(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. Februar 2013 (14.02.2013)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/020148 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2012/000195

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Juli 2012 (26.07.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A1165/2011 11. August 2011 (11.08.2011) AT

(72) Erfinder; und
(71) Anmelder : **HEHENBERGER, Gerald** [AT/AT]; Kinkstrasse 30, A-9020 Klagenfurt (AT).

(74) Anwälte: **BEER, Manfred** et al.; Lindengasse 8, A-1070 Wien (AT).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

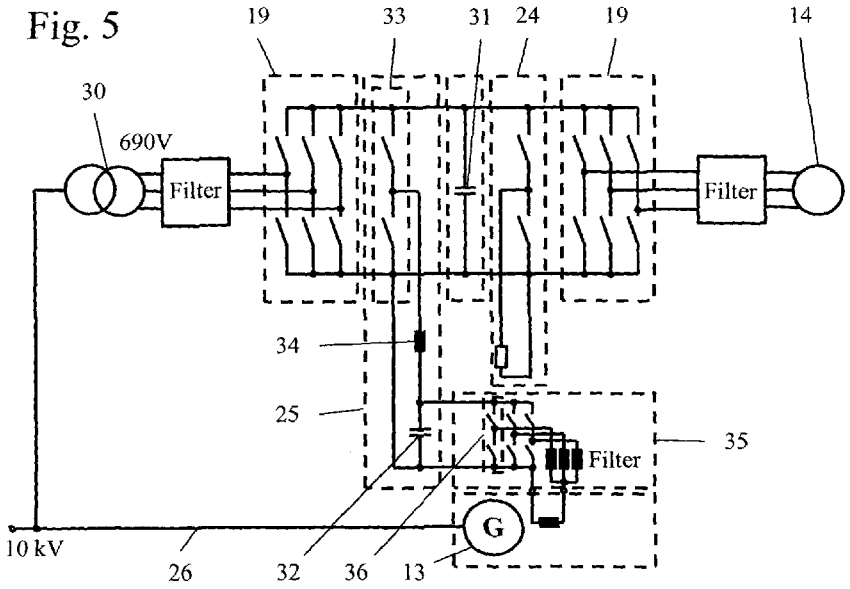
Veröffentlicht:

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

(54) Title: ENERGY GENERATION PLANT, IN PARTICULAR A WIND POWER PLANT

(54) Bezeichnung : ENERGIEGEWINNUNGSANLAGE, INSBESONDERE WINDKRAFTANLAGE

Fig. 5



(57) Abstract: The invention relates to an energy generation plant, in particular a wind power plant, comprising an input shaft connected to a rotor (1), a generator (13) connected to a network (9), a differential gear (10 to 12) by which a drive is connected to an electrical differential drive (18), and an electrical energy store (32), wherein the generator (13) comprises an excitation controller (35) and wherein the differential drive (18) is connected to a frequency converter (19). Both the excitation controller (35, 37) and the frequency converter (19) of the differential drive (14) are connected to the energy store (32).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/020148 A2

Eine Energiegewinnungsanlage, insbesondere Windkraftanlage, weist eine mit einem Rotor (1) verbundenen Antriebswelle, einen mit einem Netz (9) verbundenen Generator (13), ein Differenzialgetriebe (10 bis 12), von dem ein Antrieb mit einem elektrischen Differenzial-Antrieb (18) verbunden ist, und einen elektrischen Energiespeicher (32) auf, wobei der Generator (13) eine Erregerregelung (35) aufweist und wobei der Differenzial-Antrieb (18) mit einem Frequenzumrichter (19) verbunden ist. Sowohl die Erregerregelung (35, 37) als auch der Frequenzumrichter (19) des Differential -Antriebs (14) sind mit dem Energiespeicher (32) verbunden.

