

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Januar 2004 (29.01.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/010556 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H02H 1/00**

[DE/DE]; vertreten durch den Rektor, Postfach 10 05 65,
98684 Ilmenau (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/007644

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Juli 2003 (15.07.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 33 119.7 20. Juli 2002 (20.07.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU**

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HAUSCHILD, Horst**
[DE/DE]; Hüttenholzstrasse 30, 98693 Ilmenau (DE).
MÜLLER, Ingo [DE/DE]; Karl-Liebkecht-Strasse 10,
98693 Ilmenau (DE). **KÖRNER, Michael** [DE/DE]; An
der Mattenmühle 47, 77815 Bühl (DE).

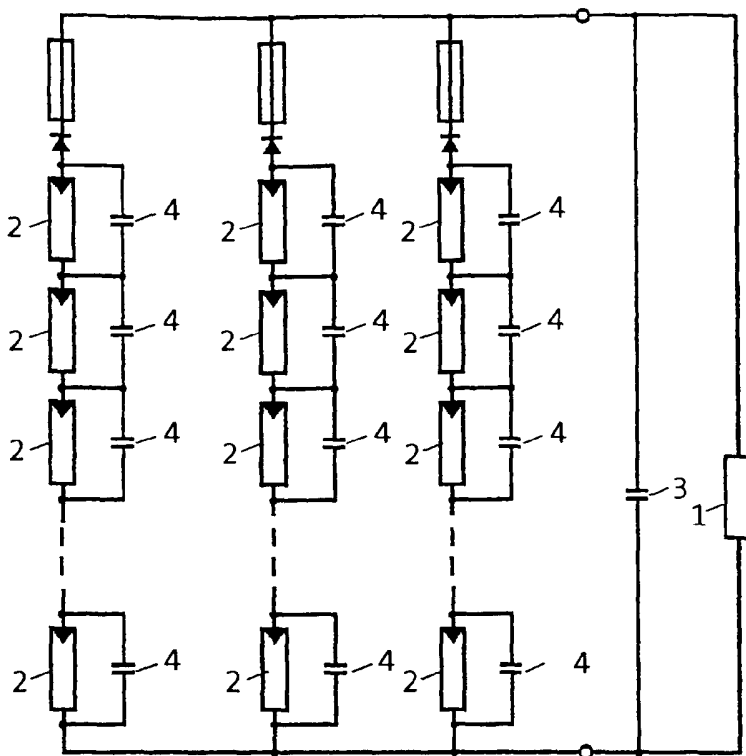
(74) Anwalt: **ENGEL, Christoph, K.**; Engel & Weihrauch,
Marktplatz 6, D-98527 Suhl (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ARRANGEMENT PROVIDING INHERENT PROTECTION AGAINST INTERNAL ARCS IN PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS

(54) Bezeichnung: ANORDNUNG ZUM INHÄRENTEN STÖRLICHTBOGENSCHUTZ IN PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN



(57) Abstract: The invention relates to an arrangement providing inherent protection against an internal arc in the DC system of photovoltaic installations which comprise one or several solar modules (2) and at least one electrical load (1). An internal arc is prevented from being created or is eliminated in an essentially instantaneous manner by inserting one or several installation-specifically dimensioned, permanently connected electric storage device/s (3, 4, 6) into the DC system. Said storage devices, preferably electrical capacitors, are dimensioned such that they supply an essentially ideal voltage source at the spot where the internal arc is created for a period of time which destabilizes the internal arc.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum inhärenten Störlichtbogenschutz im elektrischen Gleichstromnetz von Photovoltaik-Anlagen. Solche Anlagen umfassen ein oder mehrere Solarmodule (2) und mindestens eine elektrische Last (1). Die Entstehung eines Störlichtbogens wird

vermieden bzw. im wesentlichen verzögerungsfrei beseitigt indem ein oder mehrere anlagenspezifisch dimensionierte, dauerhaft angeschlossene Speichereinrichtungen (3, 4, 6) in das Gleichstromnetz eingeschaltet sind. Diese Speichereinrichtungen, vorzugsweise elektrische Kondensatoren sind so dimensioniert, dass sie für eine den Störlichtbogen destabilisierende Zeit eine im wesentlichen ideale Spannungsquelle am Entstehungsort des Störlichtbogens bereitstellen.



GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Anordnung zum inhärenten Störlichtbogenschutz in
Photovoltaik-Anlagen

5 Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum inhärenten Störlichtbogenschutz im elektrischen Gleichstrom-Netz von Photovoltaik-Anlagen.

Wenn in elektrischen Schaltungen elektrische Leiter unterbrochen werden, kann es bei ausreichend hohen Spannungen und Strömen zwischen den Kontakten zur Ausbildungen von Funken bzw. Störlichtbogen kommen. Anders als bei Wechselspannungen, wo es aufgrund des Polaritätswechsels normalerweise beim nächsten Nulldurchgang der Spannungswelle zum Erlöschen des Störlichtbogens kommt, besteht unter Gleichspannungsbedingungen die Gefahr, dass der Störlichtbogen längere Zeit aufrecht erhalten bleibt und zu erheblichen Beschädigungen der Kontaktstellen und ggf. der umliegenden Elemente führt. Derartige Störlichtbogen müssen daher auch aus Gründen des Brandschutzes erkannt und abgestellt werden.

Aus dem Stand der Technik sind dazu Schaltungsanordnungen und/oder Bausteine bekannt, die einen zuvor detektierten Störlichtbogen durch Auftrennung von Strompfaden oder durch Schaffung von zusätzlichen Strompfaden zum Verlöschen bringen (reaktiver Störlichtbogenschutz). Dabei erhalten im Betriebsstromkreis befindliche Schaltgeräte (Leistungsschalter, Lastschalter, Fehlerstrom-Schutzschalter, Leistungsschutzschalter bzw. Kurzschließer, Draufschalter) eine externe Anregung von einer Fehlererfassungseinheit (Störlichtbogendetektor). Beispielsweise ist aus der US 5,185,687 eine Bogendetektionsanordnung bekannt, die einen Feldsensor einsetzt, um ein elektromagnetisches Feld zu detektieren, welches von einem

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Störlichtbogen erzeugt wird. Für den Einsatz solcher Schaltung muss jedoch der Ort des wahrscheinlichen Auftretens des Störlichtbogens vorher bekannt sein.

- 5 Besondere Bedeutung besitzt die Erkennung und Unterdrückung von Störlichtbogen im Bereich von Photovoltaik-Anlagen. In „Installationsanforderungen an netzgekoppelte PV-Anlagen, angepasst an neue Anlagenkonzepte und Installationsbedürfnisse“, Vaassen, W. et al., veröffentlicht in 12. Symposium
10 Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein: OTTI-Energie-Kolleg, 3/97 werden beispielsweise elektrische Schaltgeräte in Form von Schmelzsicherungen vorgestellt, die auf der Basis der thermischen Wirkung des fließenden Fehlerstromes auch im Falle eines Fehlers mit Störlichtbogen selbsttätig den solaren Stromkreis unterbrechen sollen (inhärenter Störlichtbogenschutz).
- 15

Die auslösende Wirkung von Sicherungen wird jedoch bei elektrischen Fehlern mit Störlichtbogen in Photovoltaik-Anlagen
20 insbesondere bei Längsfehlern nicht erreicht. Ursache hierfür ist die meist geringe Differenz zwischen Betriebs- und Fehlerstrom.

In der Schaltgerätetechnik für Gleichstromanlagen kommen
25 Modulationsschalter zum Ausschalten von Betriebs- und Fehlerströmen zum Einsatz, bei denen die Stromnulldurchgänge durch einen Schwingkreis über den elektrischen Kontakten erzwungen werden. Des weiteren sind Lösungen bekannt, die die Funkenbildung über einzelnen Schaltkontakten durch den Einsatz von
30 zusätzlichen Parallelkapazitäten zu den Kontakten verringern. Die Konzepte mit Modulationsschalter und Kapazitäten über den Schaltkontakten zur Lichtbogenlöschung sind nur dadurch wirk-

sam, dass sie gezielt im Schaltgerät bzw. am Kontaktpaar den Lichtbogen zum Verlöschen bringen.

Es sind auch Verfahren zur Fehlererkennung in Photovoltaik-Anlagen bekannt geworden, die auf den Kennlinien von Solarmodulen und deren Verschaltung basieren. Die auf der Basis der zuvor bestimmten Kennlinien der Solarmodule und deren Verschaltung basierenden Verfahren müssen zur Berechnung der Größen für den Vergleich von Soll-Zustand mit dem aktuellen Ist-Zustand mit genauen Informationen versehen werden. Das Hauptproblem hierbei sind die temperatur- und strahlungsabhängigen Moduleigenschaften, die zusätzlich exemplar- und altersabhängig streuen können und altern.

