.

Um die kapazitären Einflüsse möglichst gering zu halten, wird der Transformator 18 so konstruiert, dass eine Wicklung immer in einer Lage voll ausgewickelt werden kann. Alternativ kann auch eine ungerade Anzahl von Lagen für die Wicklung eingesetzt werden. Damit wird gewährleistet, dass die höchst möglichen Potentiale den größten Abstand zueinander haben. Zudem wurde darauf geachtet, dass der Wickelanfang und das Wickelende der Wicklung ebenfalls einen großen Abstand zueinander aufweisen. Dieses Prinzip wird sowohl auf der Primärwicklung 20 als auch auf der Sekundärwicklung 21 angewendet.

Die dauernde Belastung durch die hohe Eingangsspannung U_e von beispielsweise 1500V stellen an die Isolation des Transformators 18 sehr hohe Anforderungen.

Dazu sind die Anschlüsse der Primärwicklung 20 und der Sekundärwicklung 21 aufgrund der kapazitiven Optimierungsmaßnahmen auf der gleichen Pinreihe angeordnet. Hier muss darauf geachtet wer-

den, dass jene Anschlüsse, welche direkt in der Trennstrecke zwischen Primärwicklung 20 und Sekundärwicklung 21 liegen, aus dem Spulenkörper 19 herausgezogen werden. Natürlich muss der Abstand zwischen den Anschlüssen auch ausreichend groß gewählt werden.

Auf den Anschlüssen der Primärwicklung 20 wird vorzugsweise ein Silikonschlauch 26 angeordnet, damit ausreichend Luft- und Kriechstrecken geschaffen werden. Sekundärseitig sowie primärseitig wird eine doppelt gegengleich bandierte Litze verwendet. Durch diese doppelt gegengleiche Bandierung wird bei 50%iger Folienüberlappung eine Luft- und Kriechstrecke von 1,5 mal der Isolier-Folienbreite erreicht. Alternativ kann auch eine vollisolierte Litze oder ein vollisolierter Draht verwendet werden. Zusätzlich wird ein Seitenabstand zwischen der Seitenwand des Spulenkörpers 19 und den Wicklungen 20, 21 eingehalten. Zwischen der Primärwicklung 20 und der Sekundärwicklung 21 wird eine ausreichend dicke Schicht Polyesterfolie eingefügt, da diese die direkte Trennstelle darstellt. Direkt auf den Spulenkörper 19 wird vorzugsweise ebenfalls eine Lage Polyesterfolie gewickelt, weil Polyester eine höhere Spannungsfestigkeit aufweist als das Material des Spulenkörpers 19. Die Silikonschläuche 26, welche über die Anschlüsse der Primärwicklung 20 gestreift werden, müssen bis zur Pinkontaktierung reichen, da sonst eventuell über den Ferritkern die Luft- und Kriechstrecken verkürzt werden könnten. Schließlich ist ein Vollverguß des Transformators 18 zu empfehlen.

Mit diesen Maßnahmen können auch auf einem Transformator 18 eines Schaltnetzteils 14 mit sehr geringen Abmaßen die Luft- und Kriechstrecken so gestreckt werden, dass ein Betrieb bei hohen Eingangsspannungen U_e auf Dauer gewährleistet werden kann.

Die abgebildeten Skizzen gemäß den Figuren 9 und 10 eines Transformators 18 stellen lediglich eine Ausführungsform dar.

Patentansprüche:

1. Schaltnetzteil (14) zur Versorgung der Komponenten einer Photovoltaikanlage (1) mit einer konstanten Ausgangsgleichspannung (U_a), mit Anschlüssen (15) zur Verbindung mit den Photovoltaikmodulen (2) der Photovoltaikanlage (1) zur Bereitstellung einer Eingangsgleichspannung (U_e) im Bereich zwischen 200V und 1500V, mit einem Gleichspannungswandler (16) enthaltend zumindest einen Schalter (17), einem Transformator (18) mit einem Spulenkörper (19), einer Primärwicklung (20) und einer Sekundärwicklung (21), einer Regeleinrichtung (22) zur Ansteuerung des zumindest einen Schalters (17) des Gleichspannungswandlers (16) mit einer Schaltfrequenz (f_s) zur Erzielung der gewünschten Ausgangsgleichspannung (U_a), einem Ausgangsgleichrichter (23) und mit Anschlüssen (24) zur Bereitstellung der Ausgangsgleichspannung (U_a), dadurch gekennzeichnet, dass der Gleichspannungswandler (16) durch eine Kombination aus Sperr- und Durchflusswandler mit zwei in Serie angeordneten Schaltern (17, 17') gebildet ist, wobei die Schalter (17, 17') mit der Regeleinrichtung (22) verbunden sind, und die Regeleinrichtung (22) derart ausgebildet ist, dass die Regelung der Ausgangsspannung (U_a) derart erfolgt, dass die Schalter (17, 17') in Abhängigkeit des primärseitigen Stroms durch die Primärwicklung (20) des Transformators (18) geschaltet sind.

