



(10) **DE 10 2014 218 727 A1** 2016.03.24

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 218 727.3**  
(22) Anmeldetag: **18.09.2014**  
(43) Offenlegungstag: **24.03.2016**

(51) Int Cl.: **H02N 11/00 (2006.01)**  
**H01L 35/32 (2006.01)**  
**H01L 35/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Honsberg-Riedl, Martin, 83317 Teisendorf, DE;**  
**Howell, Philip Clissold, 85521 Riemerling, DE;**  
**Seidel, Julian, 80339 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

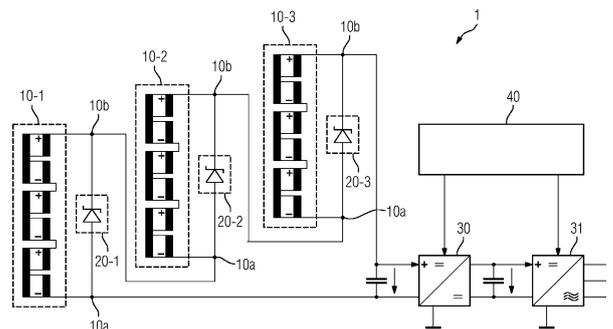
<b>US</b>	<b>2012 / 0 042 640</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>4 513 167</b>	<b>A</b>
<b>WO</b>	<b>2009/ 030 236</b>	<b>A2</b>
<b>JP</b>	<b>2005- 051 952</b>	<b>A</b>
<b>JP</b>	<b>2010- 010 637</b>	<b>A</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Thermoelektrischer Generator und Verfahren zum Betreiben eines thermoelektrischen Generators**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung schafft einen thermoelektrischen Generator und ein Verfahren zum Betreiben eines solchen thermoelektrischen Generators. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung dabei thermoelektrische Generatoren für industrielle Anwendungen mit hoher Leistung. Der thermoelektrische Generator umfasst dabei eine Mehrzahl von thermoelektrischen Modulen, mit jeweils einer Mehrzahl von thermoelektrischen Elementen. Tritt in einem der thermoelektrischen Module ein Defekt auf, insbesondere ein Defekt, der zu einer Unterbrechung des Stromflusses innerhalb des entsprechenden thermoelektrischen Modules führt, so wird das entsprechende thermoelektrische Modul durch eine geeignete Koppelvorrichtung überbrückt.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Ein thermoelektrisches Element ist ein Bauelement, das eine elektrische Spannung erzeugt, wenn zwischen zwei Seiten des thermoelektrischen Elements ein Temperaturunterschied existiert. Um ausreichend hohe Spannungen zu erzeugen, werden mehrere thermoelektrische Elemente zu einem thermoelektrischen Modul zusammengefasst und elektrisch in Reihe oder gegebenenfalls auch parallel geschaltet. Wird ein solches thermoelektrisches Modul in einem geschlossenen Schaltkreis angeordnet, so fließt ein elektrischer Strom und das thermoelektrische Modul erzeugt eine elektrische Leistung, deren Energiequelle der Wärmestrom durch das Modul ist. Ein thermoelektrisches Modul besteht dabei aus vielen thermoelektrischen Einzelschenkeln (Englisch: monocouple) oder Doppelschenkeln (jeweils aus p-Material und n-Material), die durch eine entsprechende Anordnung elektrisch seriell und thermisch parallel geschaltet sind. Mehrere thermoelektrische Module können zu einem großen thermoelektrischen Generator zusammengeschlossen werden. Da ein thermoelektrisches Modul typischerweise eine Spannung im Bereich von 1–5 Volt bei einem optimalen Betriebsstrom im Bereich von 1–10 Ampere erzeugt, werden mehrere Module elektrisch seriell geschaltet, um eine ausreichende Eingangsspannung für einen konventionellen Gleichspannungswandler zu liefern.

**[0002]** Bereits aufgrund des Temperaturunterschiedes über den thermoelektrischen Modulen besteht die Gefahr, dass ein thermoelektrisches Element beschädigt werden kann. Dies kann zu einer Reduktion der bereitgestellten elektrischen Spannung oder gegebenenfalls zu einer Leitungsunterbrechung führen. Bei einer Auslegung eines thermoelektrischen Moduls muss dabei der Fall berücksichtigt werden, dass die Leerlaufspannung, beispielsweise aufgrund einer Unterbrechung einer thermoelektrischen Elements, doppelt so hoch ist, wie die Ausgangsspannung im angepassten Maximalleistungsfall (engl.: maximum power point, MPP), bei der der Innenwiderstand eines solchen thermoelektrischen Generators dem Lastwiderstand einer angeschlossenen Last entspricht. Bei kleineren thermoelektrischen Generatoren, wie sie zum Beispiel im Automobilbereich zur Einspeisung in das batteriegestützte Bordnetz eines Kraftfahrzeuges verwendet werden, können die thermoelektrischen Module dabei so dimensioniert werden, dass ein Defekt eines thermoelektrischen Elements in einem der thermoelektrischen Module zu keiner signifikanten Leistungseinschränkung oder zu einer drastischen Spannungsüberhöhung führen kann. Sollen thermoelektrische Generatoren dagegen bei großen industriellen Anwendungen eingesetzt werden, so müssen deutlich mehr thermoelektrische Module seriell

hintereinander geschaltet werden, um die erforderliche Spannung für den Betrieb von hierfür geeigneten Spannungswandler oder ähnlichem bereitstellen zu können. In diesem Fall führt ein Defekt, insbesondere eine Unterbrechung eines thermoelektrischen Elements, zu signifikanten Beeinträchtigungen. Dabei kann eine Unterbrechung eines thermoelektrischen Elements zu einer hohen, gefährlichen Spannungsüberhöhung führen, da, wie bereits zuvor erwähnt, die Leerlaufspannung signifikant über der Betriebsspannung liegt.

**[0003]** Es besteht daher ein Bedarf nach einem sicheren und effizienten thermoelektrischen Generator für große Leistungen.