15 Daneben wurde eine Lichtbogenschutzeinrichtung entwickelt, die den vom Lichtbogen verursachten Spannungsabfall von mehr als 10 V ausnutzt. Der Hauptmangel dieser Lichtbogenschutz-

20 einrichtung liegt darin begründet, dass entsprechend des Netzwerkaufbaus viele Messeinrichtungen verwendet werden müssen und die zugehörigen Informationen ständig auszuwerten sind. Erfolgt das nicht, so werden nicht alle möglichen Fehler erfasst.

Aus der WO 95/25374 ist ebenfalls eine Anordnung zur Erkennung und Beseitigung eines Störlichtbogens bekannt, wobei insbesondere ein Einsatz in Photovoltaik-Anlagen erörtert wird. Auch bei dieser Anordnung muss zuerst über die Erfassung einer elektromagnetischen Strahlung der Störlichtbogen festgestellt werden, um anschließend Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

25

30

Allen bekannten reaktiven Schutzkonzepten ist gemein, dass der Fehler zunächst durch eine entsprechende Einrichtung zweifelsfrei erkannt werden muss, bevor zielgerichtet Schalthandlungen ausgeführt werden können. Dies bedeutet, dass von
5 der Entstehung des Lichtbogens bis zu seinem gezielten Verlöschen infolge der auszuführenden Schalthandlungen eine gewisse Zeit vergeht. Diese Reaktionszeit der Schutzeinrichtung ist prinzipbedingt und kann nur in bestimmten Grenzen verringert werden. Sie lässt sich ggf. mit hohem schaltungs-
10 technischem Aufwand gering halten, aber nicht völlig vermeiden. Während dieser Zeit brennt der Störlichtbogen und kann zu Beschädigungen führen.

Der technische Aufwand zur Realisierung eines reaktiven
15 Schutzkonzeptes von der Erkennung des Fehlers bis zur gezielten Ansteuerung von Schutzgeräten ist erheblich. Um ein sicheres Ausschalten des Fehlers zu ermöglichen, muss man genaue Kenntnisse über den Fehlerort und meist auch über die Art des Fehlers (Längsfehler, Querfehler) besitzen.

20 Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, eine Anordnung zum permanent wirksamen Störlichtbogenschutz in elektrischen Gleichstromnetzen von Photovoltaik-Anlagen bereitzustellen, die keiner sensitiven Störlichtbogenerkennung bedarf.

25 Erfindungsgemäß gelingt die Lösung dieser Aufgabe mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Anordnung
30 sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass die Existenzbedingungen des Störlichtbogens vom speisenden Netzwerk bestimmt werden und an idealen Spannungsquellen kein stabil brennender Störlichtbogen auftreten kann. Während ein Störlichtbogen an einer idealen Stromquelle stets in seinem stabilen Arbeitspunkt brennt, führt eine ideale Spannungsquelle stets zu einem instabilen Arbeitspunkt, so dass der Lichtbogen nicht aufrecht erhalten beliebt. Daher können durch Ergänzung des Gleichstromnetzes oder einiger seiner Bestandteile mit elektrischen Energiespeichern die Existenzbedingungen für einen entstehenden bzw. existierenden Lichtbogen verschlechtert werden, weil die elektrischen Energiespeicher, z.B. Kondensatoren, kurzzeitig wie Spannungsquellen wirken. Daraus ergibt sich im Falle eines elektrischen Fehlers (Längs- oder Querfehler) eine elektrische Entladung als Funkentladung oder Störlichtbogen mit extrem kurzer Brenndauer. In der Regel werden durch diese Maßnahme die Knotenpotentiale in der Anlage nach Fehlereintritt solange auf ihren Werten vor dem Fehlereintritt gehalten, bis die elektrische Verfestigung der fehlerhaften Trennstrecke sichergestellt ist.