2. Schaltnetzteil (14) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalter (17, 17') mit der Primärwicklung (20) des Transformators (18) verbunden sind.

3. Schaltnetzteil (14) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung (22) einen Optokoppler (25) zur Ansteuerung eines Schalters (17), des sogenannten High-Side-Schalters, enthält.

4. Schaltnetzteil (14) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Optokoppler (25) durch eine Bootstrap-Schaltung versorgt ist.

5. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung (22) zur Regelung der

Schaltfrequenz (f_s) der Schalter (17, 17') in Abhängigkeit des primärseitigen Stroms durch die Primärwicklung (20) des Transformators (18) ausgebildet ist.

6. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung (22) zur Regelung der Einschaltzeit (t_1) eines Schalters (17) in Abhängigkeit des primärseitigen Stroms durch die Primärwicklung (20) des Transformators (18) ausgebildet ist.

7. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Anschlüsse der Primärwicklung (20) und die Anschlüsse der Sekundärwicklung (21) des Transformators (18) auf einer Seite angeordnet sind.

8. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen den Anschlüssen der Primärwicklung (20) und der Abstand der Anschlüsse der Sekundärwicklung (21) des Transformators (18) möglichst groß gewählt ist.

9. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass über den Anschlüssen der Primärwicklung (20) ein Isolationsschlauch (26), insbesondere ein Silikon-schlauch, angeordnet ist.

10. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Sekundärwicklung (21) durch eine doppelt gegengleich bandierte Litze, eine vollisolierte Litze oder einen vollisolierten Draht gebildet ist.

11. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Primärwicklung (20) und Sekundärwicklung (21) des Transformators (18) eine Isolation, insbesondere eine Polyesterfolie, angeordnet ist.

12. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass direkt auf den Spulenkörper (19) des Transformators (18) eine Isolation, insbesondere eine Polyesterfolie, angeordnet ist.

13. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Transformator (18) vergossen ist.

14. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltfrequenz (f_s) 18kHz bis 500kHz, vorzugsweise 54kHz, beträgt.

15. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalter (17, 17') durch Transistoren, insbesondere Feldeffekttransistoren, gebildet sind.

16. Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass parallel zu den Schaltern (17, 17') Dioden und Kondensatoren angeordnet sind.

17. Wechselrichter (4) für eine Photovoltaikanlage (1) mit Photovoltaikmodulen (2), mit einer Spannungsversorgung (7), dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsversorgung (7) durch ein Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 16 ausgebildet ist.

18. Strangüberwachung (3) für eine Photovoltaikanlage (1) mit Photovoltaikmodulen (2), mit einer Spannungsversorgung (7), dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsversorgung (7) durch ein Schaltnetzteil (14) nach einem der Ansprüche 1 bis 16 ausgebildet ist.