Energiegewinnungsanlage, insbesondere Windkraftanlage

Die Erfindung betrifft eine Energiegewinnungsanlage, insbesondere Windkraftanlage, mit einer mit einem Rotor verbundenen Antriebswelle, einem mit einem Netz verbundenen Generator, einem Differenzialgetriebe, von dem ein Antrieb mit einem elektrischen Differenzial-Antrieb verbunden ist, und mit einem elektrischen Energiespeicher, wobei der Generator eine Erregerregelung aufweist und wobei der Differenzial-Antrieb mit einem Frequenzumrichter verbunden ist.

Windkraftwerke gewinnen zunehmend an Bedeutung als Energiegewinnungsanlagen. Dadurch erhöht sich kontinuierlich der prozentuale Anteil der Stromerzeugung durch Wind. Dies wiederum bedingt einerseits neue Standards bezüglich Stromqualität und andererseits einen Trend zu noch größeren Windkraftanlagen. Gleichzeitig ist ein Trend Richtung Off-shore-Windkraftanlagen erkennbar, welcher Anlagengrößen von zumindest 5MW installierter Leistung fordert. Durch die erwähnten höheren Anforderungen an die Stromqualität gewinnen hier hochdynamische bzw. auch bei Netzfehlern regelbare Anlagen eine besondere Bedeutung.

Allen Anlagen gemeinsam ist die Notwendigkeit einer variablen Rotordrehzahl, einerseits zur Erhöhung des aerodynamischen Wirkungsgrades im Teillastbereich und andererseits zur Regelung des Drehmomentes im Antriebsstrang der Windkraftanlage. Letzteres zum Zweck der Drehzahlregelung des Rotors in Kombination mit der Rotorblattverstellung.

Derzeit sind daher Windkraftanlagen im Einsatz, welche diese Forderung durch Einsatz von drehzahlvariablen Generator-Lösungen zunehmend in der Form von sogenannten permanentmagneterregten Niederspannungs-Synchrongeneratoren in Kombination mit IGBT-Frequenzumrichtern erfüllen. Diese Lösung hat jedoch den Nachteil, dass (a) die Windkraftanlagen nur mittels Transformatoren an das Mittelspannungsnetz anschließbar sind und (b) die für die variable Drehzahl notwendigen Frequenzumrichter sehr leistungsstark und daher eine Quelle für Wirkungsgradverluste sind. Alternativ werden daher

auch sogenannte Differenzialantriebe eingesetzt, welche direkt an das Mittelspannungsnetz angeschlossene fremderregte Mittelspannungs-Synchrongeneratoren in Kombination mit einem Differenzialgetriebe und einem Hilfsantrieb, welcher vorzugsweise eine permanentmagneterregte Synchronmaschine in Kombination mit einem IGBT-Frequenzumrichter kleiner Leistung vorsieht, verwenden.

Die WO 2010/121783 A zeigt ein Differenzialsystem mit einem elektrischen Servoantrieb mit einer permanentmagneterregten Synchronmaschine in Kombination mit einem IGBT-Frequenzumrichter.

Die Erregung fremderregter Mittelspannungs-Synchrongeneratoren erfolgt beispielsweise mittels einer sogenannten statischen Erregung, welche im Wesentlichen die Rotorwicklung des Synchrongenerators über einen Schleifring mit geregeltem Erregerstrom versorgt (Fig. 5). Alternativ werden sogenannte bürstenlose Erregereinrichtungen eingesetzt, welche eine meist am vom Antrieb abgewandten Ende des Synchrongenerators angeordnete Erregermaschine mit rotierendem Dioden-Gleichrichter haben (Fig. 6). Die Erregermaschine wird ebenfalls mit geregeltem Erregerstrom versorgt, welche jedoch im Vergleich zur erstgenannten Lösung mit wesentlich geringeren Stromstärken das Auslangen findet. Die Regelung der Erregereinrichtung hat im Wesentlichen die Aufgaben (a) die Amplitude der Spannung an den Generatorklemmen konstant auf einen vorgegebenen Wert zu regeln, (b) den vorgegebenen Leistungsfaktor (cos-phi) einzustellen und (c) die Erregerwicklung vor Überlastung zu schützen.