## Offenbarung der Erfindung

**[0004]** Hierzu schafft die vorliegende Erfindung gemäß einem ersten Aspekt einen thermoelektrischen Generator mit einer Mehrzahl von thermoelektrischen Modulen, wobei jedes thermoelektrische Modul dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit des Temperaturunterschieds über dem thermoelektrischen Modul eine elektrische Spannung zwischen zwei Anschlussklemmen bereitzustellen, wobei jedes thermoelektrische Modul eine Koppelvorrichtung umfasst, die dazu ausgelegt ist, die zwei Anschlüsselemente des jeweiligen thermoelektrischen Moduls zu überbrücken, wenn die elektrische Spannung zwischen den zwei Anschlüsselementen des thermoelektrischen Moduls von einer vorbestimmten Schwellspannung abweicht.

**[0005]** Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines thermoelektrischen Generators mit den Schritten des Bereitstellens einer Mehrzahl von thermoelektrischen Modulen, wobei jedes thermoelektrische Modul dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit eines Temperaturunterschieds über dem thermoelektrischen Modul eine elektrische Spannung zwischen zwei Anschlüsselementen bereitzustellen, und des Überbrückens der zwei Anschlüsselemente eines thermoelektrischen Moduls, wenn die elektrische Spannung zwischen den zwei Anschlüsselementen des thermoelektrischen Moduls von einer vorbestimmten Schwellspannung abweicht.

**[0006]** Gemäß noch einem weiteren Aspekt schafft die vorliegende Erfindung ein thermoelektrisches Kraftwerk mit einem erfindungsgemäßen thermoelektrischen Generator.

**[0007]** Eine Idee, die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegt, besteht darin, die erforderliche Ausgangsspannung eines thermoelektrischen Generators durch eine Mehrzahl von überbrückbaren thermoelektrischen Modulen bereitzustellen. Tritt dabei in einem der thermoelektrischen Module ein Defekt auf, wie beispielsweise eine Unterbrechung, so kann

daraufhin das entsprechende thermoelektrische Modul mittels einer geeigneten Koppelvorrichtung umgangen werden. Hierdurch bleibt der gesamte Stromkreis auch bei einer Unterbrechung in einem der thermoelektrischen Module weiterhin geschlossen und es kommt zu keiner Unterbrechung, die ihrerseits zu einer starken Spannungserhöhung an der Unterbrechungsstelle führen würde.

**[0008]** Ein Defekt in einem der thermoelektrischen Module, insbesondere eine Unterbrechung in dem elektrischen Leitungsweg, führt dabei zunächst aufgrund der hohen Leerlaufspannung zu einer Spannungsüberhöhung. Diese Spannungsüberhöhung kann dazu verwendet werden, einen solchen Defekt in einem der thermoelektrischen Module zu erkennen und daraufhin durch die Koppelvorrichtung das entsprechende thermoelektrische Modul zu überbrücken. Das Überbrücken erfolgt dabei insbesondere durch eine elektrische Verbindung zwischen den beiden Anschlussklemmen des entsprechenden thermoelektrischen Moduls.

**[0009]** Da die elektrische Überbrückung innerhalb des thermoelektrischen Generators durch eine der Koppelvorrichtung dabei jeweils auf nur eines der thermoelektrischen Module begrenzt ist, können die verbleibenden thermoelektrischen Module weiterhin ihre volle Ausgangsleistung bereitstellen. Hierdurch können die Einbußen aufgrund eines Defekts in einem der thermoelektrischen Module möglichst gering gehalten werden.

**[0010]** Ferner wird durch die elektrische Verbindung an den Anschlussklemmen des entsprechenden thermoelektrischen Moduls eine starke Spannungsüberhöhung innerhalb des defekten thermoelektrischen Moduls vermieden. Daher können insbesondere auch gefährliche Betriebszustände aufgrund hoher Leerlaufspannungen verhindert werden.

**[0011]** Durch das Überbrücken eines thermoelektrischen Moduls in einem thermoelektrischen Generator mit einer Vielzahl von thermoelektrischen Modulen ist es somit möglich, den thermoelektrischen Generator auch dann über einen längeren Zeitraum weiter zu betreiben, wenn ein oder wenige Defekte innerhalb der gesamten Anordnung des thermoelektrischen Generators auftreten. Hierdurch sinkt der Wartungsaufwand, da ein erfindungsgemäßer thermoelektrischer Generator nicht bei jedem auftretenden Defekt sofort abgeschaltet und repariert werden muss. Auf diese Weise steigt auch die Verfügbarkeit der durch den thermoelektrischen Generator erzeugten elektrischen Energie.

**[0012]** Gemäß einer Ausführungsform weisen die thermoelektrischen Module der Mehrzahl von thermoelektrischen Modulen des thermoelektrischen Generators jeweils eine Kaltseite und eine Warmsei-

te auf. Die Warmseite des jeweiligen thermoelektrischen Moduls entspricht dabei einer Seite des thermoelektrischen Moduls, die durch ein Wärmemedium aufgewärmt werden kann. Entsprechend entspricht die Kaltseite des thermoelektrischen Moduls einer Seite des thermoelektrischen Moduls, die durch ein Kühlmedium abgekühlt werden kann. Je nach Anwendung kann dabei entweder gleichzeitig durch ein Medium die Warmseite erwärmt und durch ein weiteres Medium die Kaltseite gekühlt werden. Alternativ ist es auch möglich, nur die Warmseite zu erwärmen oder die Kaltseite zu kühlen und die jeweils verbleibende Seite auf Umgebungstemperatur zu halten.

**[0013]** Gemäß einer Ausführungsform kann die Koppelvorrichtung dabei an der Kaltseite des thermoelektrischen Moduls angeordnet sein.

**[0014]** Durch das Anbringen der Koppelvorrichtung an der Kaltseite des thermoelektrischen Moduls ist es dabei möglich, die thermische Energie, die durch das Koppelmedium entsteht, effizient abzuführen. Auf diese Weise kann die Koppelvorrichtung auch über einen längeren Zeitraum thermisch stabil auf einer ausreichend niedrigen Temperatur gehalten werden. Dies ermöglicht den Betrieb der Koppelvorrichtung zur Überbrückung eines thermoelektrischen Moduls auch über einen längeren Zeitraum, ohne dass dabei die Koppelvorrichtung zu stark erwärmt und dabei beschädigt würde.

**[0015]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst jedes thermoelektrische Modul eine Mehrzahl von in Reihe geschalteter thermoelektrischer Elemente.

**[0016]** Durch die Reihenschaltung mehrerer thermoelektrischer Elemente in einem thermoelektrischen Modul kann die Ausgangsspannung des thermoelektrischen Moduls entsprechend eingestellt werden.

