

(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
12. November 2009 (12.11.2009)

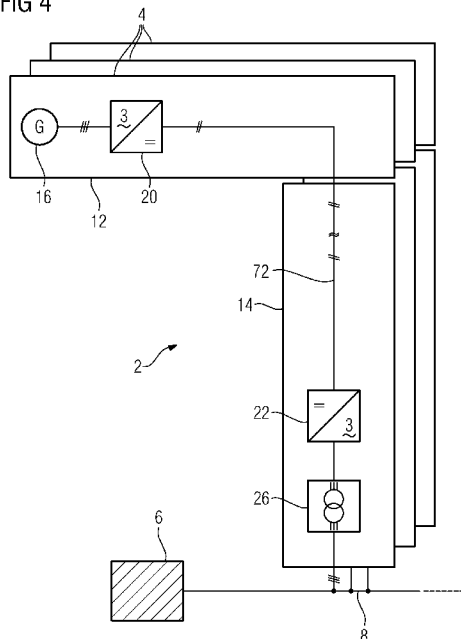
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/135728 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
F03D 9/00 (2006.01) *F03D 11/00* (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2009/053616
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
26. März 2009 (26.03.2009)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2008 022 617.3 7. Mai 2008 (07.05.2008) 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):** HILLER, Marc [DE/DE]; Am Wiesengrund 29, 90455 Nürnberg (DE). KLAASSEN, Norbert [DE/DE]; Luitpoldstr. 67, 91052 Erlangen (DE). SALZMANN, Theodor [AT/DE]; Weiherackerweg 36, 91080 Marloffstein (DE). SOMMER, Rainer [DE/DE]; Im Kirschgarten 14 B, 91336 Heroldsbach (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, 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, 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, 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:** WIND FARM COMPRISING A PLURALITY OF WIND POWER PLANTS

(54) **Bezeichnung:** WINDENERGIEPARK MIT EINER VIELZAHL VON WINDENERGIEANLAGEN

FIG 4



(57) **Abstract:** The invention relates to a wind power plant (4) which consists of a nacelle (12) arranged on a tower (14), a rotor (28), a generator (16), a power converter (20) on the generator side, a power converter (22) on the network side and a transformer (26), the two power converters (20, 22) being electrically connected to each other on the DC voltage side, and the power converter (22) on the network side being connected on the AC voltage side to a feeding point (8) of a destination network (6) by means of the transformer (26). Every phase module (74) of the power converter (22) on the network side has an upper and lower valve branch (T1, T3, T5; T2, T4, T6) having at least two bipolar subsystems (76) that are connected in series and the power converter (20) on the generator side and the power converter (22) on the network side are interconnected on the DC side by means of a DC cable (72). A corresponding wind farm (2) consists of a plurality of wind power stations (4) and has a flexible design as compared to known DC concepts, the nacelles (12) of every wind power station (4) having a low dead weight.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Windenergieanlage (4), bestehend aus einer auf einem Turm (14) angeordneten Gondel (12), mit einem Rotor (28), einem Generator (16), einem generatorseitigen Stromrichter (20), einem netzseitigen Stromrichter (22) und einem Transformator (26), wobei diese beiden Stromrichter (20, 22) gleichspannungsseitig elektrisch miteinander verbunden sind, und wobei der netzseitige Stromrichter (22) wechsellspannungsseitig

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/135728 A2



mittels des Transformators (26) mit einer Einspeisestelle (8) eines energieaufnehmenden Netzes (6) verknüpft ist. Erfindungsgemäß weist jedes Phasenmodul (74) des netzseitigen Stromrichters (22) einen oberen und unteren wenigstens zwei elektrisch in Reihe geschaltete zweipolige Subsysteme (76) aufweisenden Ventilzweig (T1, T3, T5; T2, T4, T6) auf und sind der generatorseitige Stromrichter (20) und der netzseitige Stromrichter (22) gleichspannungsseitig mittels eines Gleichstromkabels (72) miteinander verknüpft. Somit erhält man einen Windenergiepark (2), bestehend aus einer Vielzahl von Windenergieanlagen (4), der gegenüber einem bekannten Gleichstrom-Konzept einen flexiblen Aufbau aufweist, wobei die Gondeln (12) einer jeden Windenergieanlage (4) ein geringeres Eigengewicht aufweisen.

Beschreibung

Windenergiepark mit einer Vielzahl von Windenergieanlagen

5 Die Erfindung bezieht sich auf eine Windenergieanlage und einen aus diesen Windenergieanlagen bestehenden Windenergiepark.

10 Mittels Windenergieanlagen eines Windenergieparks soll mit dem stochastischen Primärenergieträger Wind erzeugte Elektroenergie in ein regionales Versorgungsnetz eingespeist werden.

Aus der DE 196 20 906 A1 ist ein bekanntes Konzept eines Windenergieparks 2 in der Figur 1 schematisch dargestellt.

15 Dieses bekannte Konzept ist ein dezentrales Drehstrom-Konzept, weil die Energie einer jeden Windenergieanlage 4 des Windenergieparks 2 in ein regionales Versorgungsnetz 6 eingespeist wird. Da die Spannungsanhebung an einer Windenergiepark-Einspeisestelle 8 des regionalen Versorgungsnetzes 6
20 nicht mehr als 4% betragen darf, ergibt sich eine maximal mögliche Windenergieleistung in Abhängigkeit von der Entfernung der Windenergiepark-Einspeisestelle 8 von einem Umspannwerk dieses Versorgungsnetzes 6. Der dargestellte Windenergiepark 2 weist drei Windenergieanlagen 4 auf, die jeweils
25 eine Gondel 12 und einen Turm 14 aufweisen. Die Gondel 12, die drehbar auf dem Turm 14 angeordnet ist, weist einen Generator 16, ein generatorseitiges Filter 18, einen generatorseitigen Stromrichter 20, einen netzseitigen Stromrichter 22, ein netzseitiges Filter 24 und einen Transformator 26 auf.
30 Die beiden Stromrichter 20 und 22 sind gleichspannungsseitig mittels eines Spannungszwischenkreises miteinander elektrisch leitend verbunden. Somit bilden diese beiden Stromrichter 20 und 22 und der Spannungszwischenkreis einen Spannungszwischenkreis-Umrichter.

35

Ein Aufbau eines derartigen in einer Gondel 12 einer Windenergieanlage 4 angeordneten Spannungszwischenkreis-Umrichters ist der Veröffentlichung mit dem Titel "A high po-

wer density converter system for the Gamesa G10x4,5 MW Wind turbine" von Björn Andresen und Jens Birk, veröffentlicht im Tagungsband der EPE 2007 in Aalborg. In diesem in dieser Veröffentlichung dargestellten Spannungszwischenkreis-Umrichter sind die beiden Stromrichter 20 und 22 als selbstgeführte Pulsstromrichter ausgeführt. Um vom Stromrichter 20 bzw. 22 erzeugte Oberschwingungen vom Generator 16 bzw. Versorgungsnetz 6 fernhalten zu können, sind generatorseitig und netzseitig jeweils ein Filter 18 bzw. 24 vorgesehen. Mittels des netzseitigen Transformators 26 wird eine generierte Umrichter-Ausgangsspannung an eine Nennspannung des regionalen Versorgungsnetzes angepasst.

Wie der genannten Veröffentlichung zu entnehmen ist, ist der Generator 16 läuferseitig mittels eines Getriebes oder direkt mit einem Rotor der Windenergieanlage 4 verknüpft. Wird als Generator 16 ein Synchrongenerator verwendet, kann auf das Getriebe verzichtet werden, so dass sich das Gewicht der Gondel 12 verringert. Aus Übersichtlichkeitsgründen ist in dieser Figur 1 auf die Darstellung von Rotoren verzichtet worden.

