

(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  
14. Januar 2010 (14.01.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/003941 A2**

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2009/058577
- (22) **Internationales Anmeldedatum:** 7. Juli 2009 (07.07.2009)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:** 10 2008 032 813.8 11. Juli 2008 (11.07.2008) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** HANDT, Karsten [DE/DE]; Regensburger Str. 380, 90480 Nürnberg (DE).
- (74) **Gemeinsamer Vertreter:** SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

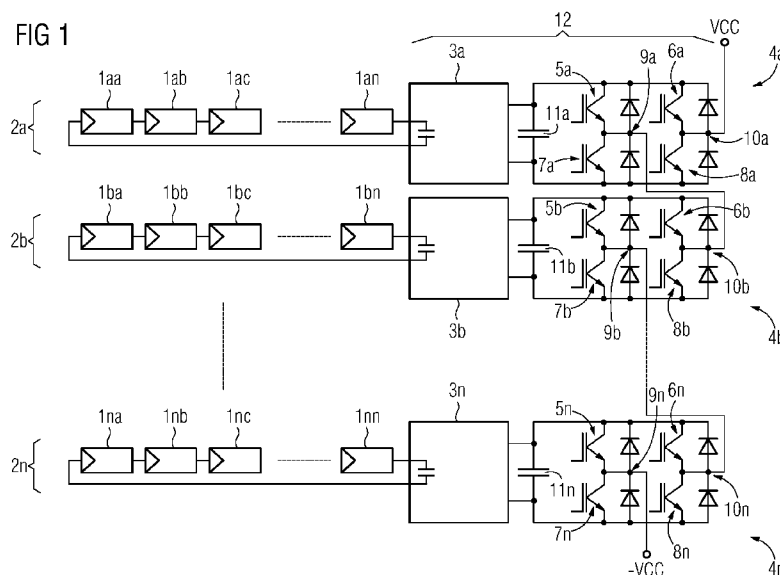
(84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) **Title:** NETWORK CONNECTION OF SOLAR CELLS

(54) **Bezeichnung:** NETZANBINDUNG VON SOLARZELLEN



(57) **Abstract:** The invention relates to the connection of solar cells to an electrical supply network. The solar cells are split into groups that generate an output voltage each. A step-up or step-down chopper and a full bridge are provided for every group. The full bridges are connected in series. The full bridges can generate the output voltage in positive and negative polarity or 0V between the input terminal and the output terminal. The full bridges are connected in such a manner that they generate a sinusoidal signal by summing up a temporally variable number of output voltages.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/003941 A2

---

Zur Anbindung von Solarzellen an ein elektrisches Versorgungsnetz wird vorgeschlagen, die Solarzellen in Gruppen aufzuteilen, die jeweils eine Ausgangsspannung erzeugen. Für jede Gruppe werden ein Hoch- oder Tiefsetzsteller und eine Vollbrücke vorgesehen. Die Vollbrücken werden in Reihe geschaltet. Die Vollbrücken können zwischen Ein- und Ausgangsanschluss jeweils die Ausgangsspannung in positiver und negativer Polarität oder 0V erzeugen. Die Vollbrücken werden so geschaltet, dass sie durch Summierung einer zeitlich variablen Anzahl der Ausgangsspannungen ein sinusförmiges Signal erzeugen.

Beschreibung

Netzanbindung von Solarzellen

5 Die Erfindung betrifft eine Anordnung sowie ein Verfahren zur Anbindung wenigstens zweier Einrichtungen zur Erzeugung elektrischer Energie an ein elektrisches Versorgungsnetz. Bei den Einrichtungen kann es sich dabei insbesondere um Solarzellen oder thermoelektrische Generatoren handeln.

10

Um dezentrale Einrichtungen zur Energieerzeugung wie beispielsweise Solarzellen an das öffentliche elektrische Versorgungsnetz anzuschließen, ist es nötig, eine definierte und weitgehend von Oberwellen befreite Wechselspannung, üblicherweise 15 3-phasig zur Verfügung zu stellen. Dazu werden gemäß dem Stand der Technik die Solarzellen zu Gruppen, sog. Strings, zusammengefasst. Die Solarzellen einer Gruppe werden wiederum in Serie geschaltet. Die Gruppen werden parallel zueinander mit einem 2- oder 3-Punkt-Wechselrichter verbunden. 20 Der Wechselrichter wandelt die Gleichspannung der Solarzellen per Pulsweitenmodulation in eine stark Oberschwingungsbehaftete 3-phasige Wechselspannung um. Auf den Wechselrichter folgen wiederum ein Filterelement zur Reduzierung der Oberwellen und ein Transformator zur Ankopplung an das Versorgungsnetz, beispielsweise ein Mittelspannungsnetz. 25

Nachteilig an der bekannten Lösung ist die nötige aufwendige Filterung des durch den Wechselrichter erzeugten Signals. Weiterhin ist nachteilig, dass die Arbeitspunktsteuerung, das 30 sog. MPP-Tracking (Maximum Power Point) für die Solarzellen nicht immer optimal arbeiten kann. Wird beispielsweise ein Teil der Solarzellen beschattet, so kann der Arbeitspunkt entweder für die beschatteten oder die nicht beschatteten nicht gleichzeitig optimal gewählt werden.

35

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Schalteinrichtung und ein Verfahren zur Verbindung von wenigstens zwei Einrichtungen zur Erzeugung elektrischer Energie mit einem

elektrischen Versorgungsnetz anzugeben, womit die oben genannten Probleme verringert oder vermieden werden. Insbesondere soll eine verbesserte Arbeitspunktregelung der Einrichtungen ermöglicht werden. Weiterhin soll der Aufwand für die  
5 Filterung der Wechselspannung vermindert werden.