Fig.1

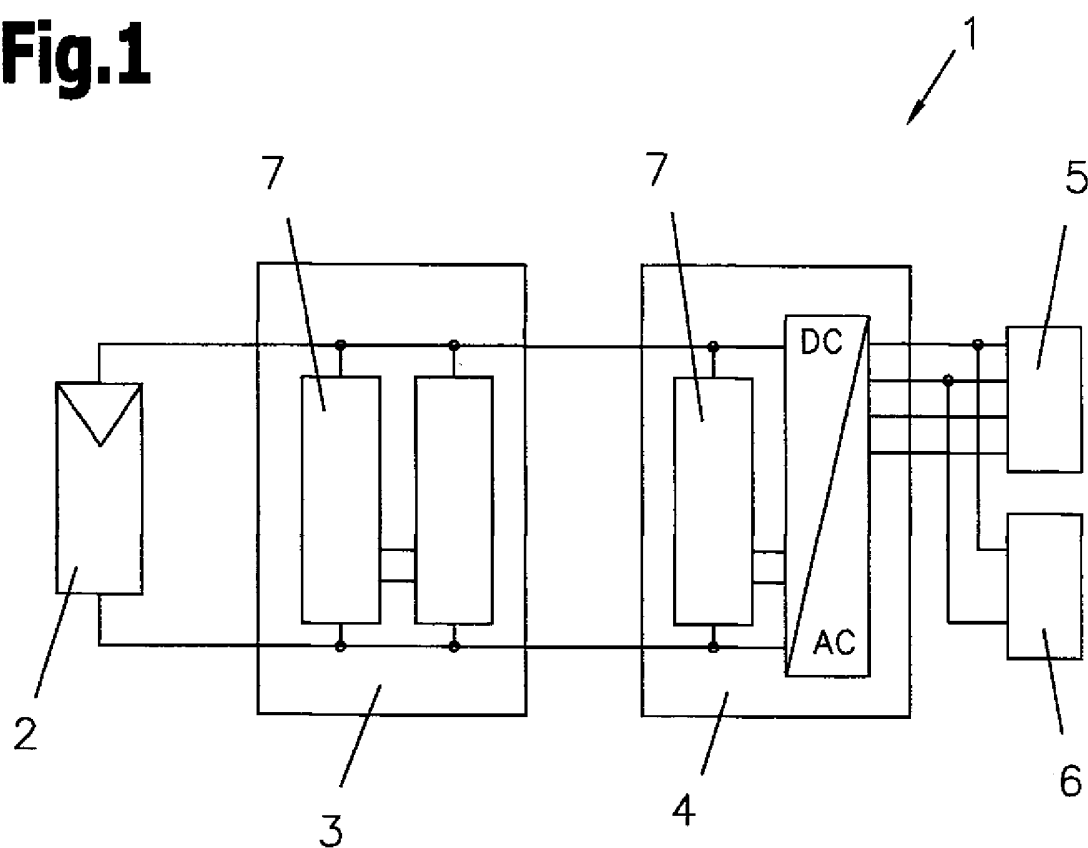


Fig.3

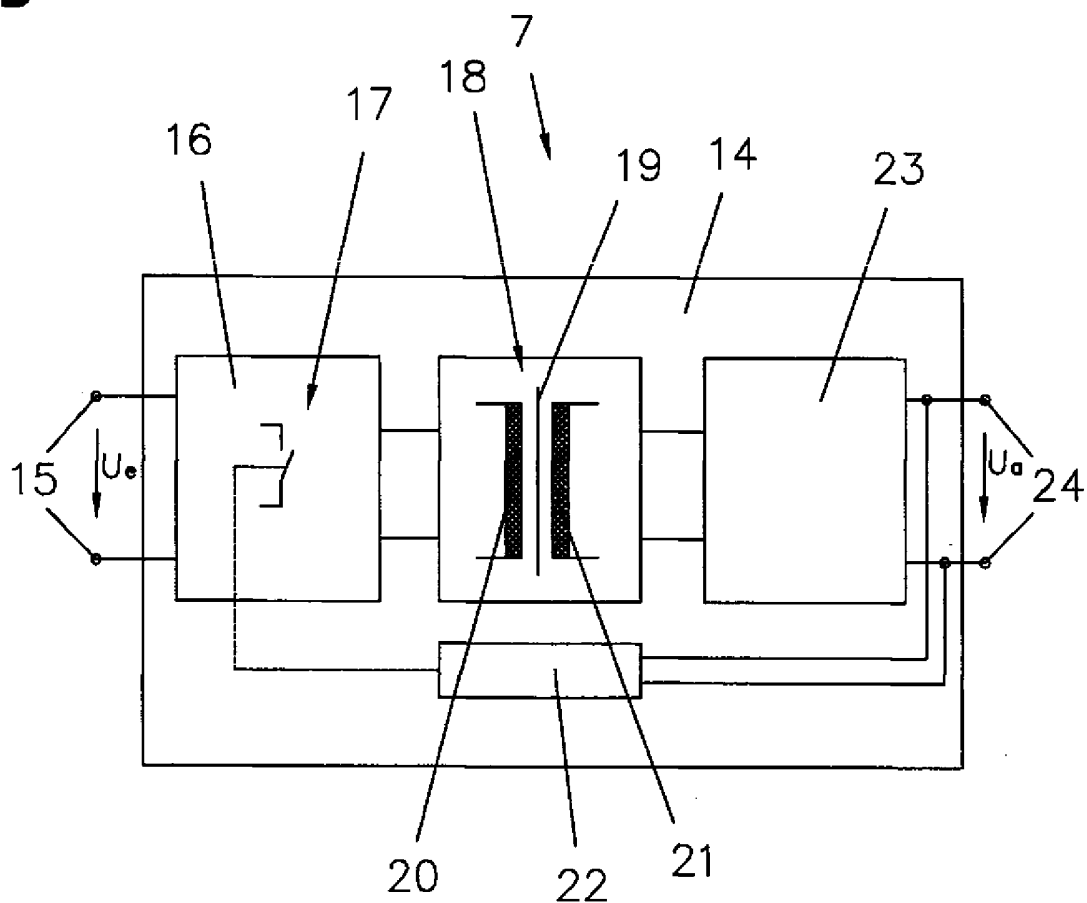