In der Figur 2 ist eine zweite Ausführungsform des Drehstrom-Konzepts eines Windenergieparks 2 dargestellt. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform gemäß Figur 1 dadurch, dass die elektrische Ausrüstung einer Windenergieanlage 4 nicht mehr in der Gondel 12 sondern im Turm 14 angeordnet ist. Eine derartige Ausführungsform einer Windenergieanlage 4 ist aus der Veröffentlichung mit dem Titel "ABB Advanced Power Electronics - MV full power wind converter for Multibrid M5000 turbine", veröffentlicht im Internet auf der Seite www.abb.com/powerelectronics. Die Anlagenteile 18, 20, 22, 24 und 26 sind im Fußraum des Turms 14 einer Windenergieanlage 4 angeordnet. Somit verbleibt in der Gondel 12 einer jeden Windenergieanlage 4 eines Windenergieparks 2 nur noch der Generator 16.

Aus der DE 196 20 906 A1 ist ein Windenergiepark 2 mit n Windenergieanlagen 4 bekannt. Bei diesem bekannten Windenergiepark 2 weist jede Windenergieanlage 4 einen Rotor 28, dessen Rotorblätter verstellbar sind, einen Synchrongenerator 30, einen Gleichrichter 32 und eine Glättungsdrossel 34 auf. Der Synchrongenerator 30 ist direkt mit dem Rotor 28 gekoppelt und weist zwei 30° el. zu einander versetzte Statorwicklungen auf, die jeweils mit einem Teilgleichrichter 36 des Gleichrichters 32 elektrisch leitend verbunden sind. Der Synchrongenerator 30 kann eine Permanenterregung oder eine spannungsgeregelte Erregung aufweisen. Der Gleichrichter 32 ist mehrpulsig, beispielsweise 12-pulsig, ausgeführt. Die Glättungsdrossel 34 ist beispielsweise in einer positiven Ausgangsleitung 38 angeordnet. Diese positive Ausgangsleitung 38 und eine negative Ausgangsleitung 40 sind jeweils mittels eines Leistungsschalters 42 von einer positiven und negativen Sammelschiene 44 und 46 trennbar. Mittels dieser beiden Sammelschienen 44 und 46 sind die n Windenergieanlagen des Windenergieparks 2 gleichstromseitig parallel geschaltet.

Eine netzseitige Stromrichterstation 48 ist bei dieser Darstellung des Gleichstrom-Konzepts des Windenergieparks 2 direkt bei einem Umspannwerk 50 eines regionalen Versorgungsnetzes 6 angeordnet. Diese netzseitige Stromrichterstation 48 weist eine Glättungsdrossel 52, einen Wechselrichter 54, einen Anpasstransformator 56 und ein Filter 58 auf. Der Wechselrichter 54 besteht ebenso wie der Gleichrichter 32 einer jeden Windenergieanlage 4 aus zwei Teilwechselrichtern 60. Die Pulsigkeit des Wechselrichters 54 entspricht der Pulsigkeit des Gleichrichters 32. Jeder Teilwechselrichter 60 ist wechselspannungsseitig mit einer Sekundärwicklung des Anpasstransformators 56 elektrisch leitend verbunden, wobei dessen Primärwicklung mit einer Sammelschiene 62 des Umspannwerks 50 elektrisch leitend verbunden ist. An dieser Sammelschiene 62 ist ebenfalls das Filter 58 angeschlossen. Die Glättungsdrossel 52 ist beispielsweise in einer positiven Eingangsleitung 64 des Wechselrichters 54 angeordnet. Die positive Eingangsleitung 64 und eine negative Eingangsleitung 66 sind mittels

einer Gleichstrom-Übertragungseinrichtung 68 mit der positiven und negativen Sammelschiene 44 und 46 der elektrisch parallel geschalteten Windenergieanlagen 4 elektrisch leitend verbunden. Die Gleichstrom-Übertragungseinrichtung 68 kann
5 einerseits zwei Gleichstromleitungen oder ein Gleichstromkabel sein.

Als Stromrichterventile der Gleichrichter 32 einer jeden Windenergieanlage 4 und des Wechselrichters 54 des der netz-
10 seitigen Stromrichterstation 48 sind Thyristoren vorgesehen. Mit den Gleichrichtern 32 wird eine Leistung geregelt, wobei mittels des Wechselrichters 54 die Drehstromspannung geregelt wird. Diese Verschaltung von n Stromrichterstationen entspricht einem HGÜ-Mehrpunktnetz.

15

Aus der Veröffentlichung mit dem Titel "Offen für Offshore - HVDC Light - Baustein einer nachhaltigen elektrischen Energieversorgung" ist ein Offshore Windpark bekannt, wobei an-
stelle eines Drehstromkabels ein Gleichstromkabel verwendet
20 wird. An beiden Enden dieses Gleichstromkabels ist jeweils ein Leistungsstromrichter vorgesehen, die wechsellspannungsseitig jeweils mit einem Leistungstransformator versehen sind. Als Leistungsstromrichter sind IGBT-Stromrichter vorgesehen, die aus einem Spannungszwischenkreis-Umrichter für
25 Mittelspannung bekannt sind. Der Zwischenkreiskondensator ist zweigeteilt und jeweils Gleichspannungsanschlüssen eines IGBT-Stromrichters elektrisch parallel geschaltet. Jeweils eine Windenergieanlage dieses Windenergieparks weist einen generatorseitigen IGBT-Stromrichter auf, wobei deren netzsei-
30 tigen IGBT-Stromrichter in einem IGBT-Stromrichter einer netzseitigen Stromrichterstation integriert sind. Die IGBT-Stromrichter der Windenergieanlagen dieses Windenergieparks sind gleichspannungsseitig mittels eines Gleichstromkabels mit dem IGBT-Stromrichter der netzseitigen Stromrichterstation
35 verbunden. Mit diesem Gleichstromkonzept können die Windenergieanlagen eines Windenergieparks, insbesondere eines Offshore-Windparks, von einer netzseitigen Stromrichterstation mehr als 140km entfernt sein.

Aus der Veröffentlichung mit dem Titel "Control method and snubber selection for a 5MW wind turbine single active bridge DC/DC converter" von Lena Max und Torbjörn Thiringer, abgedruckt im Konferenzband EPE 2007 in Aalborg, ist eine weitere Ausführungsform eines Gleichspannungs-Konzeptes eines Windenergieparks bekannt. Bei dieser Ausführungsform weist jede Windenergieanlage einen Generator, einen generatorseitigen Stromrichter und einen Gleichspannungswandler auf. Mehrere Windenergieanlagen sind mittels eines weiteren Gleichspannungswandlers mit einem Gleichspannungswandler verknüpft, der mittels eines Gleichstromkabels mit einem netzseitigen Wechselrichter an einer Windpark-Einspeisestelle eines regionalen Versorgungsnetzes verbunden ist. Als generatorseitiger Stromrichter einer jeden Windenergieanlage wird entweder ein Diodengleichrichter oder ein selbstgeführter IGBT-Stromrichter vorgesehen.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, eine Windenergieanlage und einen aus diesen Windenergieanlagen bestehenden Windenergiepark derart zu verbessern, dass Anlagenteile eingespart werden können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 8 gelöst.

Erfindungsgemäß wird als netzseitiger Stromrichter einer Windenergieanlage ein Stromrichter mit verteilten Energiespeichern vorgesehen. Jeder Ventilzweig eines derartigen Stromrichters weist wenigstens zwei zweipolige Subsysteme auf, die jeweils einen Energiespeicher aufweisen und elektrisch in Reihe geschaltet sind. Um das Ausgangsfilter einsparen zu können, werden wenigstens zehn zweipolige Subsysteme pro Ventilzweig elektrisch in Reihe geschaltet. Abhängig von der Anzahl der zweipoligen Subsysteme steigt ebenfalls eine Stromrichter-Ausgangsspannung an. Dadurch kann gegebenenfalls auf einen Anpasstransformator verzichtet werden.

Ein weiterer Vorteil dieses Stromrichters mit verteilten
Energiespeichern besteht darin, dass jeder Ventilzweig dieses
Stromrichters redundante zweipolige Subsysteme aufweisen
kann. Dadurch kann bei fehlerhaften zweipoligen Subsystemen
5 der Betrieb uneingeschränkt aufrechterhalten werden, wodurch
sich die Verfügbarkeit der Windenergieanlage verbessert.