Diese Aufgabe wird durch eine Schalteinrichtung mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Weiterhin wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 9 gelöst. Die  
10 abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Die erfindungsgemäße Schalteinrichtung zur Anbindung wenigstens zweier Einrichtungen zur Erzeugung elektrischer Energie an ein elektrisches Versorgungsnetz ist ausgestaltet, wenigstens  
15 zwei voneinander separate Ausgangsspannungen der Einrichtungen aufzunehmen. Dafür können die Einrichtungen beispielsweise in wenigstens zwei Gruppen aufgeteilt sein und wenigstens ein Teil der Gruppen eine Ausgangsspannung erzeugen. Die Schalteinrichtung summiert eine zeitlich variable  
20 Anzahl der Ausgangsspannungen zur Erzeugung einer Wechselspannung auf.

Dies kann als Beispiel dadurch geschehen, dass bei einem zunehmenden Spannungswert einer gedachten idealen Sinusspannung zunehmend mehr der Ausgangsspannungen aufsummiert werden. Sinkt der benötigte Spannungswert wieder, werden wieder weniger der Ausgangsspannungen summiert.

30 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Anbindung wenigstens zweier Einrichtungen zur Erzeugung elektrischer Energie an ein elektrisches Versorgungsnetz

- werden die Einrichtungen in wenigstens zwei Gruppen aufgeteilt,
- 35 - erzeugen wenigstens ein Teil der Gruppen eine Ausgangsspannung, und
- wird eine zeitlich variable Anzahl der Ausgangsspannungen zur Erzeugung einer Wechselspannung summiert.

Zweckmäßig umfasst jede Gruppe die gleiche Anzahl an Einrichtungen, aber es ist auch möglich, verschiedene Anzahlen zu verwenden. Zweckmäßig ist es dabei weiterhin, wenn jede der  
5 Gruppen eine Ausgangsspannung liefert. Bei den Einrichtungen zur Erzeugung elektrischer Energie kann es sich um jegliche Art von Generatoren wie Windkraftwerke oder Gasturbinen handeln. Es kann sich auch um Solarzellen oder thermoelektrische Generatoren handeln. Auch eine Mischung der vorgenannten Ein-  
10 richtungen ist möglich. Bei Solarzellen kann es sich beispielsweise bei einer Einrichtung um ein typisches Solarzellenpanel von einer Größe von beispielsweise  $1 \text{ m}^2$  handeln.

Es wird also erfindungsgemäß nicht die üblicherweise im Stand  
15 der Technik verwendete Pulsweitenmodulation durchgeführt zur Erzeugung der Wechselspannung mit der dadurch nötigen aufwändigen Filterung, sondern eine Summation von Einzelspannungsanteilen vorgenommen. Diese ist weit weniger Oberschwingungsbehaftet und erfordert daher eine wesentlich weniger aufwändige  
20 Filterung. Weiterhin ist vorteilhaft, dass mit der erfindungsgemäßen Vorgehensweise insgesamt höhere Spannungen bei der Wechselspannung erzielbar sind, sodass bei einer Anbindung an ein Mittelspannungsnetz ein Transformator unnötig ist. Dadurch vereinfachte Filterung und ggfs. Weglassen des  
25 Transformators wird eine Verbesserung des gesamten elektroseitigen Wirkungsgrades von 95% auf 98% und mehr erreicht.

Die Schalteinrichtung ist vorteilhaft so ausgestaltet, dass von den Ausgangsspannungen der Gruppen gar keine, eine, meh-  
30 rere oder alle addieren kann, um eine summierte Spannung zu erzeugen. Dabei kann die Polarität keiner, einer, mehrerer oder aller Ausgangsspannungen auch umgedreht sein. Die Schalteinrichtung ist dadurch in der Lage, zwischen der Summe sämtlicher Ausgangsspannungen und ihrem negativen Wert eine  
35 Reihe von Zwischenspannungen einschließlich der Summe selbst zu erzeugen. Hierzu kommen bevorzugt für wenigstens einen Teil der Ausgangsspannungen oder Gruppen je wenigstens eine Vollbrücke zum Einsatz. Die Vollbrücken wiederum sind ausges-

taltet, zwischen ihrem jeweiligen Eingangs- und Ausgangsanschluss einen Kurzschluss, die Ausgangsspannung oder die in der Polarität umgekehrte Ausgangsspannung zu erzeugen. Die Vollbrücken können also ihren jeweiligen Eingangs- und Ausgangsanschluss direkt elektrisch miteinander verbinden. Sie können aber auch derartig beschaltet werden, dass sie die jeweilige Ausgangsspannung, die sie eingangsseitig bekommen, weitergeben. Ebenso können sie derartig beschaltet werden, dass sie die jeweilige Ausgangsspannung, die sie eingangsseitig bekommen, mit vertauschter Polarität weitergeben, d.h. das Negative der Ausgangsspannung weitergeben. Die Vollbrücke weist dabei bevorzugt vier wenigstens unidirektionale Schalter auf. Von den vier Schaltern sind bevorzugt jeweils zwei seriell geschaltet und beide Serien sind parallel geschaltet. Schaltungen analogen Aufbaus sind auch H-Brücke und Wechselrichter. Die Schalter sind dabei zweckmäßigerweise Halbleiterschalter wie beispielsweise SiC-JFETs.

Um die Summation vorzunehmen, sind die Vollbrücken dabei zweckmäßig in Serie geschaltet. Es ist aber auch möglich, nur einen Teil der Vollbrücken in Serie zu schalten und einen anderen Teil parallel, beispielsweise indem je zwei der Vollbrücken als Parallelschaltungspaar ausgestaltet sind und die Parallelschaltungspaare wiederum in Reihe geschaltet sind. Hierbei bieten sich viele Ausgestaltungsmöglichkeiten. Der Fachmann erkennt, dass eine Serienschaltung von möglichst vielen der Vollbrücken zu einer höheren erreichbaren Gesamtspannung und/oder zu einer genaueren Spannungserzeugung der Wechselspannung führt, d.h. der ideale Sinusverlauf der Wechselspannung kann durch die Summation genauer nachvollzogen werden. Eine Parallelschaltung eines Teils der Vollbrücken hat andere, übliche Vorteile.