**[0017]** Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Koppelvorrichtung eine Diode. Vorzugsweise kann es sich bei der Diode um eine Schottkydiode, insbesondere um eine Hochstrom-Schottkydiode, handeln.

**[0018]** Durch die Überbrückung der Anschlüsselemente des thermoelektrischen Moduls mittels einer Diode kann eine besonders kostengünstige und effiziente Überbrückung der jeweiligen thermoelektrischen Module im Fehlerfall erreicht werden.

**[0019]** Gemäß einer Ausführungsform sind die thermoelektrischen Module in Reihe geschaltet, und die Spannung der in Reihe geschalteten thermoelektrischen Module wird an einem zentralen Spannungskonverter bereitgestellt.

**[0020]** Auf diese Weise kann die von dem thermoelektrischen Generator bereitgestellte Ausgangs-

spannung mittels eines zentralen Spannungskonverters, beispielsweise einem Gleichspannungskonverter, oder gegebenenfalls auch eines Wechselrichters, auf eine gewünschte stabile Ausgangsspannung konvertiert werden.

**[0021]** Gemäß einer Ausführungsform umfasst der zentrale Spannungskonverter einen zentralen Anpassungsregler. Der Anpassungsregler ist dabei dazu ausgelegt, die an den zentralen Spannungsregler bereitgestellte Spannung auf einen vorbestimmten Spannungswert einzustellen. Ferner kann der Anpassungsregler die von den thermoelektrischen Modulen bezogene elektrische Energie anpassen.

**[0022]** Durch die Anpassung der bezogenen elektrischen Energie ist es möglich, die thermoelektrischen Module des thermoelektrischen Generators jeweils in einem optimalen Leistungspunkt (maximum power point, MPP) zu betreiben.

**[0023]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfassen die Koppelvorrichtungen jeweils einen Gleichspannungswandler. Die Gleichspannungswandler in den Koppelvorrichtungen der thermoelektrischen Module können dabei insbesondere alle gleich ausgeführt sein.

**[0024]** Jeder der Gleichspannungswandler umfasst dabei einen Eingangsanschluss und einen Ausgangsanschluss. Der Eingangsanschluss ist dabei mit den Anschlusselementen des jeweiligen thermoelektrischen Moduls elektrisch gekoppelt.

**[0025]** Gemäß einer Ausführungsform umfasst jeder der Gleichspannungswandler einen Anpassungsregler. Die Anpassungsregler der Gleichspannungswandler sind dabei dazu ausgelegt, in dem jeweiligen thermoelektrischen Modul einen Arbeitspunkt einzustellen.

**[0026]** Auf diese Weise ist es möglich, durch den jeweiligen Anpassungsregler jedem der Gleichspannungswandler jedes der thermoelektrischen Module individuell auf einen optimalen Arbeitspunkt einzustellen.

**[0027]** Gemäß einer Ausführungsform ist die Mehrzahl von Gleichspannungswandler in Reihe geschaltet. Dabei sind die Ausgangsanschlüsse der Gleichspannungswandler jeweils entsprechend miteinander verschaltet.

**[0028]** Auf diese Weise ist es möglich, eine entsprechend hohe Ausgangsspannung bereitzustellen, die für eine weitere Ansteuerung von Komponenten, insbesondere für Wechselrichter zur Netzeinspeisung oder ähnlichem geeignet ist.

**[0029]** Gemäß einer Ausführungsform umfasst der thermoelektrische Generator ferner einen Spannungsregler, der dazu ausgelegt ist, die Ausgangsspannung der in Reihe geschalteten Gleichspannungswandler auf einen vorbestimmten Spannungswert einzustellen.

**[0030]** Auf diese Weise kann die Ausgangsspannung der in Reihe geschalteten Gleichspannungswandler angepasst werden.

**[0031]** Weitere Ausführungsformen und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Bezug auf die beigefügten Zeichnungen.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0032]** Dabei zeigen:

**[0033]** Fig. 1: eine schematische Darstellung eines thermoelektrischen Moduls;

**[0034]** Fig. 2: eine schematische Darstellung eines Schaltbilds für einen thermoelektrischen Generator gemäß einer Ausführungsform;

**[0035]** Fig. 3: eine schematische Darstellung einer Schaltungsanordnung für einen thermoelektrischen Generator gemäß einer weiteren Ausführungsform; und

**[0036]** Fig. 4: eine schematische Darstellung eines Ablaufdiagramms, wie es einem Verfahren zum Betreiben eines thermoelektrischen Generators zugrunde liegt.

#### Beschreibung von Ausführungsformen

**[0037]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines thermoelektrischen Generators **1**. Im hier dargestellten Beispiel handelt es sich um einen quaderförmigen thermoelektrischen Generator **1** mit einer Vielzahl von zylinderförmigen thermoelektrischen Modulen **10**. Diese Ausführungsform dient nur dem Verständnis der vorliegenden Erfindung und stellt dabei keine Einschränkung dar. Weitere Ausführungsformen mit anderen Formen für die thermoelektrischen Module **10** bzw. den thermoelektrischen Generator **1**, sowie beliebige andere Anzahl von thermoelektrischen Modulen **10** sind darüber hinaus ebenso möglich.

**[0038]** Der thermoelektrische Generator **1** kann in Richtung **11** von einem ersten Massenstrom, beispielsweise einem Gas oder einer Flüssigkeit, durchströmt werden. Bei diesem Massenstrom kann es sich um einen warmen bzw. heißen Massenstrom handeln, der den thermoelektrischen Generator **1** und somit die thermoelektrischen Module **10** auf einer

Seite erwärmt. Während dieser Massenstrom durch den thermoelektrischen Generator **1** strömt, wird er dabei abgekühlt und tritt mit einer niedrigeren Temperatur in Richtung **12** aus dem thermoelektrischen Generator **1** aus. Darüber hinaus kann der thermoelektrische Generator **1** von einem weiteren Massenstrom gekühlt werden. Hierzu tritt dieser weitere Massenstrom in Richtung **13** in den thermoelektrischen Generator **1** ein. In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel durchströmt der zweite Massenstrom den thermoelektrischen Generator **1** dabei mäanderförmig. Aber auch weitere Strömungsverläufe zum Kühlen des thermoelektrischen Generators **1** sind darüber hinaus möglich. Am Ende tritt der weitere Massenstrom in Richtung **14** aus dem thermoelektrischen Generator **1** wiederum aus.