Da als lastseitiger Stromrichter eines Spannungszwischen-
kreis-Umrichters ein Stromrichter mit verteilten Energiespei-
10 chern vorgesehen ist, weist der Spannungszwischenkreis dieses
Spannungszwischenkreis-Umrichters keine Energiespeicher mehr
auf. Dadurch muss dieser Spannungszwischenkreis nicht mehr
niederinduktiv aufgebaut werden, so dass als gleichspannungs-
seitige Verbindung des generatorseitigen Stromrichters mit
15 dem netzseitigen Stromrichter einer Windenergieanlage ein
Gleichstromkabel verwendet werden kann. Außerdem wird ein
Zwischenkreiskurzschluss im Vergleich zu einem Spannungszwi-
schenkreis-Umrichter mit Energiespeicher im Spannungszwi-
schenkreis sehr unwahrscheinlich, wodurch ein sicheres Ver-
20 halten im Fehlerfall gewährleistet werden kann. Ferner müssen
die Stromrichterventile des generatorseitigen Stromrichters
des Spannungszwischenkreis-Umrichters der Windenergieanlage
nicht mehr für einen durch einen niederohmigen Zwischenkreis-
Kurzschluss hervorgerufenen Kurzschlussstrom ausgelegt wer-
25 den. Das heißt, die i^2t -Anforderung dieser Stromrichterventi-
le kann deutlich reduziert werden.

Wird mit einer Vielzahl von erfindungsgemäßen Windenergiean-
lagen ein Windenergiepark aufgebaut, so werden die netzseiti-
30 gen Stromrichter mit verteilten Energiespeichern einer jeden
Windenergieanlage in einem Stromrichter mit verteilten Ener-
giespeichern in einer netzseitigen Stromrichterstation zusam-
mengefasst, wobei diese netzseitige Stromrichterstation vor-
teilhafterweise unmittelbar bei einer Windenergiepark-
35 Einspeisestelle angeordnet ist. Somit weist jede Windenergie-
anlage des Windenergieparks nach der Erfindung nur noch einen
Generator mit nachgeschaltetem Stromrichter auf, wobei vor-
teilhafterweise dieser generatorseitige Stromrichter im Fuß-

raum eines Turms einer jeden Windenergieanlage angeordnet ist. Dadurch reduziert sich das Gewicht einer jeden Gondel der Windenergieanlage des erfindungsgemäßen Windenergieparks wesentlich. Dadurch vereinfacht sich außerdem die Konstruktion eines Turms einer jeden Windenergieanlage dieses Windenergieparks.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Windenergieanlagen ist als generatorseitiger Stromrichter außerdem ein Stromrichter mit verteilten Energiespeichern vorgesehen. Durch die Verwendung eines Stromrichters mit verteilten Energiespeichern auf der Generatorseite des Spannungszwischenkreis-Umrichters der Windenergieanlage, wobei eine Vielzahl von zweipoligen Subsystemen pro Ventilzweig des Stromrichters verwendet werden, kann als Generator ein Generator mit verminderten Anforderungen an die Wicklungsisolation verwendet werden. Durch die dünnere Isolation der Wicklungen des Generators verbessert sich deren Kühlung.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Windenergieanlage sind den Unteransprüchen 4 bis 7 und weitere vorteilhafte Ausführungsformen des Windenergieparks sind den Unteransprüchen 9 bis 14 zu entnehmen.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in der mehrere Ausführungsformen einer Windenergieanlage eines Windenergieparks schematisch veranschaulicht sind.

FIG 1 zeigt eine erste Ausführungsform eines bekannten Drehstrom-Konzeptes einer Windenergieanlage, in der
FIG 2 ist eine zweite Ausführungsform des bekannten Drehstrom-Konzeptes nach Figur 1 dargestellt, die
FIG 3 zeigt eine Ausführungsform eines bekannten Gleichstrom-Konzeptes eines Windenergieparks, wobei in der
FIG 4 eine erste Ausführungsform einer Windenergieanlage nach der Erfindung dargestellt ist, die

FIG 5 zeigt ein Schaltbild eines Stromrichters mit ver-
teilten Energiespeichern, in den
FIG 6, 7 sind jeweils eine Ausführungsform eines zweipoligen
Subsystems des Stromrichters nach Figur 5 veran-
5 schaulicht, die
FIG 8 zeigt eine zweite Ausführungsform einer erfindungs-
gemäßen Windenergieanlage eines Windenergieparks,
und die
FIG 9 zeigt eine dritte Ausführungsform einer erfindungs-
10 gemäßen Windenergieanlage dieses Windenergieparks.

In der Figur 4 ist eine erste Ausführungsform einer erfin-
dungsgemäßen Windenergieanlage 4 eines Windenergieparks 2 nä-
her dargestellt. Bei dieser erfindungsgemäße Windenergieanla-
15 ge 4 sind in seiner Gondel 12 nur noch der Generator 16 und
der generatorseitige Stromrichter 20 angeordnet. Im zugehöri-
gen Turm 14 dieser Windenergieanlage 4, auf dem die Gondel 12
drehbar gelagert ist, sind der netzseitige Stromrichter 22
und der wechselstromseitige Transformator 26, der auch als
20 Anpasstransformator bezeichnet wird, angeordnet. Dabei sind
diese beiden Anlagenteile 22 und 26 im Fußraum des Turms 14
angeordnet. Mit diesem Transformator 26 ist die Windenergie-
anlage 4 an der Windenergiepark-Einspeisestelle 8 eines regi-
onalen Versorgungsnetzes 6 angeschlossen. Als netzseitiger
25 Stromrichter 22 ist erfindungsgemäß ein Stromrichter 70 mit
verteilter Energiespeichern vorgesehen. Ein Schaltbild eines
derartigen Stromrichters 70 ist in Figur 5 näher dargestellt.
Durch die Verwendung eines Stromrichters 70 mit verteilten
Energiespeichern wenigstens als netzseitiger Stromrichter 22
30 weist der Spannungszwischenkreis des aus generatorseitigen
und netzseitigen Stromrichtern 20 und 22 aufgebauter Span-
nungszwischenkreis-Umrichter keine Energiespeicher in Form
von Kondensatoren, insbesondere Elektrolytkondensatoren, mehr
auf. Aus diesem Grund muss dieser Spannungszwischenkreis
35 nicht mehr niederinduktiv aufgebaut werden, so dass als
gleichspannungsseitige Verknüpfung dieser beiden Stromrichter
20 und 22 ein Gleichstromkabel 72 vorgesehen wird. Der gene-
ratorseitige Stromrichter 20 ist im einfachsten Fall ein Dio-

dengleichrichter. Vorteilhafterweise ist der generatorseitige Stromrichter als Vier-Quadranten-Stromrichter ausgebildet.

Wird als generatorseitiger Stromrichter 20 ebenfalls ein
5 Stromrichter 70 mit verteilten Energiespeichern verwendet, so kann ein Generator 16 mit verminderten Anforderungen an die Wicklungsisolation verwendet werden. Dadurch verbessert sich die Kühlung der Wicklungen dieses Generators 16. Weist dieser generatorseitige Stromrichter 20 in der Ausführungsform als
10 Stromrichter 70 mit verteilten Energiespeichern eine hohe Anzahl von verteilten Energiespeichern auf, beispielsweise wenigstens zehn Energiespeicher pro Ventilzweig eines Phasenmoduls dieses Stromrichters 70, so wird das generatorseitige Filter 18 nicht mehr benötigt. Außerdem können dadurch höhere
15 Generatorspannungen realisiert werden, wodurch die Leitungen des Gleichstromkabels 72 im Turm 14 einer jeden Windenergieanlage 4 für kleinere Ströme ausgelegt werden kann. Ebenso kann dieser generatorseitige Stromrichter 70 mit verteilten Energiespeichern weitere redundante Energiespeicher aufwei-
20 sen, die zur höheren Verfügbarkeit der Windenergieanlage 4 führt.

In Figur 5 ist ein Schaltbild eines Stromrichters 70 mit verteilten Energiespeichern dargestellt. Dieser Stromrichter 70
25 weist drei Phasenmodule 74 auf, die gleichspannungsseitig elektrisch parallel geschaltet sind. Für die Parallelschaltung dieser Phasenmodule 74 sind eine positive und eine negative Gleichspannungs-Sammelschiene P_0 und N_0 vorgesehen. Zwischen diesen beiden Gleichspannungs-Sammelschienen P_0 und
30 N_0 fällt eine Gleichspannung U_d ab. An diesen Gleichspannungs-Sammelschienen P_0 und N_0 dieses Stromrichters 70 sind die beiden Leitungen des Gleichstromkabels 72 angeschlossen.