Es ist möglich, die von der Schalteinrichtung erzeugte Summenspannung mit einer Schritt-Frequenz zu verändern, die höher oder wesentlich höher ist als die Frequenz der zu erzeugenden Wechselspannung. Bei typischen Wechselspannungsfrequenzen von 50 Hz oder 60 Hz kann die Schritt-Frequenz dabei

beispielsweise 100 Hz, 200 Hz oder 500 Hz betragen. Auch wesentlich höhere Werte und zwischen den genannten Werten liegende Schritt-Frequenzen können gewählt werden. Besonders bevorzugt wird aber keine festgelegte Schrittfrequenz gewählt, sondern das Zu- und Abschalten der einzelnen Gruppen abhängig vom Momentanwert der zu realisierenden Ausgangsspannung durchgeführt. Bei netzgeführten Systemen ist das beispielsweise die Netzspannung, bei Insellösungen ein vorgegebener Sinus. Hierzu kann beispielsweise eine übergeordnete Steuereinrichtung ständig einen Vergleich zwischen dem zu erreichenden Wert für die Summenspannung und den möglichen Summen der Gruppen-Ausgangsspannung durchführen. Anhand des Vergleichs wird dabei ständig die nächstliegende Summe bestimmt und die Summierung entsprechend gesteuert.

Vorteilhaft ist es, wenn über die jeweilige Aussteuerung der Vollbrücken eine Arbeitspunktregelung für die jeweilige Gruppe vorgenommen wird. Anders ausgedrückt, wird über das Zeitverhältnis zwischen „ausgeschaltetem“ Zustand und „eingeschaltetem Zustand“ die Arbeitspunktregelung vorgenommen. Als „ausgeschalteter“ Zustand wird dabei der Zustand der Vollbrücke bezeichnet, bei dem die Ausgangsspannung nicht weitergegeben wird, sondern ein Kurzschluss zwischen Ein- und Ausgangsanschluss der Vollbrücke geschaltet ist. Als „eingeschalteter Zustand“ wird der Zustand der Vollbrücke bezeichnet, bei dem die Ausgangsspannung in irgendeiner Polarität weitergegeben wird, in dem also der Einrichtung, beispielsweise Solarzelle, tatsächlich auch Leistung entnommen wird.

Handelt es sich beispielsweise bei den Einrichtungen einer Gruppe um Solarzellen, so sind diese mit einem Speicherkondensator versehen. Die Spannung am Speicherkondensator ist die Ausgangsspannung der Gruppe und wird an die Vollbrücke weitergegeben. Ist diese in ausgeschaltetem Zustand, steigt die Spannung am Kondensator, bis die Solarzellen keinen Strom mehr dagegen antreiben. Leistung wird keine entnommen. Wird die Vollbrücke in eingeschalteten Zustand versetzt, so wird Leistung entnommen und die Spannung am Kondensator sinkt ab

bzw. bewegt sich auf ein geringeres Niveau zu, dass sie bei genügender Zeit erreicht. Das Tastverhältnis aus eingeschaltetem und ausgeschaltetem Zustand bestimmt somit die durchschnittliche Spannung am Kondensator und somit die durchschnittliche Leistung aus Spannung mal Strom, die von den Solarzellen geliefert wird.

Bei Beschattung der Solarzellen der Gruppe sinkt deren Stromerzeugung und Leistungsfähigkeit. Die Steuerung der Schalteinrichtung kann nun darauf reagieren, indem sie das Tastverhältnis für diese Gruppe ändert. So wird bei Beschattung der Gruppe die Ausgangsspannung der Gruppe weniger häufig zugeschaltet, wodurch die Leistungsabgabe der Gruppe optimiert werden kann. Bei einem Generator gemäß dem Stand der Technik ist keine Arbeitspunktregelung für einen Teil der Solarzellen möglich. Wird eine Gruppe von Solarzellen beschattet, so wird versucht, diesen trotzdem den gleichen durchschnittlichen Strom zu entnehmen, was ihre Spannung und somit Leistungsfähigkeit auf ein nicht optimales Niveau absinken lässt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist für wenigstens einen Teil, bevorzugt alle, der Gruppen ein DC/DC-Wandler vorgesehen ist. Es kann sich dabei unter anderem um Hochsetzsteller oder Tiefsetzsteller handeln. Dieser weist bevorzugt wenigstens einen Schalter auf. Für die Arbeitspunktregelung steht in diesem Fall neben dem Tastverhältnis der Vollbrücke auch das des Schalters zur Verfügung, um einen idealen Betrieb zu gewährleisten. Mit den beiden Tastverhältnissen lässt sich einerseits gegenüber beispielsweise den Solarzellen eine ideale durchschnittliche Betriebsspannung halten, also die Arbeitspunktregelung durchführen. Zum anderen kann auch auf Seiten der Vollbrücke eine vorgebbare Ausgangsspannung dargestellt werden, wodurch die Erzeugung des AC-Signals genauer und gleichmäßiger wird. Dabei kann durch die zwei Tastverhältnisse zum einen auf eine Änderung der Leistungsfähigkeit der Einrichtung, beispielsweise eine Beschattung einer Solarzelle, eingegangen werden. Zum anderen wird weitgehend unabhängig vom Arbeitspunkt der Einrichtung eine

im Schnitt konstante Ausgangsspannung auf Seiten der Vollbrücke gewährleistet.