**[0039]** Jedes der thermoelektrischen Module **10** kann dabei eine Vielzahl von thermoelektrischen Elementen umfassen. Mehrere dieser thermoelektrischen Elemente können dabei zur Erhöhung der Ausgangsspannung in Reihe geschaltet werden. Ferner ist es auch möglich, zur Steigerung des Ausgangstroms mehrere thermoelektrische Elemente parallel zu schalten. Vorzugsweise werden mehrere Stränge von in Reihe geschalteten thermoelektrischen Elementen dabei parallelgeschaltet.

**[0040]** Während der erste Massenstrom und/oder der zweite Massenstrom den thermoelektrischen Generator **1** durchströmen, entsteht zwischen zwei sich gegenüberliegenden Seiten eines thermoelektrischen Elements ein Temperaturunterschied. Durch diesen Temperaturunterschied erzeugt jedes der thermoelektrischen Elemente eine zu dem Temperaturunterschied korrespondierende Ausgangsspannung. Durch Reihen bzw. Parallelschaltung mehrerer thermoelektrischer Elemente kann dabei, wie zuvor beschrieben, für jedes der thermoelektrischen Module **10** mit einer Vielzahl von thermoelektrischen Elementen eine Ausgangsspannung bereitgestellt werden.

**[0041]** Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Schaltungsanordnung für einen thermoelektrischen Generator **1** gemäß einer Ausführungsform. Der thermoelektrische Generator **1** umfasst in dieser Ausführungsform drei thermoelektrische Module **10-i**. Die hier gewählte Anzahl von drei thermoelektrischen Modulen **10-i** dient nur dem besseren Verständnis. In der Praxis ist jedoch jede andere Anzahl von thermoelektrischen Modulen **10**, insbesondere eine deutlich größere Anzahl als drei thermoelektrische Module **10** möglich. Jedes dieser thermoelektrischen Module **10-i** umfasst zwei Anschlusselemente **10a** und **10b**. Besteht über den einzelnen thermoelektrischen Elementen der thermoelektrischen Module **10-i** eine Temperaturdifferenz, so wird durch jedes der thermoelektrischen Elemente eine Spannung bereitgestellt. Diese Spannungen addieren sich aufgrund der Rei-

henschaltung der thermoelektrischen Elemente innerhalb eines thermoelektrischen Moduls **10-i**. Die Summe der Spannungen der einzelnen thermoelektrischen Elemente eines thermoelektrischen Moduls **10-i** liegt folglich zwischen den beiden Anschlusselementen **10-a** und **10-b** der thermoelektrischen Module **10-i** an.

**[0042]** Ferner ergibt sich aufgrund der Reihenschaltung der thermoelektrischen Module **10-i** eine Spannung aus der Summe der Spannungen zwischen den Anschlusselemente **10a**, **10b** der jeweiligen thermoelektrischen Module **10-i**. Die Spannung aus der Summe der thermoelektrischen Module **10-i** wird an einem zentralen Spannungskonverter **30** bereitgestellt. Beispielsweise kann es sich bei diesem zentralen Spannungskonverter **30** um einen Gleichspannungswandler handeln, der aufgrund der variablen Temperaturverhältnisse und einer wechselnden Belastung eine schwankende Spannung aus der Reihenschaltung der thermoelektrischen Module **10** in eine konstante Gleichspannung mit einem vorbestimmten Spannungswert konvertiert. Die Ausgangsspannung dieses zentralen Spannungskonverters **30** kann daraufhin gegebenenfalls einem weiteren Spannungskonverter **31** bereitgestellt werden, der die Ausgangsspannung des zentralen Spannungskonverters **30** in eine weitere Spannung konvertiert. Diese weitere Spannung kann bei Bedarf in ein ein- oder mehrphasiges Energieversorgungsnetz eingespeist werden, oder auch direkt einem oder mehreren Verbrauchern zur Verfügung gestellt werden.

**[0043]** Für einen optimalen Betrieb können der zentrale Spannungskonverter **30** und gegebenenfalls auch der weitere Spannungskonverter **31** über einen Anpassungsregler **40** (Maximum Power Point Tracker, MPPT) geregelt werden. Durch diesen zentralen Anpassungsregler **40** ist es möglich, den Energiebezug durch den zentralen Spannungskonverter **30** von den thermoelektrischen Modulen **10-i** des thermoelektrischen Generators **1** kontrolliert anzupassen und so den thermoelektrischen Generator **1** mit den thermoelektrischen Modulen **10-i** in einem optimalen Betriebspunkt zu betreiben. Hierzu kann der Anpassungsregler **40** für den zentralen Spannungskonverter **30** und/oder den weiteren Spannungskonverter **41** eine Vorgabe für einen einzustellenden Arbeitspunkt empfangen. Weiterhin kann der Anpassungsregler **40** für den zentralen Spannungskonverter und/oder den weiteren Spannungskonverter **41** die Ausgangsspannung des thermoelektrischen Generators **1** mit der Mehrzahl der thermoelektrischen Module **10-i** erfassen. Die Erfassung weiterer Messwerte, wie beispielsweise den von dem zentralen Spannungskonverter **30** und/oder dem weiteren Spannungskonverter **31** abgegebenen Strom und/oder gegebenenfalls weitere Soll- bzw. Messwerte können ebenfalls dem zentralen Anpassungsregler **40** bereitgestellt

werden. Der zentrale Anpassungsregler **40** für den zentralen Spannungskonverter **30** und/oder den weiteren Spannungskonverter **31** passt daraufhin den Arbeitspunkt des zentralen Spannungskonverters **30** bzw. des weiteren Spannungskonverters **31** an, so dass von dem thermoelektrischen Generator **1** mit der Mehrzahl der thermoelektrischen Module **10-i** jeweils ein Energiebezug im optimalen Arbeitspunkt, oder zumindest in der Nähe des optimalen Arbeitspunktes möglich wird.