Fig.2

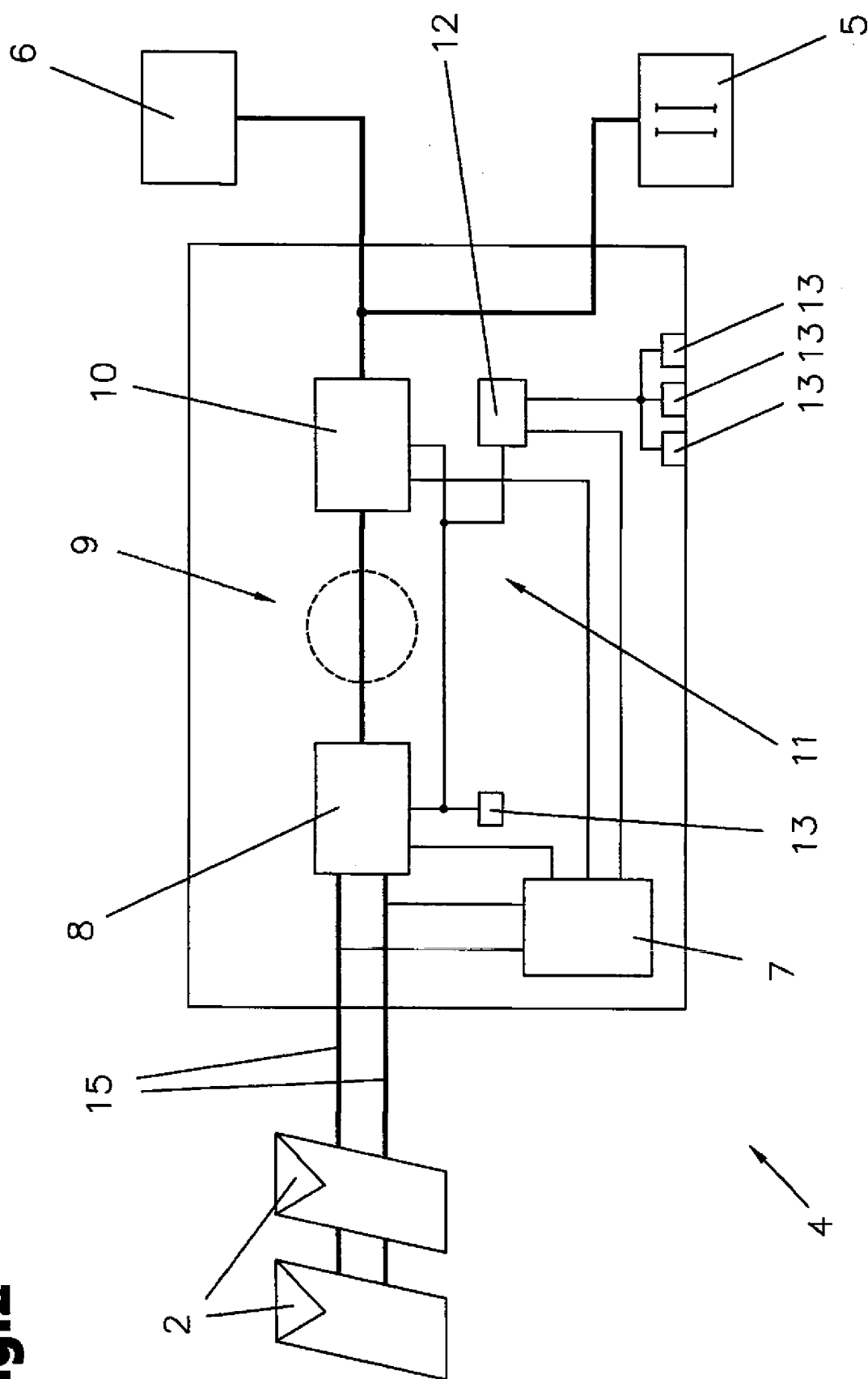