Gegenüber aus dem Stand der Technik bekannten Anlagen wird  
5 durch die Arbeitspunktregelung der Gruppen, egal ob mit oder  
ohne DC/DC-Wandler, eine wesentliche Verbesserung bei der Arbeitspunktregelung erreicht, da durch die Aufteilung in Gruppen eine wesentlich kleinere Anzahl von beispielsweise Solarzellen gemeinsam geregelt werden. Treten Unterschiede beispielsweise in der Beleuchtung auf, beispielsweise Abschattung, so kann wesentlich besser darauf reagiert werden. So kann beispielsweise bei einem Solarzellenpanel dessen optimale Betriebsspannung von 100 V im vollbeleuchteten Zustand durch eine Abschattung auf nur 30 V gedrückt werden. Wird  
10 dieses Solarzellenpanel zusammen mit anderen Panels weiterhin bei 100 V oder bei einer mittleren Spannung wie beispielsweise 70 V betrieben, so liefert es deutlich weniger als die maximal mögliche Leistung. Durch die gruppenweise Arbeitspunktregelung wird also eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit  
15 der Solarzellen erreicht.  
20

In einer Ausgestaltung der Erfindung ist es auch möglich, dass jede Gruppe nur eine Einrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie aufweist, beispielsweise ein Solarzellenpanel  
25 und zweckmäßig jedes Solarzellenpanel somit seinen eigenen DC/DC-Wandler aufweist. So ist eine sehr genaue, da panelgenaue Arbeitspunktregelung möglich. Andererseits verringert die Zusammenfassung mehrerer Einrichtungen zur Erzeugung elektrischer Energie in einer Gruppe den Gesamtaufwand der  
30 Regelung und Steuerung der elektrischen Komponenten.

Die Anordnung kann zusammen mit wenigstens zwei Einrichtungen zur Erzeugung elektrischer Energie vorteilhaft zu einem Generatorsystem zusammengefügt werden.  
35

Bevorzugte, jedoch keinesfalls einschränkende Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nunmehr anhand der Zeichnung näher erläutert. Darin sind gewisse Merkmale nur schematisiert

dargestellt und einander entsprechende Teile in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen. Die Figuren zeigen dabei im Einzelnen

- 5 Figur 1 ein Schaltbild einer Solarzellenanlage mit einer Anordnung zur Erzeugung einer einphasigen Wechselspannung,  
Figur 2 eine mit der Solarzellenanlage erzeugte Wechselspannung,  
10 Figur 3 ein Schaltbild einer weiteren Solarzellenanlage mit einer Anordnung zur Erzeugung einer einphasigen Wechselspannung.

Figur 1 zeigt in einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung eine Mehrzahl von Solarzellen 1aa...1nn. Weiterhin sind eine Mehrzahl von Hochsetzstellern 3a...n und eine Mehrzahl von Wechselrichtern 4a...n vorhanden.

Es ist klar, dass es für die Erfindung nicht auf die konkrete Art der Energieerzeugung ankommt und deshalb auch jede andere Art von Generator anstatt oder zusätzlich zu den Solarzellen 1aa...1nn zum Einsatz kommen kann. Beispielsweise können in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung auch thermoelektrische Generatoren parallel zu den Solarzellen zum Einsatz kommen.

Die Solarzellen 1aa...1nn sind in Gruppen 2a...n zusammengefasst. Dabei umfasst die erste Gruppe 2a die Solarzellen 1aa...1an, die zweite Gruppe 2b die Solarzellen 1ba...1bn usw. Die konkrete Aufteilung der Solarzellen 1aa...1nn kann auch anders gewählt werden. Es ist lediglich wichtig, dass wenigstens zwei Gruppen 2a...n gebildet werden. Die Solarzellen 1aa...1nn einer jeden Gruppe 2a...n werden in diesem Beispiel in Reihe geschaltet und erzeugen dadurch eine maximale Gleichspannung im Bereich von 800V. Dieser Wert ist zweckmäßig abhängig von der Amplitude der Netzspannung, die erzeugt werden soll. Bei Niederspannungsnetzen ist Wert von 800V zweckmäßig, bei Mittelspannungsnetzen können auch Summenspan-

nungen von beispielsweise 20kV benötigt werden. Zur Zwischen-  
speicherung ist hierfür ein Kondensator vorgesehen.

Für jede Gruppe 2a...n der Solarzellen 1aa...1nn ist nun in  
5 diesem Beispiel einer der Hochsetzsteller 3a...n vorgesehen.  
Der Hochsetzsteller 3a...n ist eingangsseitig mit den zwei  
Ausgängen der Reihe von Solarzellen 1aa...1nn einer jeweili-  
gen Gruppe 2a...n bzw. dem jeweiligen Kondensator verbunden.  
10 In alternativen Ausführungsformen kann hier auch ein Tief-  
setzsteller oder allgemein ein beliebiger DC/DC-Wandler zum  
Einsatz kommen. Hochsetzsteller 3a...n und Tiefsetzsteller  
per se sind hinreichend aus dem Stand der Technik bekannt.

Die Hochsetzsteller 3a...n sind ausgangsseitig jeweils mit  
15 einem der Wechselrichter 4a...n verbunden sowie mit einem pa-  
rallel dazu angeordneten Kondensator 11a...n. Die Wechsel-  
richter 4a...n weisen jeweils vier Halbleiterschalter 5a...8n  
auf, die in bekannter Weise miteinander verbunden sind. So  
sind die Schalter 5a...n, 7a...n jedes Wechselrichters 4a...n  
20 in Serie geschaltet und liegen insgesamt parallel zum Kondensator 11.  
Ebenso parallel dazu liegt wiederum eine zweite  
Reihenschaltung aus den anderen zwei Schaltern 6a...n,  
8a...n. Zwischen den ersten zwei Schaltern 5a...n, 7a...n  
liegt der Ausgangskontakt 9a...n und zwischen den zweiten  
25 beiden Schaltern 6a...n, 8a...n der Eingangskontakt 10a...n  
für den jeweiligen Wechselrichter 4a...n. Der Ausgangskontakt  
9a des ersten Wechselrichters 4a ist mit dem Eingangskontakt  
10b des zweiten Wechselrichters 4b verbunden usw., sodass die  
Wechselrichter 4a...n insgesamt in Reihe geschaltet sind.