Die neuen Standards für die Netzeinspeisung von Energiegewinnungsanlagen, insbesondere Windkraftanlagen, machen es erforderlich, dass bei auftretenden Netzfehlern die Regelbarkeit sowohl des Differenzial-Antriebes als auch der Erregerregelung während der gesamten Dauer des Netzfehlers aufrecht erhalten bleibt. Dazu sind Erregerregelungen gemäß Stand der Technik nur dann in der Lage, wenn sie mit einer aufwändigen USV-Anlage ausgestattet sind.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde entsprechende Vorkehrungen zu treffen, damit bei möglichst geringem Aufwand die volle Funktion von Differenzial-Antrieb und Erregerregelung aufrecht

erhalten bleibt.

Gelöst wird diese Aufgabe mit einer Energiegewinnungsanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die angeschlossenen Zeichnungen detailliert beschrieben. Es zeigt

Fig. 1 das Prinzip eines Differenzialgetriebes mit einem elektrischen Differenzial-Antrieb gemäß Stand der Technik,

Fig. 2 das Prinzip einer statischen Erregerregelung gemäß Stand der Technik,

Fig. 3 eine mögliche Notstromversorgung eines Differenzial-Antriebes,

Fig. 4 beispielhaft den Verlauf der Blindstromabgabe eines fremderregten Synchrongenerators während eines Netzfehlers, mit und ohne Notstromversorgung für die Erregerregelung,

Fig. 5 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Konfiguration der Notstromversorgung für die Erregerregelung und

Fig. 6 eine alternative Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Konfiguration der Notstromversorgung für die Erregerregelung.

Die Leistung des Rotors einer Windkraftanlage errechnet sich aus der Formel

$$\text{Rotor-Leistung} = \text{Rotorfläche} * \text{Leistungsbeiwert} * \text{Windgeschwindigkeit}^3 * \text{Luftdichte}/2$$

wobei der Leistungsbeiwert abhängig von der Schnelllaufzahl (= Verhältnis Blattspitzen-Geschwindigkeit zu Windgeschwindigkeit) des Rotors der Windkraftanlage ist. Der Rotor einer Windkraftanlage ist für einen optimalen Leistungsbeiwert basierend auf einer im Zuge der

Entwicklung festzulegenden Schnelllaufzahl (meist ein Wert zw. 7 und 9) ausgelegt. Aus diesem Grund ist beim Betrieb der Windkraftanlage im Teillastbereich eine entsprechend kleine Drehzahl einzustellen, um einen optimalen aerodynamischen Wirkungsgrad zu gewährleisten.

Fig. 1 zeigt ein mögliches Prinzip eines Differenzialsystems für eine drehzahlvariable Windkraftanlage. Ein Rotor 1 der Windkraftanlage, der auf einer Antriebswelle 2 für ein Hauptgetriebe 3 sitzt, treibt das Hauptgetriebe 3 an. Zwischen dem Hauptgetriebe 3 und dem Generator 13 befindet sich eine Differenzialstufe 4, welche vom Hauptgetriebe 3 über einen Planetenträger 10 der Differenzialstufe 4 angetrieben wird. Der Generator 13 - vorzugsweise ein fremderregter Mittelspannungs-Synchrongenerator - ist mit einem Hohlrad 11 der Differenzialstufe 4 verbunden und wird von diesem angetrieben. Ein Ritzel 12 der Differenzialstufe 4 ist mit einem Differenzial-Antrieb 14 verbunden. Die Drehzahl des Differenzial-Antriebes 14 wird geregelt, um einerseits bei variabler Drehzahl des Rotors 1 eine konstante Drehzahl des Generators 13 zu gewährleisten und andererseits das Drehmoment im Triebstrang der Windkraftanlage zu regeln. Um die Eingangsdrehzahl für den Differenzial-Antrieb 14 zu erhöhen wird im gezeigten Fall ein 2-stufiges Differenzialgetriebe gewählt, welches eine Anpassungs-Getriebestufe 15 in Form einer Stirnradstufe zwischen der Differenzialstufe 4 und dem Differenzial-Antrieb 14 vorsieht. Die Differenzialstufe 4 und die Anpassungs-Getriebestufe 15 bilden somit das 2-stufige Differenzialgetriebe. Der Differenzial-Antrieb 14 ist eine Drehstrommaschine, welche über einen Frequenzumrichter 16 und einen Transformator 17 an das Mittelspannungsnetz 9 angeschlossen wird.