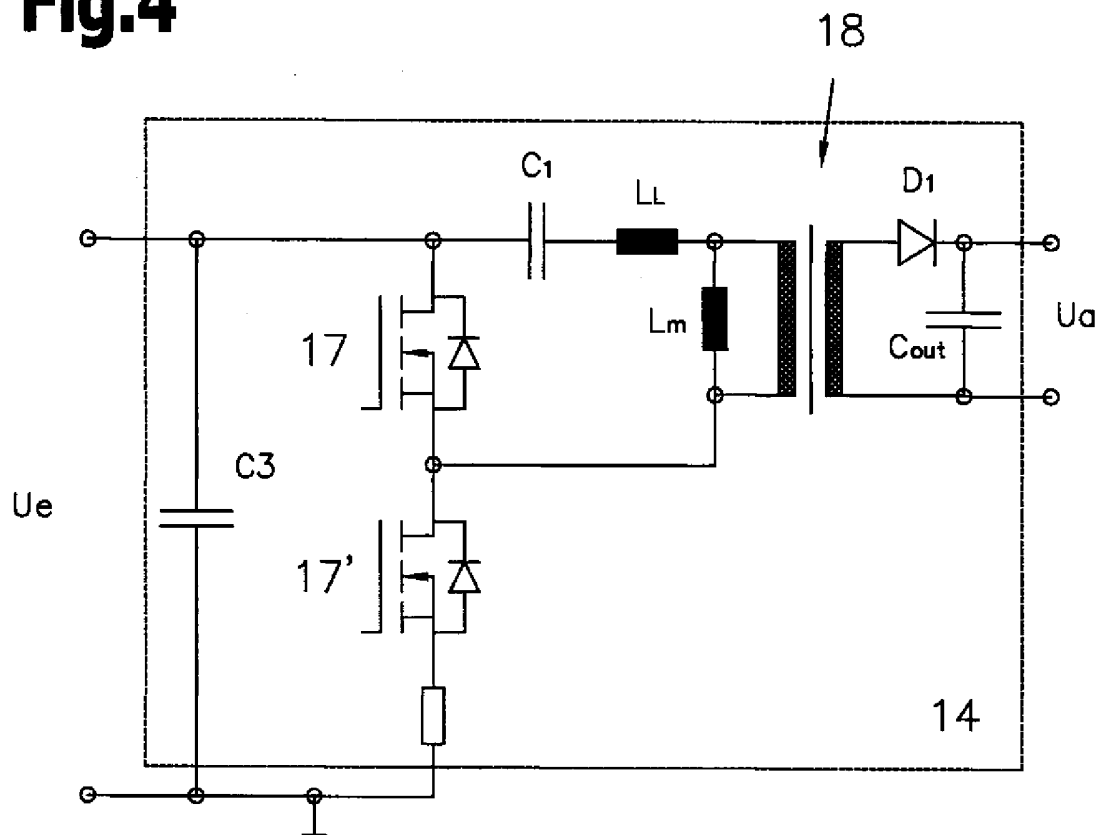
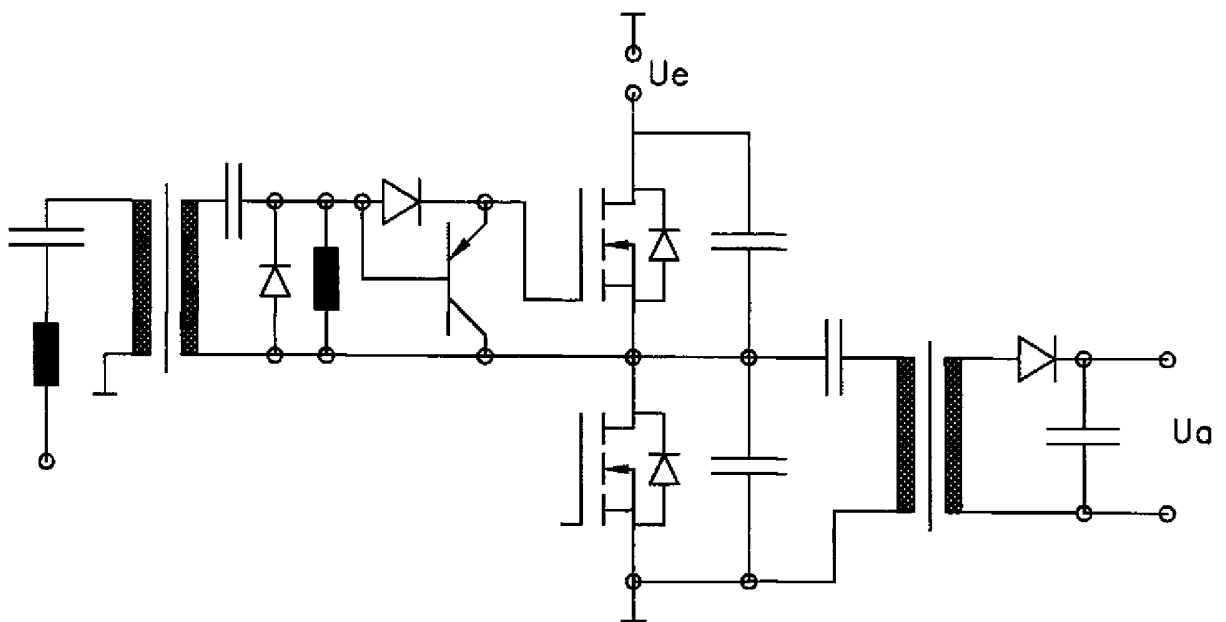
Fig.4**Fig.8**