**[0044]** Konventionelle Drehstrom-Netzwechselrichter, wie sie beispielsweise als weitere Spannungskonverter **31** eingesetzt werden können, erfordern in der Regel eine relative hohe Eingangsspannung. Beispielsweise kann die Eingangsspannung eines solchen Drehstrom-Netzwechselrichters im Bereich von etwa 950 Volt liegen. Um an dem weiteren Netzspannungskonverter **31** eine entsprechende Eingangsspannung im Bereich von mehreren hundert Volt, insbesondere von etwa 950 Volt bereitstellen zu können, ist auch als Eingangsspannung für den zentralen Spannungskonverter **30** eine entsprechend dimensionierte Spannung von mehreren hundert Volt, insbesondere im Bereich von etwa 100 Volt bis 700 Volt, erforderlich. Um diese hohen Spannungen bereitstellen zu können, werden bis etwa 30 kW elektrischer Nutzleistung beispielsweise nur einzelne serielle Stränge von thermoelektrischen Modulen **10** eingesetzt. Insbesondere im Fall von einzelnen seriellen Strängen von thermoelektrischen Modulen **10** müssen jedoch Maßnahmen ergriffen werden, um Leitungsunterbrechungen aufgrund gebrochener oder anderweitig defekter thermoelektrischer Elemente automatisch und verlustarm überbrücken zu können oder auszugleichen.

**[0045]** Hierzu ist zwischen den beiden Anschlusselementen **10a** und **10b** jedes thermoelektrischen Moduls **10-i** jeweils eine Koppelvorrichtung **20-i** angeordnet. In dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel handelt es sich bei den Koppelvorrichtungen **20-i** dabei um Nebenschlussdioden. Dabei ist parallel zu jedem thermoelektrischen Modul **10-i** jeweils eine dieser Nebenschlussdioden angeschlossen, so dass alle thermoelektrischen Elemente über einen Diodennebenschluss verfügen. Bei den Dioden in den Koppelvorrichtungen **20-i** kann es sich dabei beispielsweise um Schottkydioden, insbesondere um Hochstrom-Schottkydioden handeln. Aber auch weitere Bauelemente, insbesondere auf Halbleiterbasis, sind möglich, um bei einer Unterbrechung des parallel angeordneten thermoelektrischen Moduls **10-i** den Stromfluss durch die Koppelvorrichtungen **20-i** zu übernehmen.

**[0046]** Durch die Überbrückung eines thermoelektrischen Moduls **10-i** mit einem defekten thermoelektrischen Element kann somit sichergestellt werden, dass auch bei Unterbrechung in dem Strompfad ei-

nes solchen thermoelektrischen Moduls **10-i** mit einem defekten thermoelektrischen Element sich keine hohen Spannungen aufbauen, die bei einer hohen Anzahl von thermoelektrischen Elementen auch ein hohes Gefährdungs- und Schädspotential besitzen könnten.

**[0047]** Die Überbrückung eines thermoelektrischen Moduls **10-i** mit einem defekten thermoelektrischen Element durch eine Koppelvorrichtung **20-i** führt dabei bei entsprechender Dimensionierung der thermoelektrischen Elemente in einem thermoelektrischen Modul **10-i** und bei einer entsprechenden Anzahl von thermoelektrischen Modulen **10-i** in dem thermoelektrischen Generator **1** nur zu einem relativ geringen Spannungseinbruch. Dieser relativ geringe Spannungseinbruch kann dabei durch den zentralen Anpassungsregler **40** für den zentralen Spannungskonverter **30** sehr gut ausgeglichen werden, so dass sich am Ausgang des zentralen Spannungskonverters **30** auch bei einer Überbrückung eines oder mehrerer thermoelektrischer Module **10-i** noch zumindest annähernd die gleiche Ausgangsspannung ergibt.

**[0048]** Umfasst beispielsweise ein thermoelektrisches Modul **10-i** jeweils fünf thermoelektrische Elemente mit einer Ausgangsspannung von jeweils 1 Volt, so bricht bei einem Defekt eines derartigen thermoelektrischen Moduls **10-i** dabei die Spannung zunächst um die entsprechenden 5 Volt dieser fünf thermoelektrischen Elemente ein. Hinzu kommt ein Spannungsabfall über der Koppelvorrichtung **20-i**, also beispielsweise ein Spannungsabfall über der Diode der Koppelvorrichtung **20-i**. Dieser Spannungsabfall liegt in der Regel unterhalb einem Volt, beispielsweise bei etwa 0,5 Volt. Somit ergibt sich als Konsequenz bei einem Defekt in einem thermoelektrischen Modul **10-i** ein Spannungseinbruch um 5 Volt für die thermoelektrischen Elemente diesen thermoelektrischen Moduls plus dem Spannungsabfall über der Koppelvorrichtung **20-i** von ca. 0,5 Volt, also in der Summe etwa 5,5 Volt. Selbstverständlich sind auch thermoelektrische Module mit einer von fünf abweichenden Anzahlen von thermoelektrischen Elementen ebenso möglich wie thermoelektrische Elemente mit einer von 1 Volt abweichenden Ausgangsspannung.

**[0049]** **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform von einem thermoelektrischen Generator. In dem dabei dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst der thermoelektrische Generator **1** vier thermoelektrische Module **10-i**. Jedes dieser thermoelektrischen Module **10-i** ist dabei jeweils über die zwei Anschlusselemente **10a** und **10b** mit einer Koppelvorrichtung **21-i**, hier in Form eines Gleichspannungswandlers, verbunden. Die Koppelvorrichtungen **21-i**, beispielsweise in Form der Gleichspannungswandler sind dabei in Reihe geschaltet. Die thermoelektrischen Module **10-i** und

die Eingänge der Koppelvorrichtungen **21-i** sind dabei allpolig elektrisch isoliert, so dass die Eingänge der Koppelvorrichtungen **21-i** in der Spannung frei schweben können. Die durchschnittliche Betriebsspannung der Gleichspannungswandler der Koppelvorrichtungen **21-i** kann dabei beispielsweise in der Größenordnung von etwa 20 Volt liegen. Andere Betriebsspannungen, beispielsweise im Bereich zwischen 10 und 50 Volt, oder aber auch darüber oder darunter, sind darüber hinaus ebenso möglich. Durch eine Reihenschaltung einer geeigneten Anzahl von Koppelvorrichtungen **21** kann dabei auch in diesem Fall eine ausreichende Spannung bereitgestellt werden, die dazu geeignet ist, einen konventionellen weiteren Spannungswandler **31** zu speisen. Beispielsweise kann es sich auch hierbei bei dem weiteren Spannungswandler **31** um einen ein- oder mehrphasigen Wechselrichter handeln, dessen Ausgangsspannung in ein Energieversorgungsnetz eingespeist werden kann, oder unmittelbar zur Energieversorgung eines oder mehrerer elektrischer Verbraucher dient.