In der Figur 6 ist eine erste Ausführungsform eines zweipoligen Subsystems 76 dargestellt. Dieses zweipolige Subsystem 76
35 weist zwei abschaltbare Halbleiterschalter 78 und 80, zwei Dioden 82 und 84 und einen unipolaren Speicherkondensator 86 auf. Die beiden abschaltbaren Halbleiterschalter 78 und 80

sind elektrisch in Reihe geschaltet, wobei diese Reihenschaltung elektrisch parallel zum Speicherkondensator 86 geschaltet ist. Jedem abschaltbaren Halbleiterschalter 78 und 80 ist eine der beiden Dioden 82 und 84 derart elektrisch parallel geschaltet, dass diese zum korrespondierenden abschaltbaren Halbleiterschalter 78 und 80 antiparallel geschaltet ist. Der unipolare Speicherkondensator 84 des zweipoligen Subsystems 76 besteht entweder aus einem Kondensator oder einer Kondensatorbatterie aus mehreren solchen Kondensatoren mit einer resultierenden Kapazität C_0 . Der Verbindungspunkt von Emitter des abschaltbaren Halbleiterschalters 78 und Anode der Diode 82 bilden eine erste Anschlussklemme X1 des Subsystems 76. Der Verbindungspunkt der beiden abschaltbaren Halbleiterschalter 78 und 80 und der beiden Dioden 82 und 84 bilden eine zweite Anschlussklemme X2 des zweipoligen Subsystems 76.

In der Ausführungsform des Subsystems 76 gemäß Figur 7 bildet dieser Verbindungspunkt die erste Anschlussklemme X1. Der Verbindungspunkt von Drain des abschaltbaren Halbleiterschalters 80 und Kathode der Diode 84 bildet die zweite Anschlussklemme X2 des zweipoligen Subsystems 76.

Gemäß der Veröffentlichung mit dem Titel "Modulares Stromrichterkonzept für Netzkupplungsanwendung bei hohen Spannungen" von Rainer Marquardt, Anton Lesnicar und Jürgen Hildinger, abgedruckt im Tagungsband der ETG-Tagung 2002, kann das zweipolige Subsystem 76 drei Schaltzustände einnehmen. Im Schaltzustand I ist der abschaltbare Halbleiterschalter 78 eingeschaltet und der abschaltbare Halbleiterschalter 80 ausgeschaltet. In diesem Schaltzustand I ist die Klemmenspannung U_{X21} des zweipoligen Subsystems 76 gleich Null. Im Schaltzustand II sind der abschaltbare Halbleiterschalter 78 ausgeschaltet und der abschaltbare Halbleiterschalter 80 eingeschaltet. In diesem Schaltzustand II ist die Klemmenspannung U_{X21} des zweipoligen Subsystems 76 gleich der Spannung U_C am Speicherkondensator 86. Im normalen, störungsfreien Betrieb werden nur diese beiden Schaltzustände I und II genutzt. Im

Schaltzustand III sind beide abschaltbaren Halbleiterschalter 78 und 80 ausgeschaltet.

In der Figur 8 ist eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Windenergieanlage 4 eines Windenergieparks 2 näher dargestellt. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform gemäß Figur 4 dadurch, dass für alle Windenergieanlagen 4 dieses Windenergieparks 2 ein netzseitiger Stromrichter 88 mit wechsellspannungsseitigem Transformator 26 vorgesehen ist, der in der netzseitigen Stromrichterstation 48 im Umspannwerk 50 eines regionalen Versorgungsnetzes 6 angeordnet ist. Das heißt, dass die netzseitigen Stromrichter 22 der Windenergieanlagen 4 eines Windenergieparks 2 in diesem netzseitigen Stromrichter 88 der Stromrichterstation 48 vereint sind. Dadurch sind die Windenergieanlagen 4 des Windenergieparks 2 nicht mehr wechsellspannungsseitig mit der Windenergiepark-Einspeisestelle 8, sondern gleichspannungsseitig mit einer Windenergiepark-Einspeisestelle 90 verkoppelt. Somit ist jedes Gleichstromkabel 70 einer jeden Windenergieanlage 4 mittels der Windenergiepark-Einspeisestelle 90 mittels eines weiteren Gleichstromkabels 92 mit der netzseitigen Stromrichterstation 48 verknüpft. Dieses Gleichstromkabel 92 kann mehrere 100km lang sein. Das heißt, dass die Errichtung eines Windenergieparks 2 nicht mehr vom Ort einer Netzeinspeisestelle abhängig ist. Allein die Windverhältnisse sind ausschlaggebend. Außerdem kann mittels des Gleichstromkabels 92 ein Offshore-Windpark an ein regionales Versorgungsnetz an Land angebunden werden.

In der Figur 9 ist eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Windenergieanlage 4 eines Windenergieparks 2 näher dargestellt. Diese dritte Ausführungsform unterscheidet sich von der zweiten Ausführungsform gemäß Figur 8 dadurch, dass der generatorseitige Stromrichter 20 einer jeden Windenergieanlage 4 dieses Windenergieparks 2 von der Gondel 12 in den Fußraum des zugehörigen Turms 14 verlegt worden ist. Dadurch beheimatet die Gondel 12 einer jeden Windenergieanlage 4 des Windenergieparks 2 nur noch den Generator 16 und ge-

gegebenfalls ein Getriebe, auf das ebenfalls verzichtet werden kann, wenn als Generator 16 ein permanenterregter Synchrongenerator verwendet wird. Dadurch reduziert sich das Gewicht der Gondel 12 einer Windenergieanlage 4 erheblich. Mit
5 der Gewichtsreduzierung der Gondel 12 vereinfacht sich ebenfalls die Konstruktion seines Turms 14, auf dem die Gondel 12 drehbar gelagert ist. Somit reduzieren sich die Kosten einer Windenergieanlage 4 und damit die eines Windenergieparks 2, der mit diesen Windenergieanlagen 4 aufgebaut ist.

10

Durch die Verwendung eines Stromrichters 70 mit verteilten Energiespeichern jeweils als netzseitiger Stromrichter 22 einer jeden Windenergieanlage 4 bzw. auch als generatorseitiger Stromrichter 20 einer solchen Windenergieanlage 4 oder als
15 netzseitiger Stromrichter 88 einer netzseitigen Stromrichterstation 48 eines Windenergieparks 2 erhält man ein Gleichstrom-Konzept, das gegenüber den bekannten Gleichstrom-Konzepten einen flexibleren Aufbau aufweist, wodurch dieses sich an die Wünsche der Betreiber eines Windenergieparks 2
20 einfacher anpassen lässt. Außerdem verringern sich die Kosten eines derartigen Windenergieparks 2 erheblich. Ferner kann eine längere Distanz zwischen Windenergiepark 2 und einem Umspannwerk 50 eines regionalen Versorgungsnetzes 6 vorgesehen sein, wodurch die Wahl eines Aufstellortes eines Windenergie-
25 parks 2 nur von einer stochastischen Windverteilung abhängig ist.