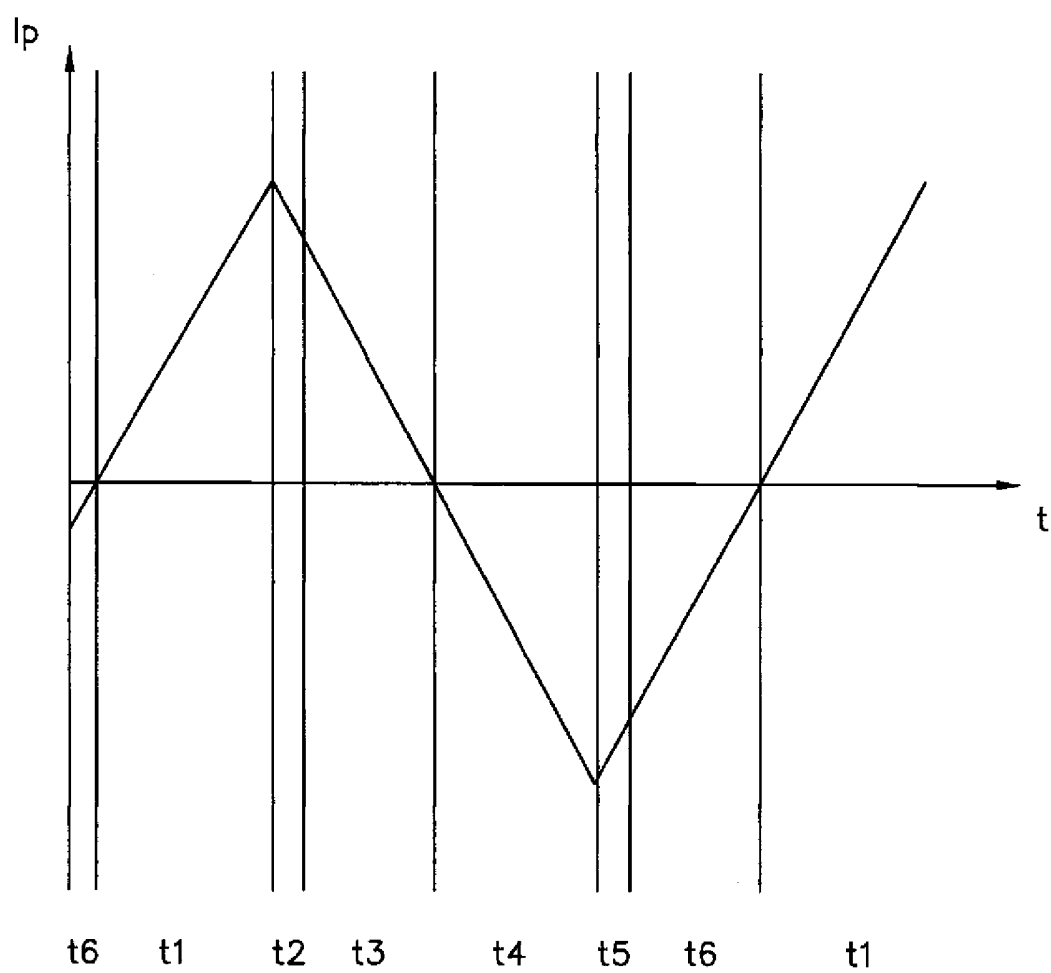
Fig.5

Fig.6