**[0050]** Die einzelnen Gleichspannungswandler in den Koppelvorrichtungen **21-i** können dabei relativ klein dimensioniert werden. Beispielsweise können die einzelnen Gleichspannungswandler eine Leistung zwischen 250 und 500 Watt aufweisen. Ferner können die einzelnen Koppelvorrichtungen **21-i** und insbesondere die darin enthaltenen Gleichspannungswandler jeweils von einem Anpassungsregler **41-i** geregelt werden. Durch die individuelle Regelung jedes Gleichspannungswandlers in den Koppelvorrichtungen **21-i** kann dabei jedes thermoelektrische Modul **10-i** individuell auf einen optimalen Arbeitsbereich (MPP) eingeregelt werden.

**[0051]** Tritt in einem thermoelektrischen Modul **10-i**, insbesondere in einem der thermoelektrischen Elemente eines thermoelektrischen Moduls **10-i**, ein Defekt auf, so kann die korrespondierende Koppelvorrichtung **21-i** das jeweilige thermoelektrische Modul **10-i** elektrisch überbrücken. Auf diese Weise kann eine Stromkreisunterbrechung in einem der thermoelektrischen Module **10-i** durch einen gesteuerten Durchleitungskurzschluss überbrückt werden. Die verbleibenden Gleichspannungswandler in den restlichen Koppelvorrichtungen **21-i**, mit noch intakten thermoelektrischen Modulen **10-i** können daraufhin durch die Anpassungsregler **41-i** derart angesteuert werden, um den Spannungsverlust aufgrund der Überbrückung des thermoelektrischen Moduls **10-i** mit einem Defekt zu kompensieren. Auf diese Weise ist es auch bei Ausfall eines oder mehrerer thermoelektrischer Module **10-i** möglich, am Eingang des weiteren Spannungskonverters **31** stets eine zumindest annähernd konstante Gleichspannung bereitstellen zu können. Daher kann in dieser Ausführungsform beispielsweise der zentrale Spannungskonverter **30** aus **Fig. 1** entfallen. Die einzelnen Koppelvor-

richtungen **21-i**, insbesondere die Gleichspannungswandler und die Anpassungsregler **41-i** können vernetzt werden, und die Werte hieraus können zu einem Zustandsplan für die thermoelektrischen Module **10-i** verdichtet werden. Da jeder einzelne Gleichspannungswandler in den Koppelvorrichtungen **21-i** durch einen Anpassungsregler **41-i** gesteuert wird, oder die Steuerung durch einen übergeordneten zentralen Anpassungsregler (in **Fig. 2** nicht dargestellt) erfolgt, kann auch bei sehr unterschiedlich arbeitenden thermoelektrischen Modulen **10-i** die maximale Leistung abgegeben werden. Dies ermöglicht insbesondere auch die Kompensation von Leistungseinbußen aufgrund unterschiedlich schneller Alterung der thermoelektrischen Module **10-i**. Ferner können auch Anforderungen für verschiedene Arbeitspunkte, beispielsweise aufgrund variabler Temperaturunterschiede in den einzelnen thermoelektrischen Modulen **10-i**, mit berücksichtigt werden und somit die Effizienz des Gesamtsystems gesteigert werden.

**[0052]** Da im Fehlerfall eines thermoelektrischen Moduls **10-i** durch die korrespondierende Koppelvorrichtung **20-i** bzw. **21-i** ein relativ hoher Strom überbrückt werden muss, können hierbei auch größere Verlustleistungen und damit verbundene Erwärmung auftreten. Zur Kühlung der Koppelvorrichtungen **20-i** bzw. **21-i** können die Koppelvorrichtungen **20-i**, **21-i** dabei vorzugsweise auf den kalten, bzw. gekühlten Seiten der thermoelektrischen Module **10-i** angeordnet werden. Auf diese Weise ist es auch über einen längeren Zeitraum möglich, defekte thermoelektrische Module **10-i** zu überbrücken, ohne dass hierbei aufgrund der hohen Verlustleistung eine schnelle Alterung und damit Beschädigung der Koppelvorrichtungen **20-i** bzw. **21-i** auftreten würde.

**[0053]** **Fig. 4** zeigt eine schematische Darstellung eines Ablaufdiagramms, wie es einem Verfahren zum Betreiben eines thermoelektrischen Generators zugrunde liegt. In Schritt S1 wird eine Mehrzahl von thermoelektrischen Modulen **10-i** bereitgestellt, wobei jedes der thermoelektrischen Module **10-i** dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit eines Temperaturunterschiedes über den thermoelektrischen Modulen **10-i** eine elektrische Spannung zwischen zwei Anschlüsselementen **10a** und **10b** bereitzustellen. Tritt ein Defekt in einem der thermoelektrischen Module **10-i** auf, so kann in Schritt S2 das thermoelektrische Modul **10-i** zwischen den zwei Anschlüsselementen **10a** und **10b** überbrückt werden.

**[0054]** Zusammenfassend betrifft die vorliegende Erfindung einen thermoelektrischen Generator und ein Verfahren zum Betreiben eines solchen thermoelektrischen Generators. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung dabei thermoelektrische Generatoren für industrielle Anwendungen mit hoher Leistung. Der thermoelektrische Generator umfasst dabei eine Mehrzahl von thermoelektrischen Modu-

len, mit jeweils einer Mehrzahl von thermoelektrischen Elementen. Tritt in einem der thermoelektrischen Module ein Defekt auf, insbesondere ein Defekt, der zu einer Unterbrechung des Stromflusses innerhalb des entsprechenden thermoelektrischen Moduls führt, so wird das entsprechende thermoelektrische Modul durch eine geeignete Koppelvorrichtung überbrückt.

### Patentansprüche

1. Thermoelektrischer Generator (1), mit:  
einer Mehrzahl von thermoelektrischen Modulen (10), wobei jedes thermoelektrische Modul (10) dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit eines Temperaturunterschieds über dem thermoelektrischen Modul (10) eine elektrische Spannung zwischen zwei Anschlusselementen (10a, 10b) bereitzustellen;  
wobei jedes thermoelektrische Modul (10) eine Koppelvorrichtung (20, 21) umfasst, die dazu ausgelegt ist, die zwei Anschlusselemente (10a, 10b) des jeweiligen thermoelektrischen Moduls (10) zu überbrücken, wenn die elektrische Spannung zwischen den zwei Anschlusselementen von einer vorbestimmten Schwellspannung abweicht.