Die Leistung des Differenzial-Antriebes 14 ist im Wesentlichen proportional dem Produkt aus prozentueller Abweichung der Rotordrehzahl von dessen Grunddrehzahl (meist als Schlupf bezeichnet) mal Rotor-Leistung. Dementsprechend erfordert ein großer Drehzahlbereich grundsätzlich eine entsprechend große Dimensionierung des Differenzial-Antriebes 14. Das heißt, je kleiner der notwendige Drehzahlbereich an der Antriebswelle ist, desto kleiner kann der erforderliche Differenzial-Antrieb und demzufolge auch der Aufwand für dessen Herstellung und Betrieb sein. Strömungsmaschinen jeglicher Art

wie z.B. Windkraftanlagen, Wasserturbinen bzw. -pumpen, Anlagen zur Gewinnung von Energie aus Meeresströmungen, bzw. jede Art von Industrieanlagen, welche mit eingeschränktem Drehzahlbereich arbeiten, sind daher die idealen Einsatzgebiete für Differenzialsysteme.

Fig. 2 zeigt das Prinzip einer statischen Erregereinrichtung mit folgenden wesentlichen Komponenten: unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (USV), Erregertransformator zur Anpassung des Spannungsniveaus (T), gesteuerter Gleichrichter (GR), Entregungs-Einrichtung (EE), Erregerwicklung (EW) und Erregerregelung (ER). Die Komponenten USV und Entregungs-Einrichtung (EE) sind optional und nur dann erforderlich, wenn bei Netzfehlern eine gleichmäßige Regeldynamik gefordert ist.

Fig. 3 zeigt einen möglichen grundsätzlichen Aufbau des elektrischen Teils eines Differenzial-Systems gemäß Fig. 1. Mit der Drehstrommaschine 14 sind zwei sogenannte Frequenzumrichter-Endstufe 22 verbunden. Diese bestehen im Wesentlichen aus einer gesteuerten IGBT-Vollbrücke 19, einem Controller, Zwischenkreis-Kondensatoren 20, einer Strommessung und Gleichstromsicherungen 21. Die Kühlung insbesondere der IGBTs 19 ist vorzugsweise eine Wasserkühlung, kann aber auch als Luftkühlung ausführt werden.

Der Gleichspannungszwischenkreis 23 ist das Verbindungsglied für die einzelnen Frequenzumrichter-Endstufen 22. Zum Schutz des Frequenzumrichters gegen Überspannung wird hier vorzugsweise auch ein sogenannter Brems-Chopper 24 mit Widerständen angeschlossen. Dieser Brems-Chopper 24 kann bei z.B. Netzausfall auch überschüssige Energie in Wärme umwandeln.

Darüber hinaus wird für Energiegewinnungsanlagen mit Differenzialsystemen auch eine Notstromversorgung 25 eingesetzt. Diese Notstromversorgung 25 besteht vorzugsweise im Wesentlichen aus an den Gleichspannungszwischenkreis 23 angeschlossenen Hochleistungskondensatoren. Um das Spannungsniveau bzw. die Betriebsspannung dieser Hochleistungskondensatoren optimal bzw. flexibel zu gestalten, können diese über DC/DC-Wandler an den Gleichspannungszwischenkreis 23 angeschlossen werden.

Abhängig von der Betriebsführung der Energiegewinnungsanlage kann die Notstromversorgung 25 unter Umständen auch die Funktion des Brems-Choppers 24 ganz oder teilweise übernehmen. Zwischen dem Gleichspannungszwischenkreis 23 und dem Netz 26 werden vorzugsweise die gleichen Frequenzumrichter-Endstufen 22 eingesetzt.