Patentansprüche

1. Windenergieanlage (4), bestehend aus einer auf einem Turm (14) angeordneten Gondel (12), mit einem Rotor (28), einem
5 Generator (16), einem generatorseitigen Stromrichter (20),
einem netzseitigen Stromrichter (22) und einem Transformator (26), wobei diese beiden Stromrichter (20, 22) gleichspannungsseitig elektrisch miteinander verbunden sind, und wobei
10 der netzseitige Stromrichter (22) wechsellspannungsseitig mittels des Transformators (26) mit einer Einspeisestelle (8) eines energieaufnehmenden Netzes (6) verknüpft ist,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass jedes Phasenmodul (74) des netzseitigen Stromrichters (22) einen oberen und unteren wenigstens zwei elektrisch in Reihe geschaltete
15 zweipolige Subsysteme (76) aufweisenden Ventilzweig (T1, T3, T5; T2, T4, T6) aufweist, und
dass der generatorseitige Stromrichter (20) und der netzseitige Stromrichter (22) gleichspannungsseitig mittels eines Gleichstromkabels (72) miteinander verknüpft sind.
20
2. Windenergieanlage (4) nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass als generatorseitiger Stromrichter (20) ein Diodengleichrichter vorgesehen ist.
25
3. Windenergieanlage (4) nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass jedes Phasenmodul (74) des generatorseitigen Stromrichters (20) einen
oberen und unteren wenigstens zwei elektrisch in Reihe geschaltete zweipolige Subsysteme (76) aufweisenden Ventilzweig
30 (T1, T3, T5; T2, T4, T6) aufweist.
4. Windenergieanlage (4) nach einem der vorgenannten Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass jedes
35 zweipolige Subsystem (76) zwei elektrisch in Reihe geschaltete abschaltbare Halbleiterschalter (78, 80) und einen Speicherkondensator (86) aufweist, wobei diese Reihenschaltung elektrisch parallel zum Speicherkondensator (86) geschaltet

ist, wobei ein Verbindungspunkt der beiden abschaltbaren Halbleiterschalter (78, 80) eine Anschlussklemme (X2, X1) des zweipoligen Subsystems (76) bildet und wobei ein Pol des Speicherkondensators (86) eine weitere Anschlussklemme (X1, X2) dieses zweipoligen Subsystems (76) bildet.

5
10
15
20
25
30
35

5. Windenergieanlage (4) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass als abschaltbarer Halbleiterschalter (78, 80) ein Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) vorgesehen ist.

6. Windenergieanlage (4) nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der netzseitige Stromrichter (22) mit wechsellspannungsseitigem Transformator (26) im Turm (14) der Windenergieanlage (4) angeordnet sind.

7. Windenergieanlage (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der generatorseitige Stromrichter (20) mit dem wechsellspannungsseitigen Generator (16) in der Gondel (12) der Windenergieanlage (4) angeordnet sind.

8. Windenergiepark (2) mit wenigstens zwei Windenergieanlagen (4), die jeweils einen Rotor (28), einen Generator (16), einen generatorseitigen Stromrichter (20) aufweisen, und mit einer netzseitigen Stromrichterstation (48), die einen selbstgeführten Stromrichter (88) mit einem wechsellspannungsseitig nachgeschalteten Transformator (26) aufweist, wobei diese Windenergieanlagen (4) und die netzseitige Stromrichterstation (48) gleichspannungsseitig miteinander verknüpft sind, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Phasenmodul (76) des selbstgeführten Stromrichters (88) der netzseitigen Stromrichterstation (48) einen oberen und unteren wenigstens zwei elektrisch in Reihe geschaltete zweipolige Subsysteme (76) aufweisenden Ventilzweig (T1, T3, T5; T2, T4, T6) aufweist, und dass der generatorseitige Stromrichter (20) und der selbstgeführte Stromrichter (88) der

netzseitigen Stromrichterstation (48) mittels Gleichstromkabel (72, 92) miteinander verknüpft sind.

9. Windenergiepark (2) nach Anspruch 8,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass als generatorseitiger Stromrichter (22) einer jeden Windenergieanlage (4) jeweils ein Diodengleichrichter vorgesehen ist.

10. Windenergiepark (2) nach Anspruch 8,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass jedes Phasenmodul (76) eines generatorseitigen Stromrichters (20) einer jeden Windenergieanlage (4) einen oberen und unteren wenigstens zwei elektrisch in Reihe geschaltete zweipolige Subsysteme (76) aufweisenden Ventilzweig (T1, T3, T5; T2, T4,
15 T6) aufweist.

11. Windenergiepark (2) nach einem der Ansprüche 8 bis 10,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass jedes zweipolige Subsystem (76) zwei elektrisch in Reihe geschaltete
20 abschaltbare Halbleiterschalter (78, 80) und einen Speicherkondensator (86) aufweist, wobei diese Reihenschaltung elektrisch parallel zum Speicherkondensator (86) geschaltet ist, wobei ein Verbindungspunkt der beiden abschaltbaren Halbleiterschalter (78, 80) eine Anschlussklemme (X2, X1) des zweipoligen Subsystems (76) bildet und wobei ein Pol des Speicherkondensators (86) eine weitere Anschlussklemme (X1, X2)
25 dieses zweipoligen Subsystems (76) bildet.

12. Windenergiepark (2) nach Anspruch 11,

30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass als abschaltbarer Halbleiterschalter (78, 80) ein Insulated Gate Bipolar Transistor vorgesehen ist.

13. Windenergiepark (2) nach einem der Ansprüche 8 bis 12,

35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass ein generatorseitiger Stromrichter (20) einer jeden Windenergieanlage (4) zusammen mit einem korrespondierenden wechsellspannungs-

seitigen Generator (16) jeweils in einer Gondel (12) einer Windenergieanlage (4) angeordnet sind.

14. Windenergiepark (2) nach einem der Ansprüche 8 bis 12,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass ein genera-
torseitiger Stromrichter (20) einer jeden Windenergieanlage
(4) jeweils im Turm (14) einer Windenergieanlage (4) angeord-
net ist , wogegen ein Generator (16) einer jeden Windenergie-
anlage (4) jeweils in einer Gondel (12) einer Windenergiean-
10 lage (4) angeordnet ist.