2. Thermoelektrischer Generator (1) nach Anspruch 1, wobei die thermoelektrischen Module (10) eine Kaltseite und eine Warmseite aufweisen und die Koppelvorrichtungen (20, 21) an den Kaltseiten der thermoelektrischen Module (10) angeordnet sind.

3. Thermoelektrischer Generator (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei jedes thermoelektrische Modul (10) eine Mehrzahl von in Reihe geschalteter thermoelektrischer Elemente umfasst.

4. Thermoelektrischer Generator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die thermoelektrischen Module (10) in Reihe geschaltet sind, und die Spannung der in Reihe geschalteten thermoelektrischen Module (10) an einem zentralen Spannungskonverter (30) bereitgestellt wird.

5. Thermoelektrischer Generator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Koppelvorrichtungen (20) jeweils eine Diode, vorzugsweise eine Schottkydiode, umfassen.

6. Thermoelektrischer Generator (1) nach Anspruch 5, wobei der zentrale Spannungskonverter (30) einen zentralen Anpassungsregler (40) umfasst, der dazu ausgelegt ist, die an dem zentralen Spannungskonverter (30) bereitgestellte Spannung auf einen vorbestimmten Spannungswert einzustellen.

7. Thermoelektrischer Generator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Koppelvorrichtungen (21) jeweils einen Gleichspannungswandler umfassen.

8. Thermoelektrischer Generator (1) nach Anspruch 7, wobei die Gleichspannungswandler, einen Anpassungsregler (41) aufweisen, der dazu ausgelegt ist, einen Arbeitspunkt des jeweiligen thermoelektrischen Moduls (10) einzustellen.

9. Thermoelektrischer Generator (1) nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Mehrzahl von Gleichspannungswandlern in Reihe geschaltet ist.

10. Thermoelektrischer Generator (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, mit einem Spannungsregler, der dazu ausgelegt ist, die Ausgangsspannung der in Reihe geschalteten Gleichspannungswandler auf eine vorbestimmte Spannung einzustellen.

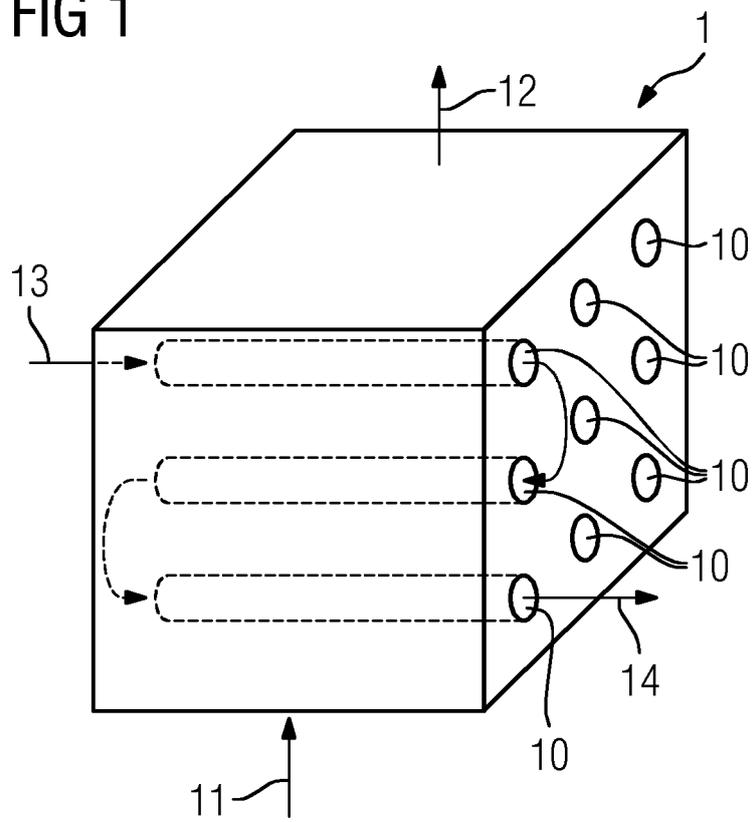
11. Thermoelektrisches Kraftwerk, mit einem thermoelektrischen Generator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10.