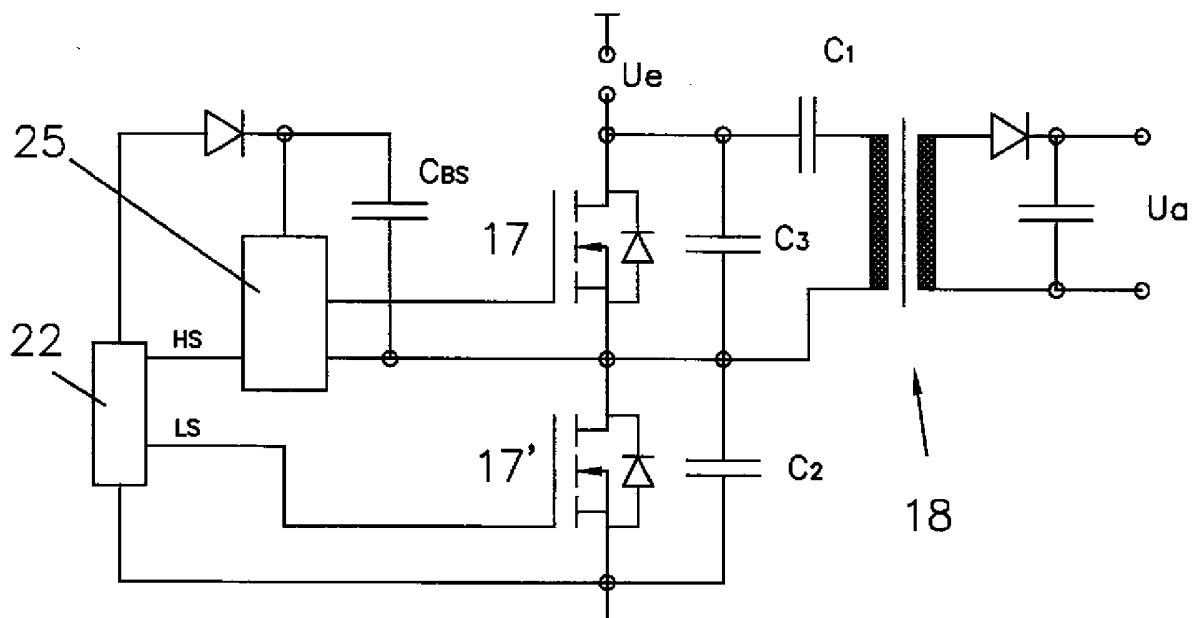
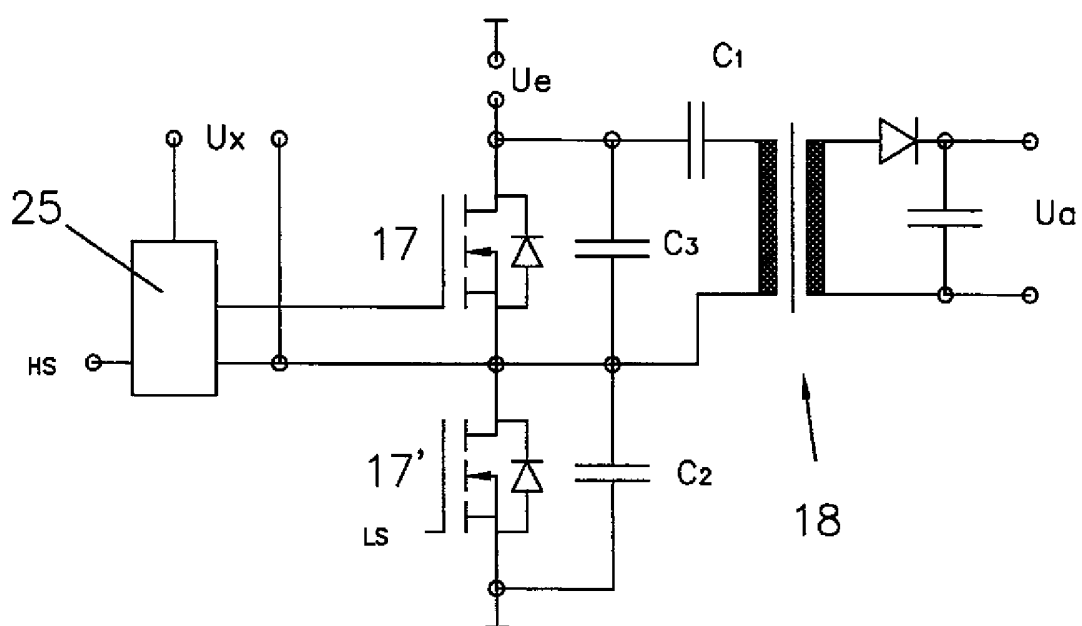