FIG 1

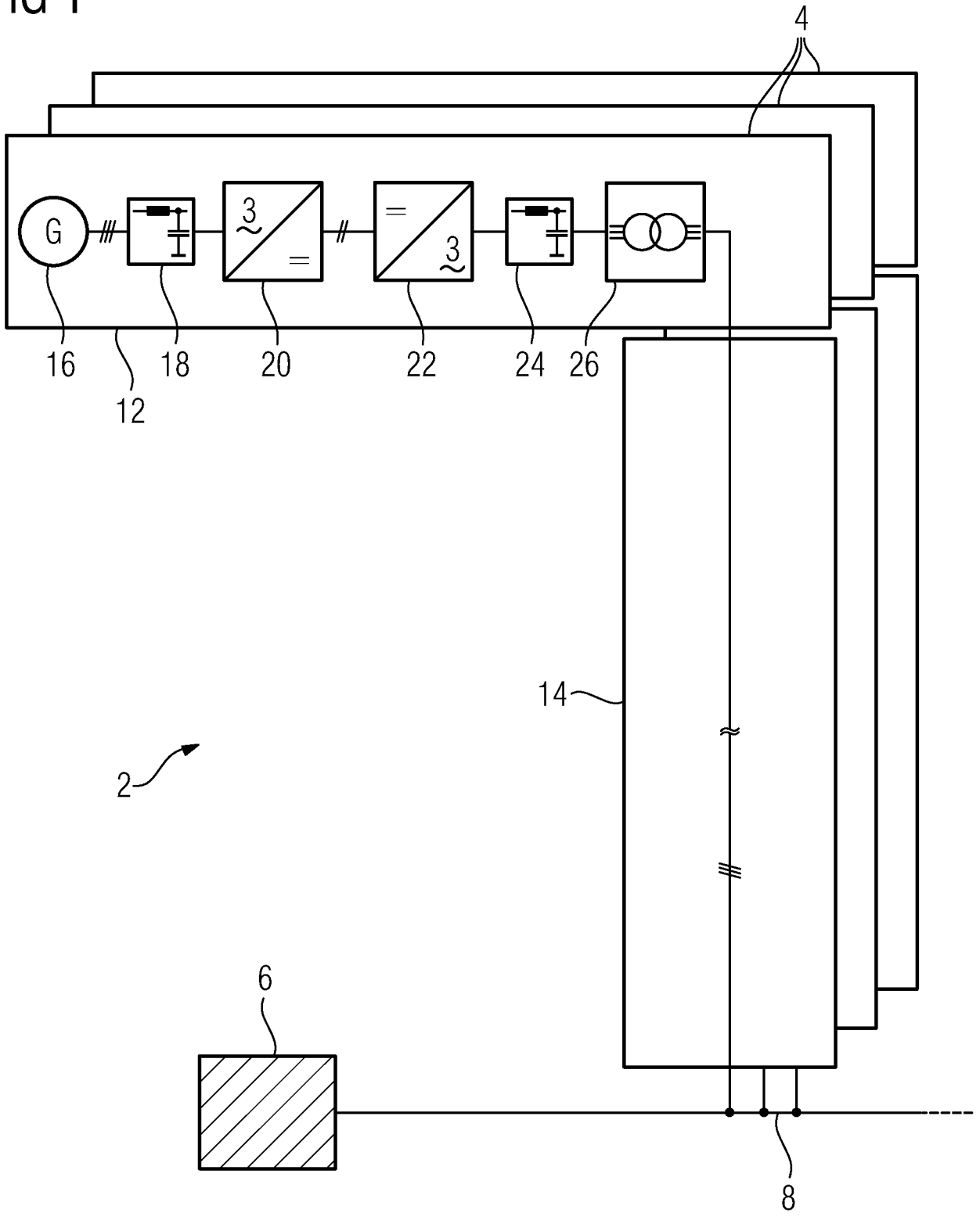


FIG 2

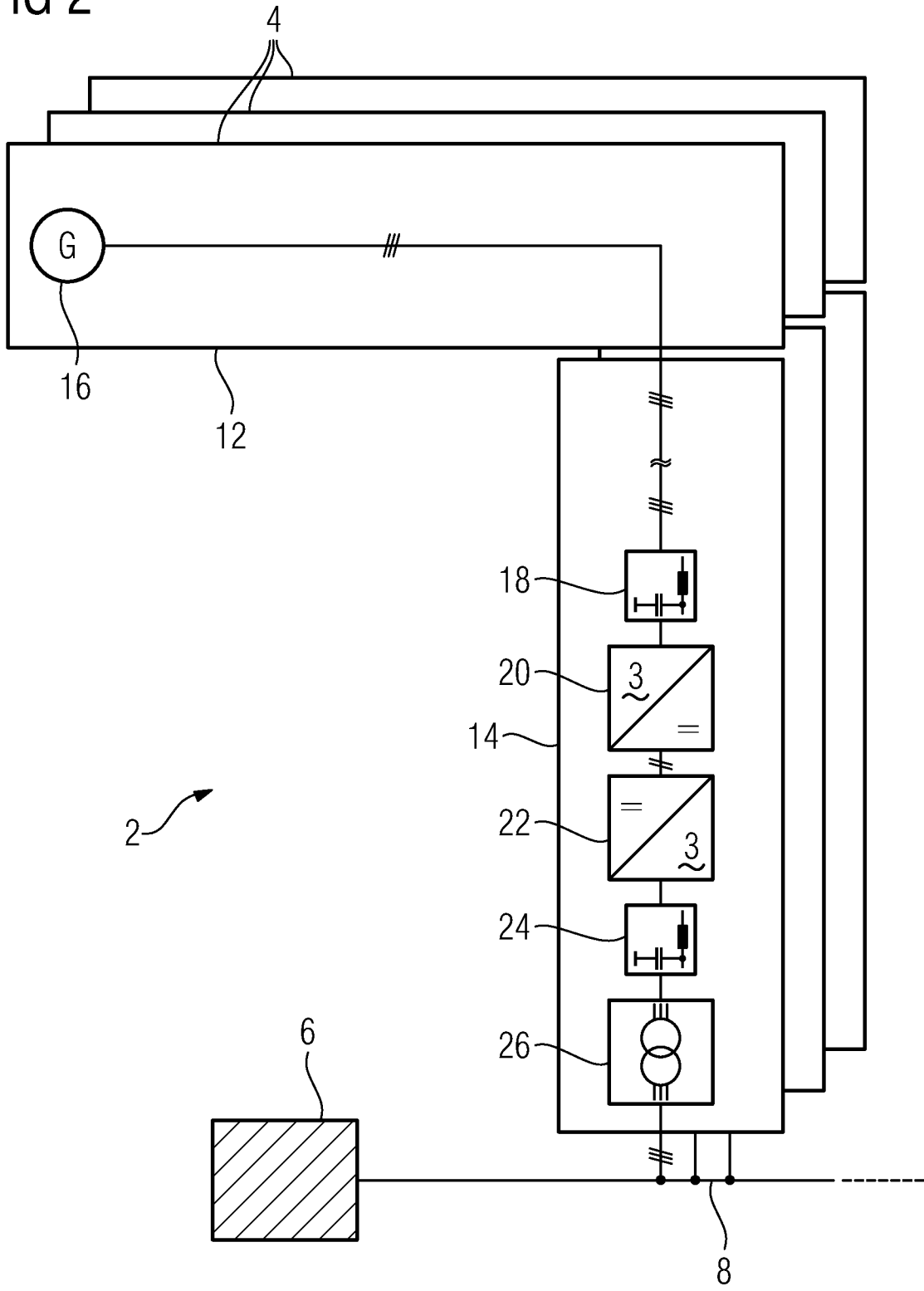


FIG 3

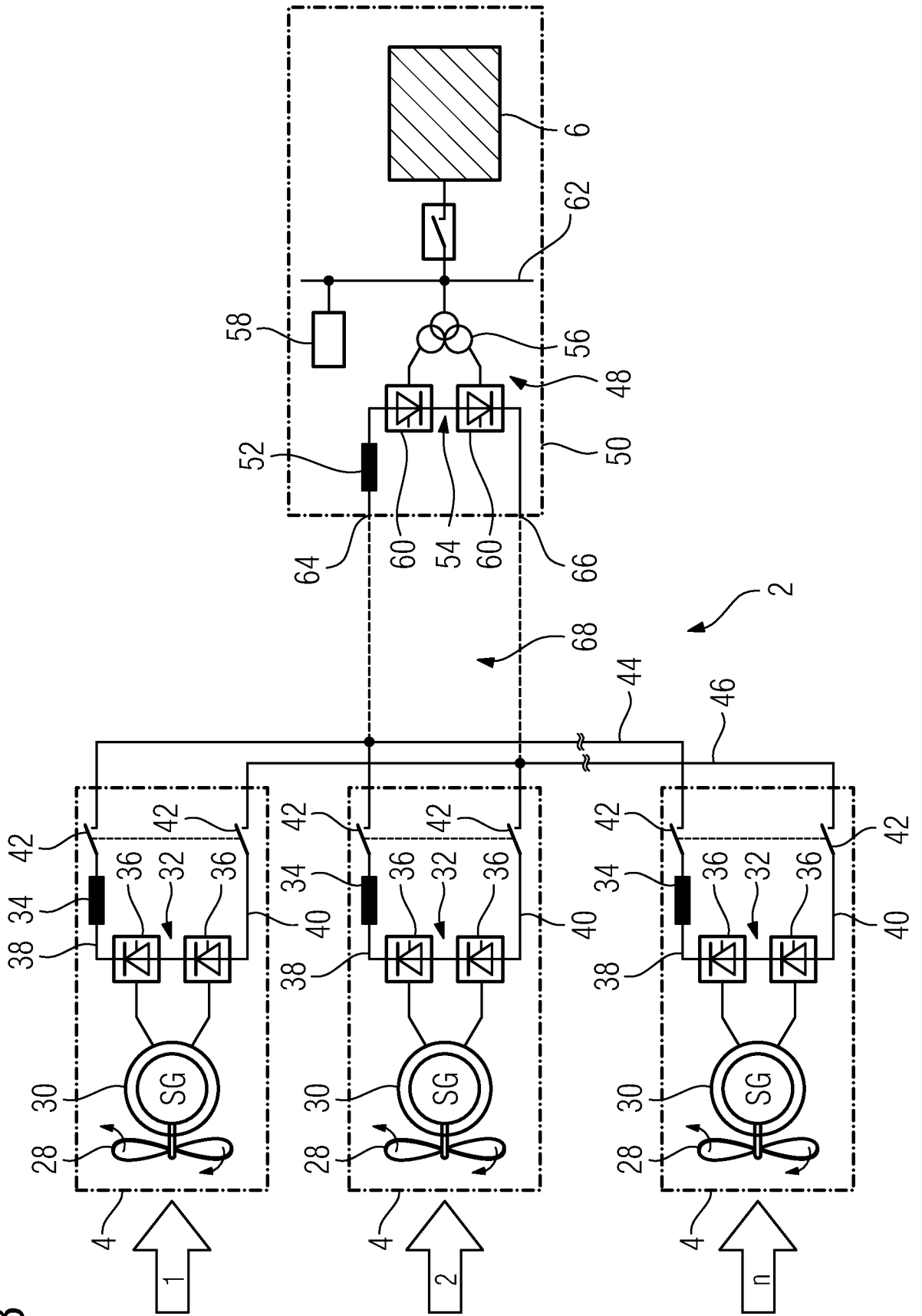