Die Erfindung schlägt somit für die Vermeidung eines Störlichtbogens den Einbau eines oder mehrerer kapazitiver elektrischer Speicher in das Gleichstromnetz der Photovoltaik-Anlage vor. Eine zum Störlichtbogen parallel geschaltete Kapazität wirkt für kurze Zeiträume wie eine ideale Spannungsquelle. Der Einbau einer elektrischen Kapazität ist technisch sehr einfach zu realisieren. Entsprechend gering ist der zu erwartende finanzielle Aufwand. Gegenüber einer reaktiven Störlichtbogenschutzmaßnahme wird keine Reaktionszeit für den Schutz benötigt. Die Gleichstromanlage wird bzw. ist in sich störlichtbogensicher.

Zur Verhinderung von Störlichtbögen ist bei Anwendung der Erfindung die Erkennung der Fehlerart (Längs- oder Querfehler) und des Fehlerortes im Gleichstromnetz nicht mehr erforderlich.
5 Es sind keine Schaltgeräte zur Realisierung der Schutzwirkung notwendig. Die bei der Anwendung von Sicherungen beschriebenen Nachteile kommen nicht zur Geltung, da die Schutzwirkung unabhängig von der Höhe des Stromes erzielt wird. Es ist kein Auswechseln wirksam gewordener Schaltgeräte,
10 räte, wie zum Beispiel bei Sicherungen erforderlich. Die Schutzwirkung wird praktisch ohne Verschleiß und Abnutzung dauerhaft erzielt. Der Störlichtbogenschutz erstreckt sich prinzipiell über die gesamte Anlage. Der Störlichtbogenschutz kann kleinräumig realisiert und auch nachträglich in bestehende Anlagen integriert werden. Zur Realisierung der Schutzfunktion wird keine Hilfsenergie benötigt. Das Gleichstromnetz wird im Falle eines auftretenden Fehlers beeinflusst, die Betriebsgrößen sind davon nur transient betroffen.

20 Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Kapazität sowohl vom Lichtbogen als auch vom Lastwiderstand im Netzwerk entladen wird, so dass die hinsichtlich des Störlichtbogens destabilisierende Wirkung der Kapazität nur für eine gewisse Zeit aufrecht erhalten werden kann. Die Kapazität muss somit unter
25 Berücksichtigung des Netzwerk so bestimmt werden, dass diese Zeit ausreichend für eine Beseitigung des Störlichtbogens ist.

Aus der erfinderischen Lösung ergibt sich als generelle
30 Bedingung für die Wirksamkeit der erfindungsgemäßen Schutzmaßnahme, dass die Zeitkonstante des Netzwerkes τ_{NW} größer sein muss als die thermische Zeitkonstante des Störlichtbogens τ_{LB} ; es gilt also: $\tau_{NW} > \tau_{LB}$. Bei der Bestimmung der

Zeitkonstante des Netzwerkes müssen alle wesentlichen Elemente des Netzwerkes berücksichtigt werden, insbesondere Photovoltaik-Generator, Lastwiderstand und die im Netzwerk vorhandenen Kapazitäten.

5

Für die konkrete Bemessung der notwendigen Größe der jeweils als elektrisches Speicherelement eingesetzten Kapazität ist der Einfluss des zu erwartenden Fehlerortes, die Gestaltung des Netzwerkes und die Art des erwartenden Fehlers zu berücksichtigen. Üblicherweise ist mit einer thermischen Zeitkonstante des Störlichtbogens von $\tau_{LB} = 1$ bis 10 ms anzunehmen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine prinzipielle Schaltung eines direkt gekoppelten Solargenerators mit der elektrischen Belastung und einer elektrischen Speichereinrichtung unmittelbar an der Last;

Fig. 2 eine prinzipielle Schaltung unter Einsatz von Speichereinrichtungen parallel zu jedem Modul und einer weiteren Speichereinrichtung parallel zur elektrischen Last;

Fig. 3 eine prinzipielle Schaltung unter Einsatz von Speichereinrichtungen parallel zu jedem Modul und Speichereinrichtungen am Anfang und Ende jedes Außenleiters der Gleichstromhauptleitung.

Die Fig. 1 zeigt eine prinzipielle elektrische Schaltung eines direkt elektrisch gekoppelten Solargenerators mit einer elektrischen Last 1. Mehrere Solarmodule 2 sind elektrisch zu einem String in Reihe geschaltet. Eine globale elektrische Speichereinrichtung 3 ist im Netzwerk unmittelbar elektrisch vor und parallel zur Last 1 in den Stromkreis eingeschaltet.