30 Jeder der Wechselrichter 4a...n in der Reihenschaltung aus  
Wechselrichtern wird nun in einem von drei Betriebszuständen  
verwendet. Im ersten Betriebszustand erzeugt ein Wechselrich-  
ter 4a...n zwischen seinem jeweiligen Eingangskontakt 10a...n  
35 und seinem jeweiligen Ausgangskontakt 9a...n eine Spannung,  
die der Ausgangsspannung des jeweiligen Hochsetzstellers  
3a...n entspricht. Der Wechselrichter 4a...n addiert also die  
Ausgangsspannung des Hochsetzstellers 3a...n zur Gesamtspan-

nung, die sich letztlich zwischen dem Eingangskontakt 10a des ersten Wechselrichters 4a und dem Ausgangskontakt 9n des letzten Wechselrichters ergibt. Wenn alle Wechselrichter 4a...n in diesem Betriebszustand sind, entsteht die maximal mögliche Spannung zwischen dem Eingangskontakt 10a des ersten Wechselrichters 4a und dem Ausgangskontakt 9n des letzten Wechselrichters. Die Spannung beträgt dann  $n * U_{WR}$ , wobei  $U_{WR}$  die Ausgangsspannung der Hochsetzsteller 3a...n ist unter der Annahme, dass diese gleich ist für alle Hochsetzsteller 3a...n. Der erste Betriebsmodus wird dadurch erreicht, dass im Wechselrichter 4a...n der mit dem Eingangskontakt 10a...n und dem positiven Ausgang des Hochsetzstellers 3a...n verbundene Schalter 6a...n sowie der mit dem negativen Ausgang des Hochsetzstellers 3a...n und dem Ausgangskontakt 9a...n verbundene Schalter 7a...n eingeschaltet werden.

Im zweiten Betriebszustand erzeugt ein Wechselrichter 4a...n zwischen seinem jeweiligen Eingangskontakt 10a...n und seinem jeweiligen Ausgangskontakt 9a...n eine Spannung, die der negativen Ausgangsspannung des jeweiligen Hochsetzstellers 3a...n entspricht. Der Wechselrichter 4a...n subtrahiert also die Ausgangsspannung des Hochsetzstellers 3a...n von der Gesamtspannung, die sich letztlich zwischen dem Eingangskontakt 10a des ersten Wechselrichters 4a und dem Ausgangskontakt 9n des letzten Wechselrichters ergibt. Wenn alle Wechselrichter 4a...n in diesem Betriebszustand sind, entsteht die maximal mögliche negative Spannung zwischen dem Eingangskontakt 10a des ersten Wechselrichters 4a und dem Ausgangskontakt 9n des letzten Wechselrichters. Die Spannung beträgt dann  $- n * U_{WR}$ , wobei  $U_{WR}$  die Ausgangsspannung der Hochsetzsteller 3a...n ist unter der Annahme, dass diese gleich ist für alle Hochsetzsteller 3a...n. Der zweite Betriebsmodus wird dadurch erreicht, dass im Wechselrichter 4a...n der mit dem Eingangskontakt 10a...n und dem negativen Ausgang des Hochsetzstellers 3a...n verbundene Schalter 8a...n sowie der mit dem positiven Ausgang des Hochsetzstellers 3a...n und dem Ausgangskontakt 9a...n verbundene Schalter 5a...n eingeschaltet werden.

Im dritten Betriebszustand erzeugt ein Wechselrichter 4a...n zwischen seinem jeweiligen Eingangskontakt 10a...n und seinem jeweiligen Ausgangskontakt 9a...n eine direkte elektrische  
5 Verbindung, d.h. eine Spannung von 0 V. Der Wechselrichter 4a...n lässt in diesem Betriebszustand also die Gesamtspannung, die sich letztlich zwischen dem Eingangskontakt 10a des ersten Wechselrichters 4a und dem Ausgangskontakt 9n des  
10 letzten Wechselrichters ergibt, unverändert. Wenn alle Wechselrichter 4a...n in diesem Betriebszustand sind, ist auch die zwischen dem Eingangskontakt 10a des ersten Wechselrichters 4a und dem Ausgangskontakt 9n des letzten Wechselrichters entstehende Gesamtspannung 0 V. Der dritte Betriebsmodus wird dadurch erreicht, dass im Wechselrichter 4a...n der mit  
15 dem Eingangskontakt 10a...n und dem positiven Ausgang des Hochsetzstellers 3a...n verbundene Schalter 6a...n sowie der mit dem positiven Ausgang des Hochsetzstellers 3a...n und dem Ausgangskontakt 9a...n verbundene Schalter 5a...n eingeschaltet werden. Alternativ wird der dritte Betriebsmodus dadurch  
20 erreicht, dass im Wechselrichter 4a...n der mit dem Eingangskontakt 10a...n und dem negativen Ausgang des Hochsetzstellers 3a...n verbundene Schalter 8a...n sowie der mit dem negativen Ausgang des Hochsetzstellers 3a...n und dem Ausgangskontakt 9a...n verbundene Schalter 7a...n eingeschaltet werden.  
25

Wenn man davon ausgeht, dass alle Hochsetzsteller 3a...n die gleiche Ausgangsspannung  $U_{WR}$  liefern, so kann mit dem ersten bis dritten Betriebsmodus für die Wechselrichter 4a...n also  
30 eine Spannung von  $-n * U_{WR}$  bis  $+n * U_{WR}$  erreicht werden, in Schritten von  $U_{WR}$ . Durch eine zeitlich variable Summierung mittels der Betriebsmodi kann daher eine Wechselspannung erzeugt werden.

35 Figur 2 zeigt das Ergebnis der zeitlich variablen Summierung der einzelnen Ausgangsspannungen  $U_{WR}$ . Neben einer idealen Sinuslinie 23 für die Spannung ist die Spannungskurve 22 eine angenäherte, diskretisierte Sinuslinie. In Zeitschritten 20

wird dabei die Anzahl an summierten Ausgangsspannungen  $U_{WR}$  variiert, je nachdem, welche Spannungshöhe gerade gemäß der idealen Sinuslinie 23 zu erzeugen ist. Die Figur 2 gibt dabei zur Verdeutlichung nur ein Beispiel mit sehr großen Zeitschritten 20 und einer geringen Anzahl von summierten Ausgangsspannungen  $U_{WR}$ . Die Qualität der erzeugten Wechselspannung 22 ist umso höher, je kleiner die Zeitschritte 20 gewählt werden und je höher die Anzahl der zu summierenden Ausgangsspannungen  $U_{WR}$ , d.h. die Anzahl der Gruppen 2a...n ist.