FIG 4

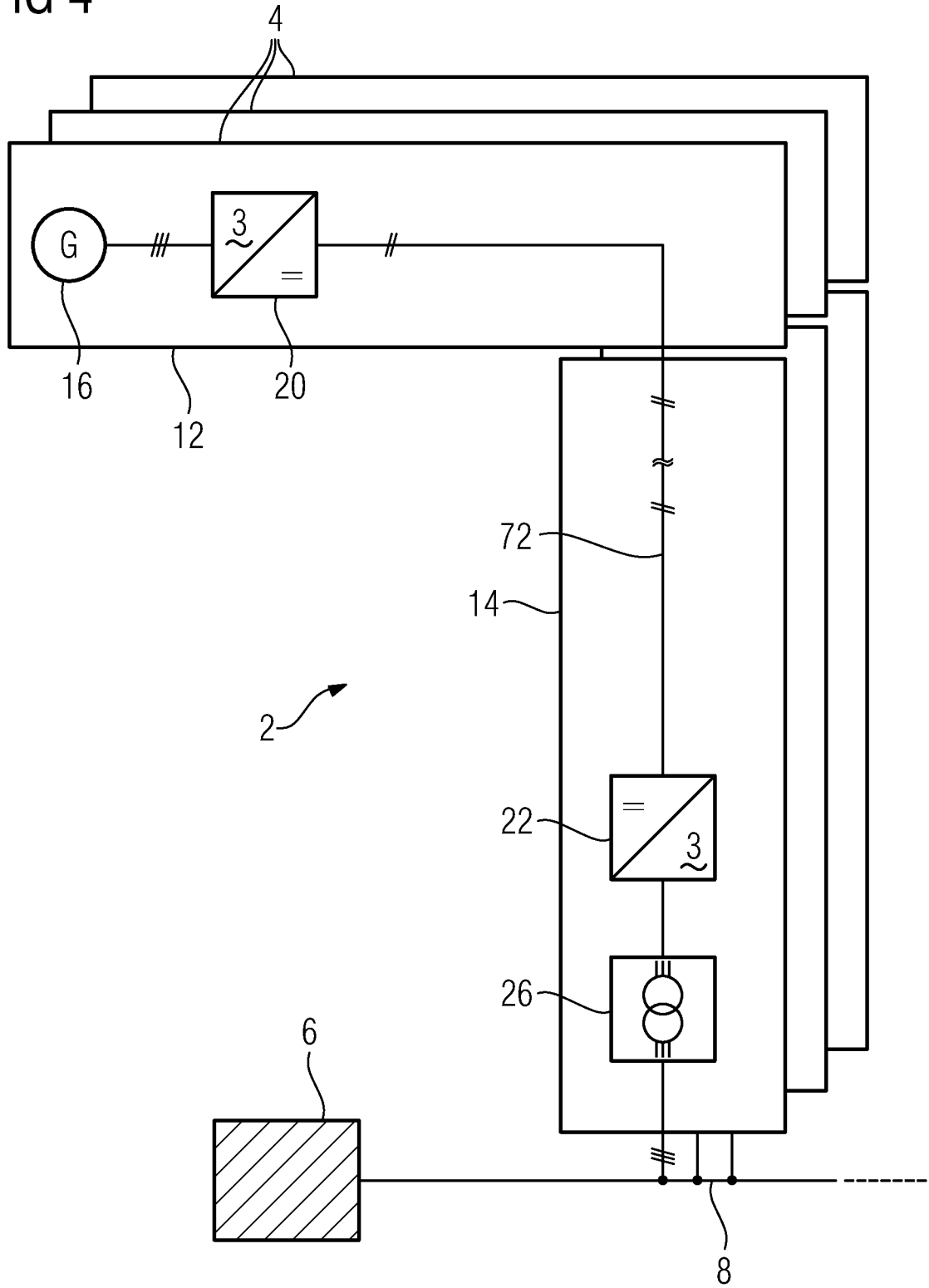


FIG 5

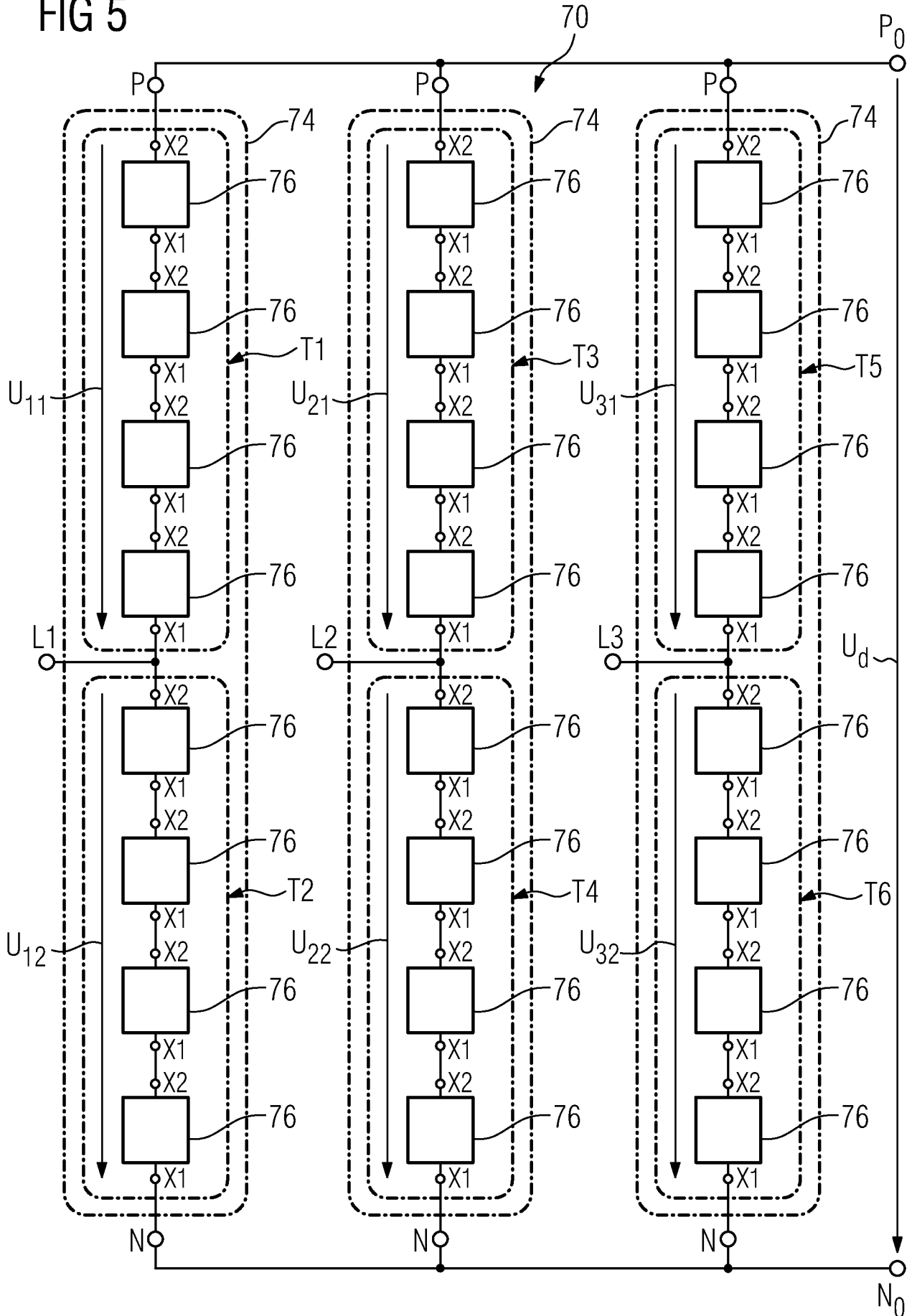


FIG 6