Die Fig. 2 zeigt eine prinzipielle elektrische Schaltung eines abgewandelten Gleichstromnetzwerkes, das aus mehreren parallel geschalteten Strings besteht. Hier ist jedem Solar- modul 2 eine eigene entsprechend dimensionierte lokale elektrische Speichereinrichtung 4 zugeordnet, d.h. elektrisch parallel geschaltet. Analog zu der in Fig. 1 gezeigten Schaltung ist auch die entsprechend dimensionierte globale Speichereinrichtung 3 im Netzwerk unmittelbar vor und parallel zur elektrischen Last 1 in das Netzwerk eingeschaltet.

Die Fig. 3 zeigt eine prinzipielle elektrische Schaltung eines nochmals abgewandelten Gleichstromnetzwerkes, das wiederum aus mehreren parallel geschalteten Strings mit Solarmodulen 2 besteht, die über lange Hauptstromleitungen 5 mit der Last 1, z.B. einem MPP-Regler oder einer DC-Eingangsstufe des Wechselrichters verbunden sind. In dieser Ausführungsform ist jedem Solarmodul 2 seine lokale elektrische Speichereinrichtung 4 zugeordnet. Am Anfang und Ende der langen Hauptstromleitung 5 befinden sich zwischen jedem spannungsführenden Außenleiter und Erdpotential eine entsprechend dimensionierte Leitungsspeichereinrichtung 6. Auf eine zusätzliche globale Speichereinrichtung wurde hier verzichtet. Andere Ausführungsformen sind ohne weiteres denkbar.

Bezugszeichenliste

	1	-	elektrische Last
5	2	-	Solarmodul
	3	-	globale elektrische Speichereinrichtung
	4	-	lokale elektrische Speichereinrichtungen
	5	-	Hauptstromleitungen
	6	-	Leitungsspeichereinrichtung
10			

Patentansprüche

1. Anordnung zum inhärenten Störlichtbogenenschutz im elektrischen Gleichstromnetz von Photovoltaik-Anlagen, ein oder
5 mehrere Solarmodule (2) und mindestens eine elektrische Last (1) umfassend, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere anlagenspezifisch dimensionierte, dauerhaft angeschlossene elektrische Speichereinrichtungen (3, 4, 6) in das Gleichstromnetz eingeschaltet sind, die für eine den
10 Störlichtbogen destabilisierende Zeit eine im wesentlichen ideale Spannungsquelle am Entstehungsort des Störlichtbogens bereitstellen.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
15 die elektrischen Speichereinrichtungen (3, 4, 6) so dimensioniert sind, dass die Zeitkonstante des Netzwerkes τ_{NW} größer ist als die thermische Zeitkonstante des Störlichtbogens τ_{LB} .
- 20 3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Speichereinrichtungen (3, 4, 6) Kondensatoren sind.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch
25 gekennzeichnet, dass die elektrischen Speichereinrichtungen als global konzentrierte Bauelemente (3) im Gleichstromnetz angeordnet sind.
5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch
30 gekennzeichnet, dass die elektrischen Speichereinrichtungen als lokal bzw. räumlich verteilte Bauelemente (4) im Gleichstromnetz angeordnet sind.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Speichereinrichtungen (3, 4, 6) integraler Bestandteil von Baugruppen und/oder Elementen des Gleichstromnetzes sind.
- 5
7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass alle oder ein Teil der elektrischen Speichereinrichtungen über zusätzliche, isolierte Knoten im Gleichstromnetzwerk den Störlichtbogenschutz realisieren.
- 10
8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass alle oder ein Teil der elektrischen Speichereinrichtungen (6) über zusätzliche Knoten im Gleichstromnetzwerk, die sich auf einem Anlagen- bzw. Erdpotential befinden, den Störlichtbogenschutz realisieren.
- 15