Fig.7



6/6

Fig.9

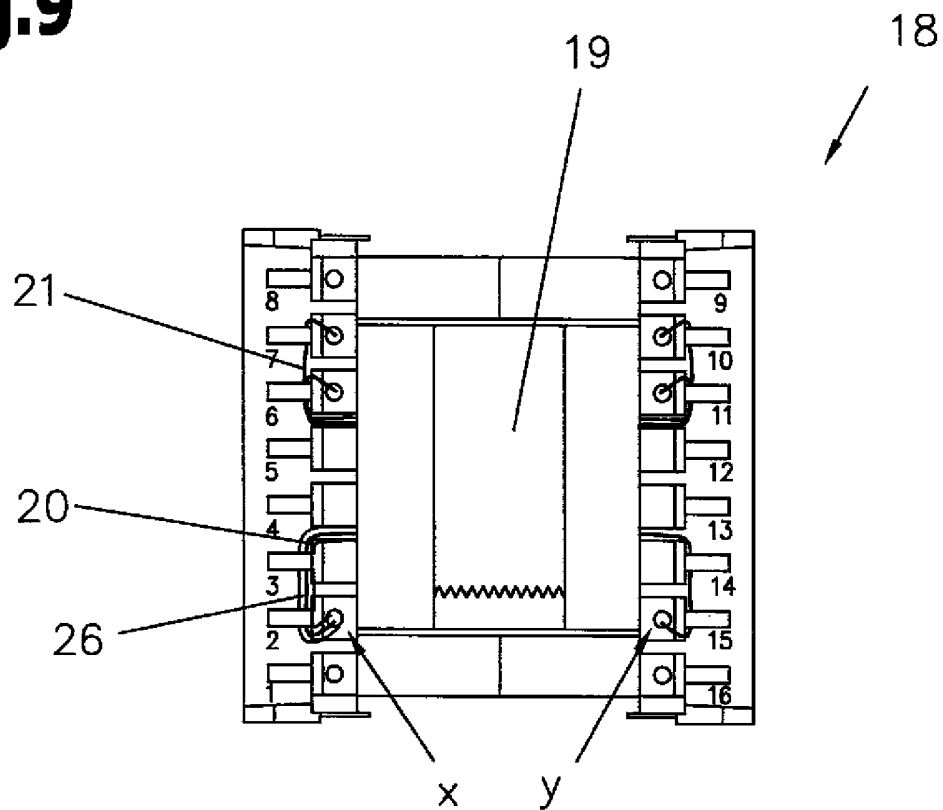


Fig.10