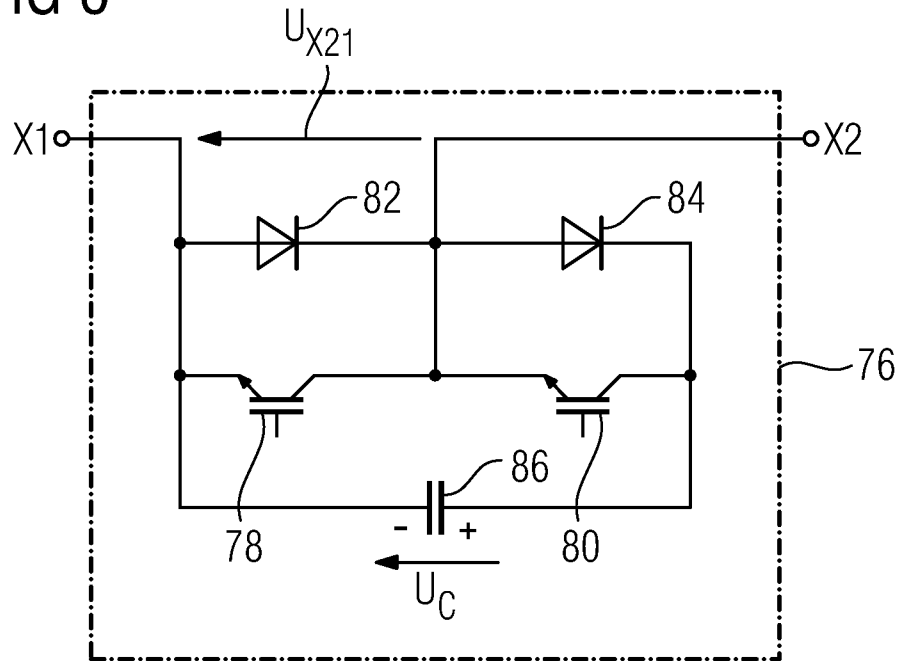


FIG 7

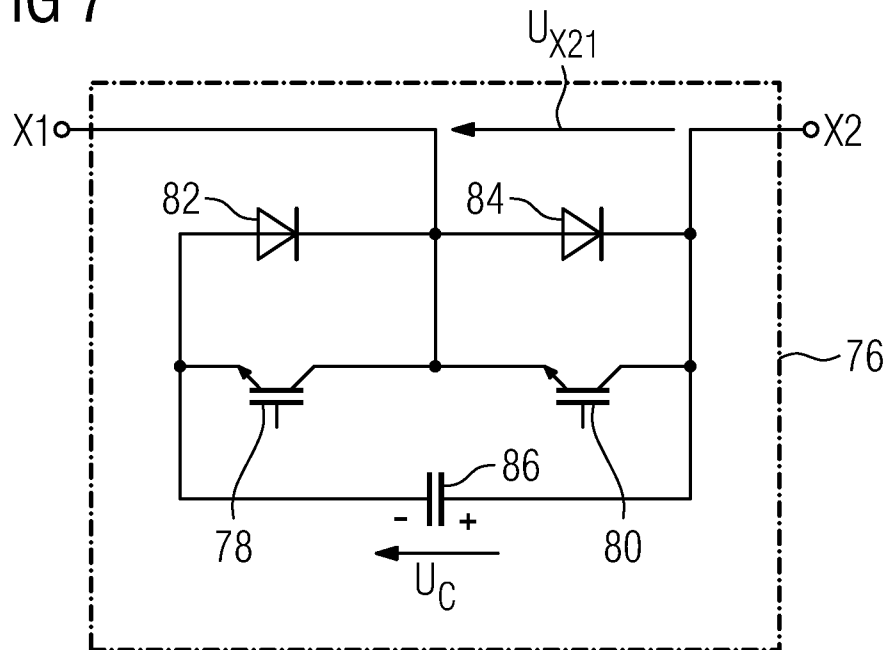


FIG 8

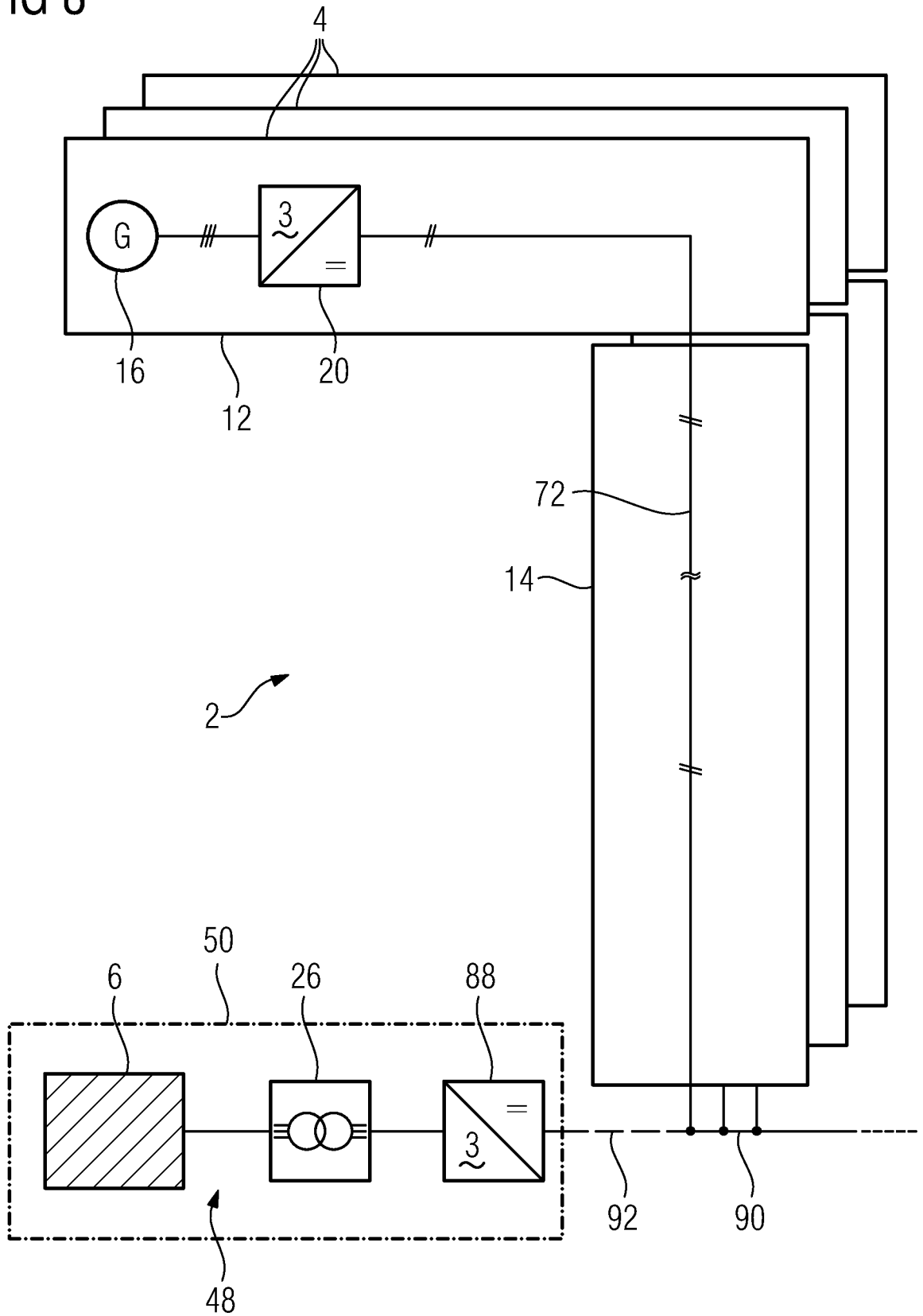


FIG 9