1/1

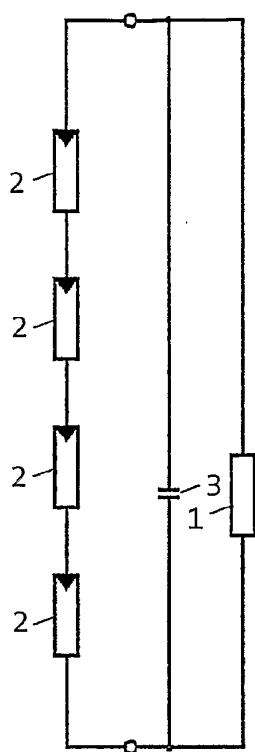


Fig. 1

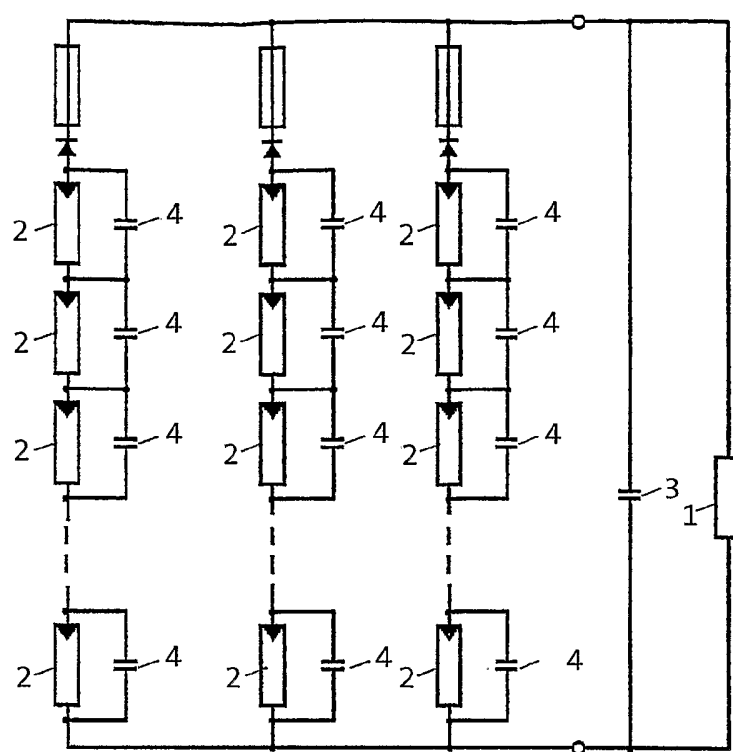


Fig. 2

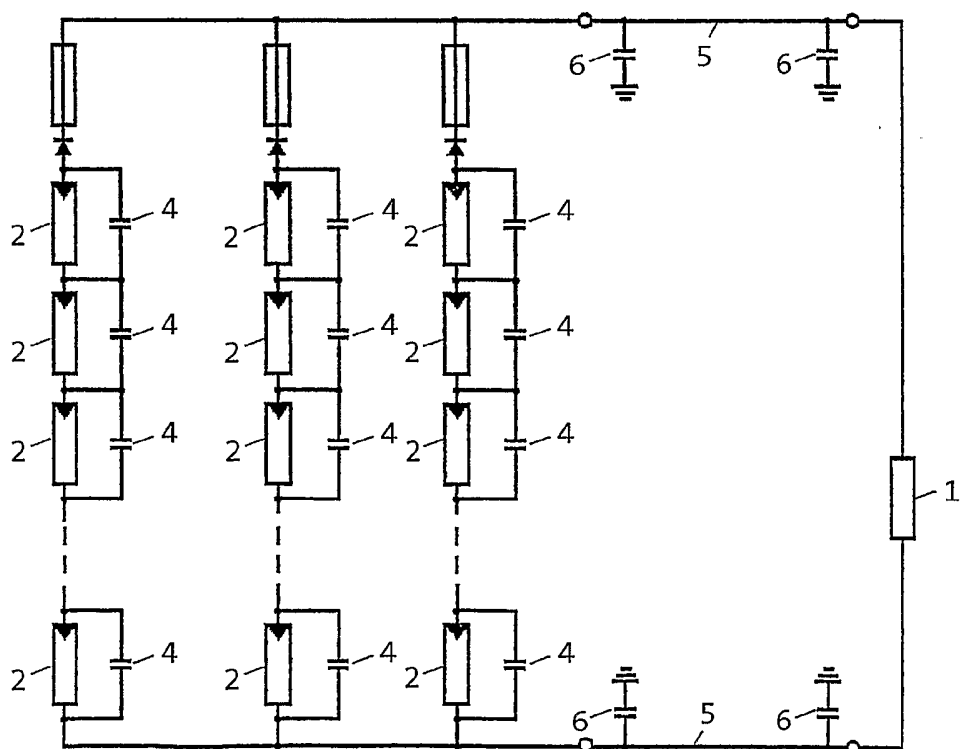


Fig. 3