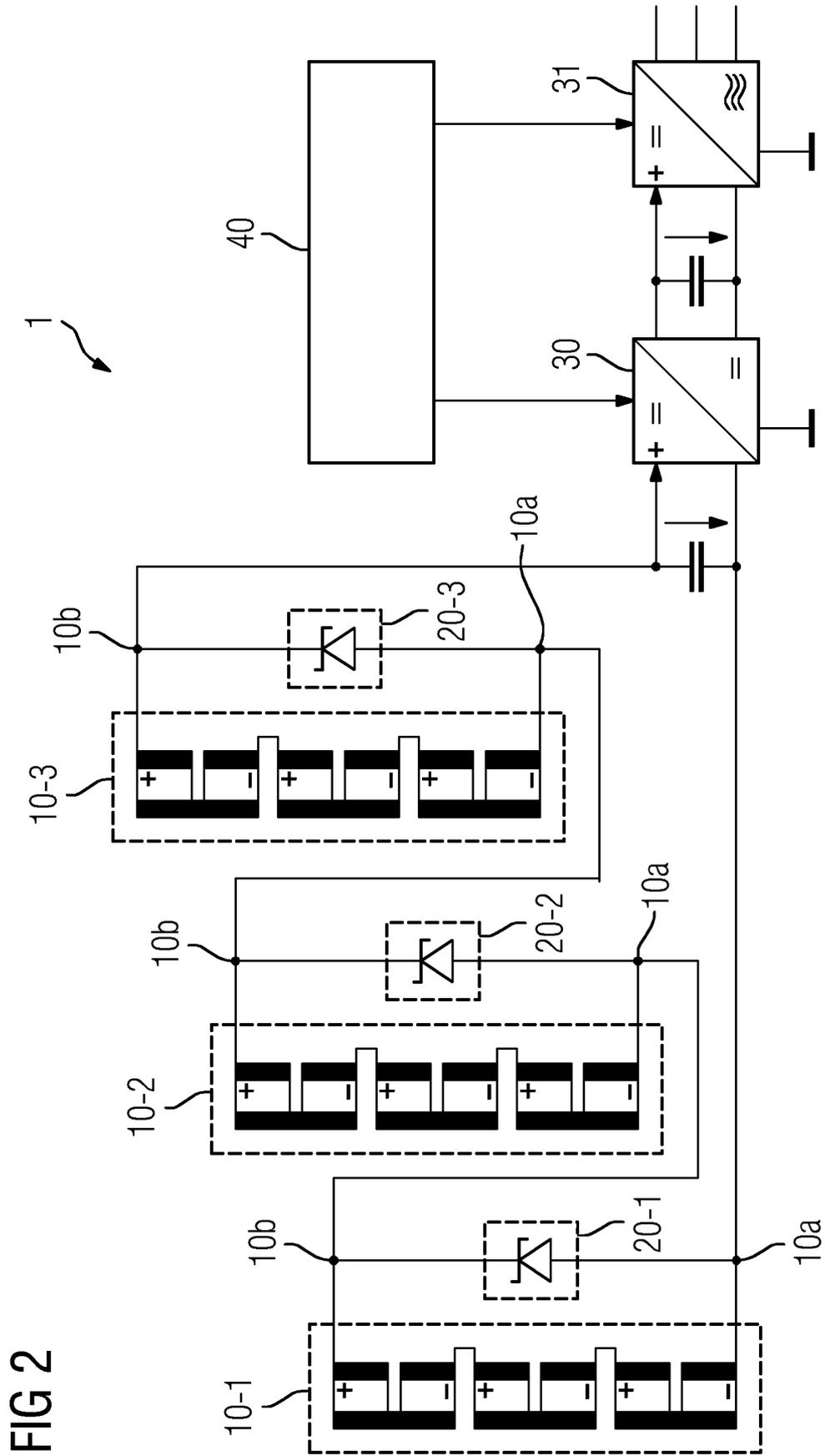
12. Verfahren zum Betreiben eines thermoelektrischen Generators, mit den Schritten:  
Bereitstellen (S1) einer Mehrzahl von thermoelektrischen Modulen (10), wobei jedes thermoelektrische Modul (10) dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit eines Temperaturunterschieds über dem thermoelektrischen Modul (10) eine elektrische Spannung zwischen zwei Anschlusselementen (10a, 10b) bereitzustellen;  
Überbrücken (S2) der zwei Anschlusselemente (10a, 10b) eines thermoelektrischen Moduls (10), wenn die elektrische Spannung zwischen den zwei Anschlusselementen (10a, 10b) des thermoelektrischen Moduls (10) von einer vorbestimmten Schwellspannung abweicht.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1





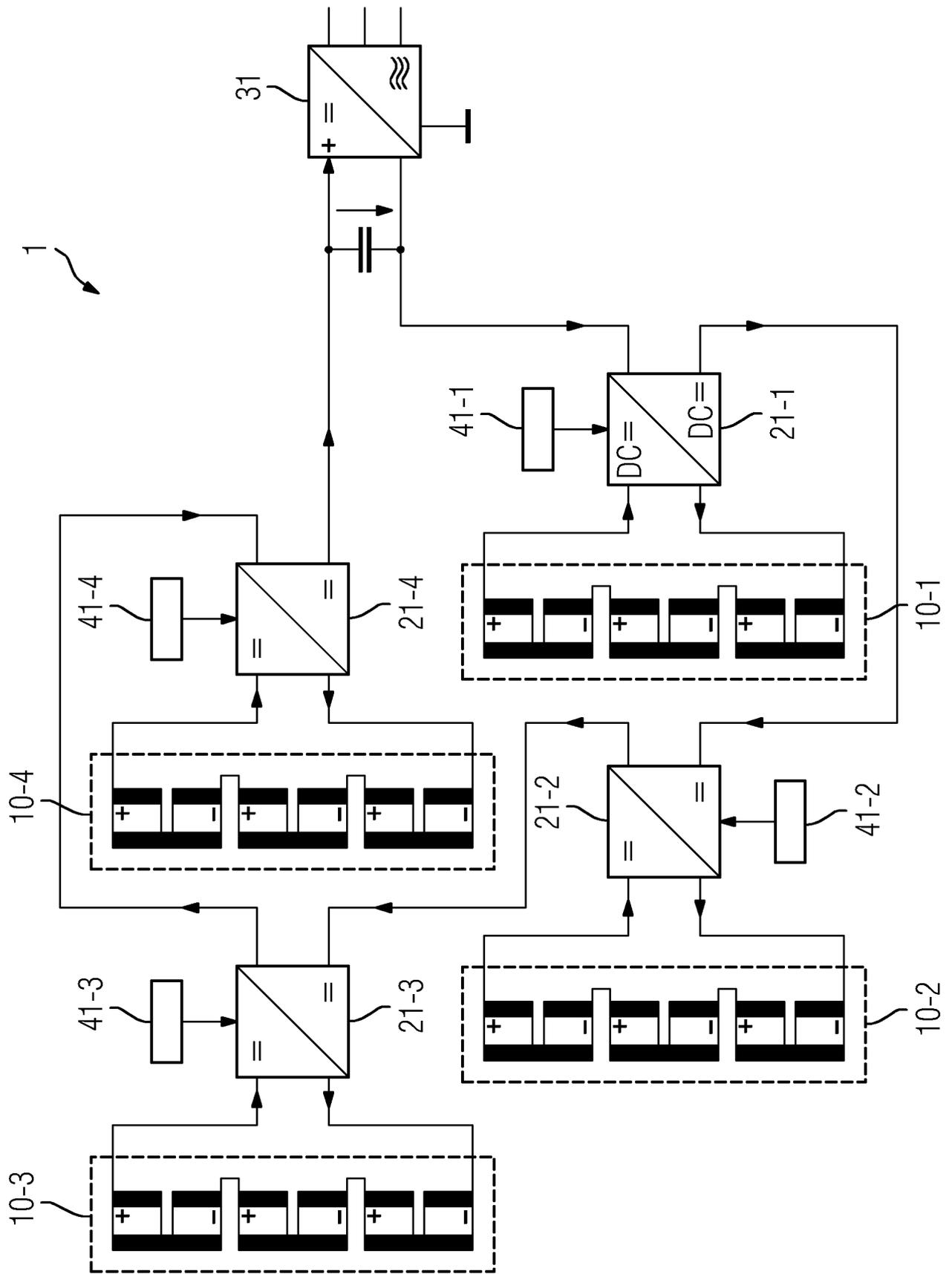


FIG 3

FIG 4