5 Es ist klar, dass die Qualität der somit erzeugten Wechselspannung wesentlich höher ist als bei einer Pulsweitenmodulation, wie sie im Stand der Technik mit einem 2- Punkt oder 3-Punkt Wechselrichter verwendet wird. Das bedeutet, dass weniger Oberwellen in der Ausgangsspannung enthalten sind und die

10 Filterung entsprechend weniger aufwändig sein muss. Dabei ist es beispielsweise möglich, dass die Längsinduktivität des Filters entfallen kann, da die Induktivität der Zuleitungen zum Filterzweck bereits ausreichend ist.

15

20 Die summierte Spannung 22 kann als Ausgangsspannung der Gesamtanlage an ein externes elektrisches Versorgungsnetz gekoppelt werden, wodurch eine Einspeisung von Energie in das Versorgungsnetz aus den Solarzellen ermöglicht wird.

25 Der Hochsetzsteller 3a...n übernimmt in diesem Ausführungsbeispiel für die Erfindung zusätzlich zur DC/DC-Wandlung die Aufgabe der Arbeitspunktregelung für die jeweilige Gruppe 2a...n von Solarzellen 1aa...1nn. Die Arbeitspunktregelung wird auch als Maximum Power Point (MPP) Tracking bezeichnet.

30 Hiermit wird die Spannung über die Solarzellen 1aa...1nn so gewählt, dass eine maximale Leistung entnommen werden kann.

Der Hochsetzsteller 3a...n weist bekanntermaßen einen Schalter auf. Über dessen Tastverhältnis kann in einem herkömmlichen Hochsetzsteller 3a...n die Ausgangsspannung eingestellt werden. Im hier gegebenen Beispiel bestimmt das Tastverhältnis des Schalters im Hochsetzsteller 3a...n das Verhältnis

35 zwischen der Spannung am Kondensator der Solarzellen und am

Kondensator 11a...n auf der Wechselrichterseite. Eine weitere Möglichkeit zur Einflussnahme auf die Spannung an den beiden Kondensatoren einer Gruppe bietet das Tastverhältnis aus eingeschaltetem und ausgeschaltetem Zustand des Wechselrichters

5 4a...n. Eine übergeordnete Steuerung 30, die in Figur 1 der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt ist, sorgt für eine geeignete Regelung der Wechselrichter 4a...n und Hochsetzsteller 3a...n. Hierbei wird über die Regelung erreicht, dass zum einen die Spannung an den Kondensatoren 11a...n im Durchschnitt einen konstanten gewünschten Wert hat. Diese Spannung

10 sinkt im eingeschalteten Zustand eines Wechselrichters 4a...n durch Leistungsentnahme ab und nimmt im ausgeschalteten Zustand durch Aufladung durch die Solarzellen 1aa...nn zu. Da die Spannung also über das Tastverhältnis des jeweiligen

15 Wechselrichters 4a...n geregelt wird, ist es zweckmäßig, Regelungsreserven zur Verfügung zu haben. Es sollten also zweckmäßig mehr Gruppen von Solarzellen 1aa...nn zur Verfügung stehen, als im Idealfall benötigt werden.

20 Eine Arbeitspunktregelung für die jeweilige Gruppe 2a...n von Solarzellen 1aa...nn wird wiederum über das Tastverhältnis des Schalters des jeweiligen Hochsetzstellers 3a...n vorgenommen. Hierzu kann die übergeordnete Steuerung 30 beispielsweise die Leistungsdaten der Gruppen aufnehmen. Anhand der

25 sich ständig ändernden Spannung am solarzellenseitigen Kondensator und den dazugehörigen Stromwerten kann die Steuerung ersehen, ob die Solarzellen an ihrem idealen Arbeitspunkt betrieben werden.

30 Wird eine Gruppe 2a...n von Solarzellen 1aa...nn nun beschattet, so kann diese Gruppe 2a...n weniger Leistung liefern als ohne Beschattung. Der ideale Arbeitspunkt verschiebt sich dadurch deutlich. Die Steuerung 30 wird die Beschattung anhand der Leistungsdaten dieser Gruppe 2a...n erkennen und das

35 Tastverhältnis des Schalters im Hochsetzsteller 3a...n entsprechend anpassen, sodass die Gruppe 2a...n für die Dauer der Beschattung weiterhin mit der idealen Spannung betrieben wird. Gleichzeitig kann die Steuerung 30 das Tastverhältnis

des Wechselrichters 4a...n an die neue Situation anpassen, indem beispielsweise diese Gruppe 2a...n weniger oft zugeschaltet wird. Dadurch bleibt die Spannung am Kondensator 11a...n, die ggfs. zugeschaltet wird, auf dem gewünschten  
5 Wert trotz der reduzierten Leistungsfähigkeit der Gruppe 2a...n.

Ein zweites Ausführungsbeispiel ist schematisch in der Figur 3 dargestellt. Die drei Gruppen 2a...c mit jeweils drei Solarzellen 1aa...cc verfügen über jeweils einen Wechselrichter  
10 4a...c. In Figur 3 ist der innere Aufbau der Wechselrichter 4a...c nicht mehr dargestellt. Im Gegensatz zur Ausführungsform gemäß der Figur 1 sind jetzt aber keine DC/DC-Wandler mehr vorgesehen.

15 Hierdurch werden die Regelungsmöglichkeiten für die Steuerung 30 verringert. Es steht nun für jede der Gruppen 2a...n nur noch das Tastverhältnis des jeweiligen Wechselrichters 4a...n zur Verfügung. Dieses wird zweckmäßig nun zur Arbeitspunktregelung der Gruppen 2a...n verwendet. Die Ausgangsspannung,  
20 die zur erzeugten Wechselspannung im eingeschalteten Zustand des Wechselrichters 4a...n beiträgt, kann nicht mehr gleichzeitig in jedem Fall konstant gehalten werden. Bei Beschattung einer Gruppe 2a...n von Solarzellen 1aa...nn wird die  
25 Ausgangsspannung entsprechend des geänderten Arbeitspunkts der Solarzellen 1aa...nn sinken.

Die Steuerung 30 führt also das MPP-Tracking über die jeweilige Zuschaltzeit der Wechselrichter 4a...n durch. Auch in  
30 diesem Beispiel kann das MPP-Tracking umso besser durchgeführt werden, je mehr Gruppen 2a...n von Solarzellen 1aa...nn über dem notwendigen Minimum zur Verfügung stehen, da die Steuerung dann die Zuschaltzeiten einer Gruppe 2a...n besser an die Bedürfnisse der Gruppe 2a...n anpassen kann.

35 Die beschriebenen Ausführungsbeispiele waren dargestellt für eine einphasige Spannungserzeugung. Muss eine dreiphasige Ausgangsspannung an das elektrische Versorgungsnetz gegeben

werden, so muss die beschriebene Topologie dreimal aufgebaut werden, wobei natürlich die übergeordnete Steuerung 30 nur einmal nötig ist. Der Ausgangskontakt 10c, n des letzten Wechselrichters 4, jeder Phase, der als negativer Kontakt für  
5 die Netzankopplung dient, kann in diesem Fall zum Sternpunkt zusammenschaltet werden.

## Patentansprüche

1. Schalteinrichtung (12) zur Anbindung wenigstens zweier Einrichtungen (1aa...nn) zur Erzeugung elektrischer Energie an ein elektrisches Versorgungsnetz, wobei die Einrichtungen in wenigstens zwei Gruppen (2a...n) aufgeteilt sind und wenigstens ein Teil der Gruppen (2a...n) eine Ausgangsspannung (21) erzeugt, wobei die Schalteinrichtung (12) ausgestaltet ist, eine zeitlich variable Anzahl der Ausgangsspannungen ( $U_{WR}$ ) zur Erzeugung einer Wechselspannung (22) aufzusummieren.
2. Schalteinrichtung (12) gemäß Anspruch 1, die für wenigstens einen Teil der Gruppen (2a...n) eine Vollbrücke (4a...n) aufweist, die ausgestaltet ist, zwischen ihrem Eingangs- und Ausgangsanschluss (9a...n, 10a...n) einen Kurzschluss, die Ausgangsspannung (21) oder die in der Polarität umgekehrte Ausgangsspannung (21) zu erzeugen.
3. Schalteinrichtung (12) gemäß Anspruch 2, bei der die Vollbrücken (4a...n) in Serie geschaltet sind.
4. Schalteinrichtung (12) gemäß Anspruch 2 oder 3, bei der über die jeweilige Aussteuerung der Vollbrücken (4a...n) eine Arbeitspunktregelung für die jeweilige Gruppe (2a...n) vorgenommen wird.
5. Schalteinrichtung (12) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem für wenigstens einen Teil der Gruppen (2a...n) ein DC/DC-Wandler (3a...n) vorgesehen ist.
6. Schalteinrichtung (12) gemäß Anspruch 5, bei der der DC/DC-Wandler (3a...n) wenigstens einen Schalter aufweist und eine Arbeitspunktregelung für die jeweilige Gruppe (2a...n) anhand des Tastverhältnisses des Schalters vorgenommen wird.

7. Schalteinrichtung (12) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Einrichtungen (1aa...nn) zur Erzeugung elektrischer Energie Solarzellen (1aa...nn) sind.

- 5 8. Generatoreinrichtung mit
- wenigstens zwei Einrichtungen (1aa...nn) zur Erzeugung elektrischer Energie, wobei die Einrichtungen (1aa...nn) in wenigstens zwei Gruppen (2a...n) aufgeteilt sind und wenigstens ein Teil der Gruppen (2a...n) eine Ausgangsspannung (21) erzeugt, und
  - 10 - wenigstens einer Schalteinrichtung (12) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, die ausgestaltet ist, eine zeitlich variable Anzahl der Ausgangsspannungen ( $U_{WR}$ ) zur Erzeugung einer Wechselspannung (22) aufzusummieren.

- 15 9. Verfahren zur Anbindung wenigstens zweier Einrichtungen (1aa...nn) zur Erzeugung elektrischer Energie an ein elektrisches Versorgungsnetz, bei dem:
- die Einrichtungen (1aa...nn) in wenigstens zwei Gruppen (2a...n) aufgeteilt werden,
  - 20 - wenigstens ein Teil der Gruppen (2a...n) eine Ausgangsspannung ( $U_{WR}$ ) erzeugen und
  - eine zeitlich variable Anzahl der Ausgangsspannungen ( $U_{WR}$ ) zur Erzeugung einer Wechselspannung (22) summiert wird.

- 25 10. Verfahren gemäß Anspruch 9, bei dem die Anzahl der Ausgangsspannungen (21) mittels einer Serienschaltung aus Vollbrücken (4a...n) summiert wird, wobei die Vollbrücken (4a...n) der Wechselspannung entweder 0V, die Ausgangsspannung (21) oder die in der Polarität umgekehrte Ausgangsspannung (21) hinzufügen.
- 30

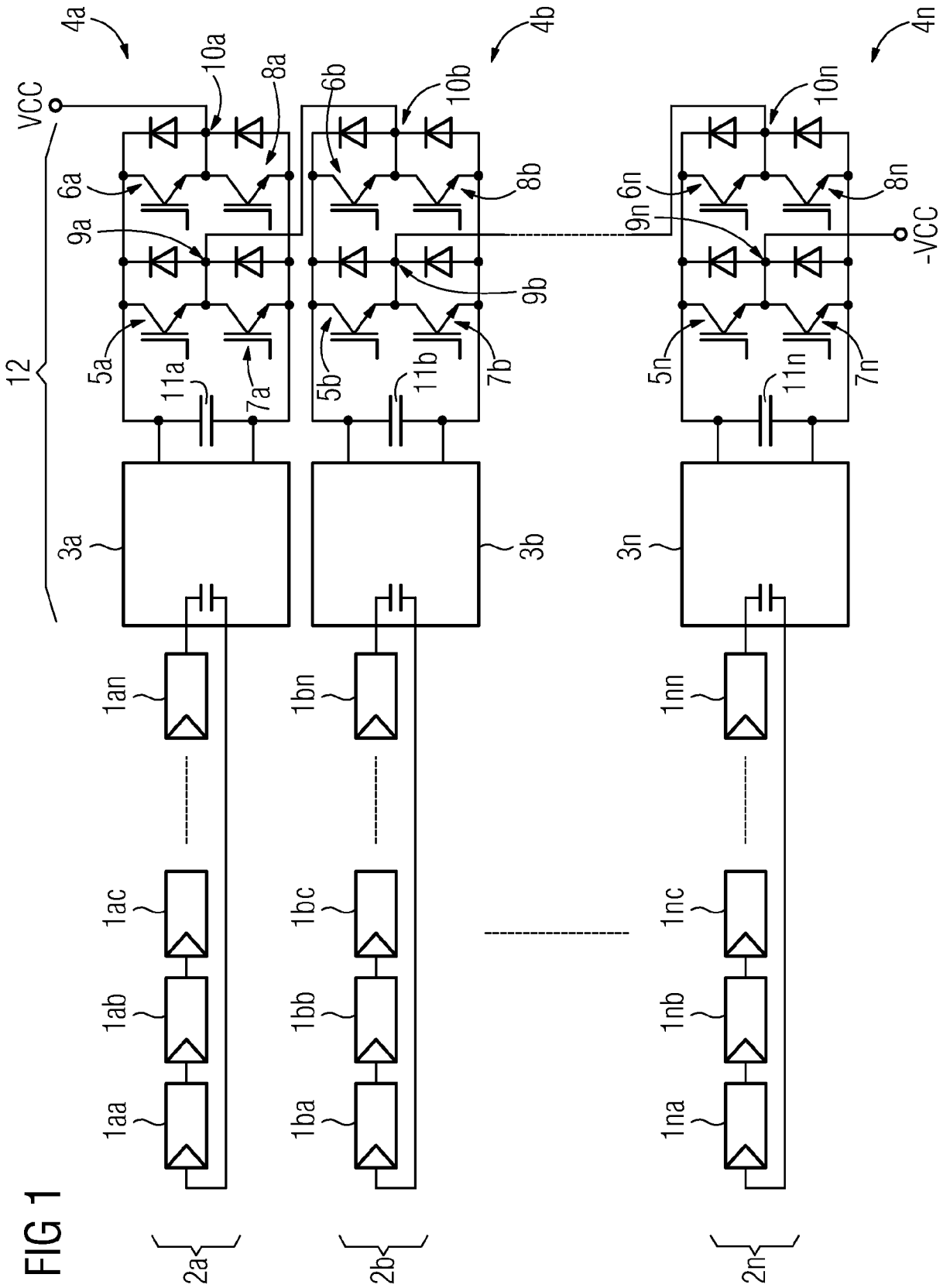


FIG 2

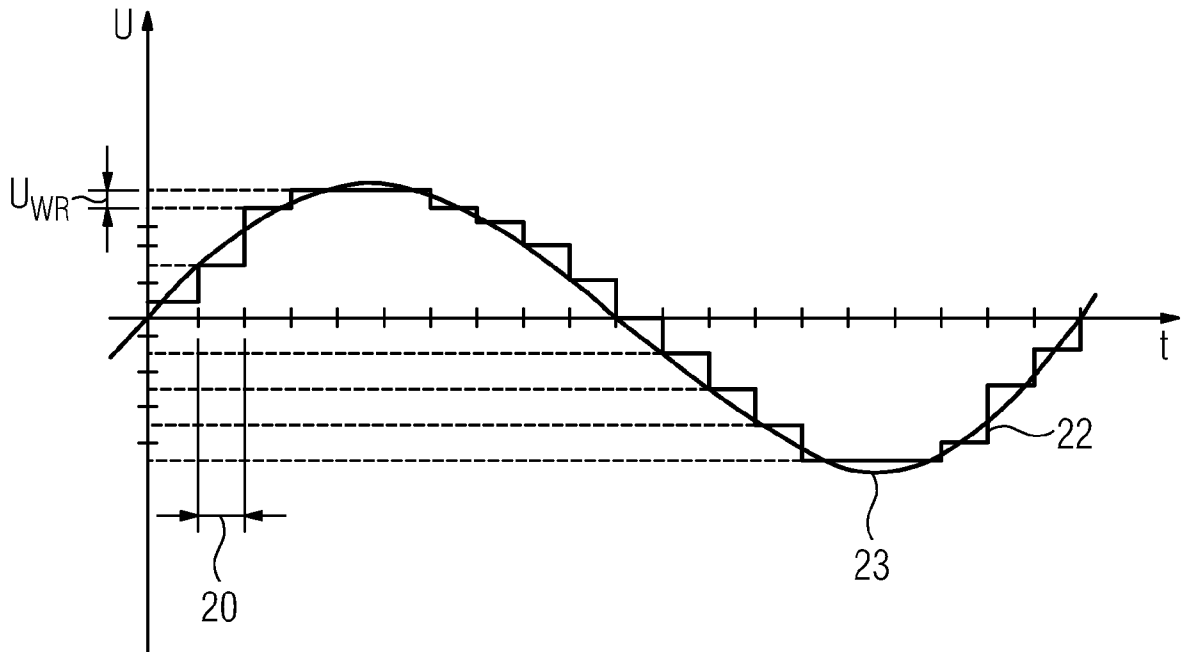


FIG 3