Im Falle eines Differenzial-Systems gem. Fig. 1 arbeitet dieses sowohl generatorisch als auch motorisch. Das heißt, im motorischen Betrieb arbeitet die maschinenseitige Frequenzumrichter-Endstufe 22 als Wechselrichter zur Drehzahl/Drehmoment-Regelung und die netzseitige Frequenzumrichter-Endstufe 22 als Gleichrichtermodul. Im generatorischen Betrieb arbeitet die maschinenseitige Frequenzumrichter-Endstufe 22 als gesteuerter Gleichrichtermodul und die netzseitige Frequenzumrichter-Endstufe 22 als sogenanntes aktives Netzeinspeisemodul (Wechselrichter).

Damit die netzseitige Frequenzumrichter-Endstufe 22 die vom Netzbetreiber geforderten Stromqualitätskriterien erfüllen, ist ein sogenannter LCL-Filter 27 vorzusehen. Dazu kommen noch Sicherungen 28, Leistungsschalter 29 und ein Netztransformator 30, welcher die vorzugsweise Niederspannung des Differenzial-Antriebes an die Spannung des Netzes 26 anpasst.

Um die Belastung der Drehstrommaschine 14 möglichst gering zu halten, werden die IGBT-Vollbrücken 19 motorseitig vorzugsweise mit 4kHz getaktet, netzseitig kann, abhängig von der Auslegung des LCL-Filters 27, eine andere Taktfrequenz gewählt werden. Da mit höher werdender Taktfrequenz auch die Verluste in den IGBT-Vollbrücken 19 steigen bzw. die zulässige Strombelastung der IGBT-Vollbrücken 19 niedriger wird, kann abhängig vom Betriebspunkt des Differenzial-Systems die Taktfrequenz auf einen für die Auslastung des Systems optimalen Wert eingestellt werden bzw. die Taktfrequenz während des Betriebes entsprechend variiert werden.

Fig. 4 zeigt den Verlauf der Blindstromabgabe eines fremderregten Synchrongenerators während eines Netzfehlers, mit (durchgängige Linie) und ohne (strichlierte Linie) Notstromversorgung für die

Erregerregelung. Dabei wird ein schneller Einbruch der Netzspannung von 100% auf 10% angenommen. Die Netzspannung bleibt dann für 1s auf diesem Niveau und geht im Anschluss daran auf den ursprünglichen Ausgangswert zurück. Üblicherweise verlangen die Einspeisevorschriften (Gridcodes), dass während eines Netzspannungseinbruches die Energieerzeugungsanlagen zumindest den Nennstrom als Blindstrom ins Netz einspeisen. Fig. 4 zeigt, dass man ohne Notstromversorgung für die Erregung die Gridcodes nicht erfüllen kann, da es nach ca. 200ms nicht mehr möglich ist, Blindstrom in das Netz abzugeben (strichlierte Linie). Genau das ist aber wichtig um das Netz zu stützen.

Ein weiterer Vorteil ist, dass der Generator leichter auf Nenndrehzahl gehalten werden kann wenn die Erregung eingeschaltet bleibt.

Darüber hinaus kann während dieses Spannungseinbruches der vom Generator 13 abgegebene Blindstrom nicht geregelt werden, bzw. stellt sich der Blindstrom abhängig von Netzspannungseinbruch-Dauer und -Größe entsprechend den Auslegungsparametern des Synchrongenerators ein. Dadurch kann man nicht allfällige, hiervon abweichende Anforderungen erfüllen.

Fig. 5 und Fig. 6 zeigen erfindungsgemäße Ausführungsformen der unterbrechungsfreien Notstromversorgung 25 für den Frequenzumrichter 19 des Differenzial-Antriebes 14, der vorzugsweise ein Niederspannungs-Frequenzumrichter ist, und einer Erregereinrichtung 35 des Generators 13. Wie schon in Verbindung mit Fig. 3 beschrieben sind auch hier IGBT-Vollbrücken 19 mit der Drehstrommaschine 14 bzw. über den Transformator 30 mit dem Mittelspannungsnetz 26 verbunden. Der Gleichspannungszwischenkreis 23 ist das Verbindungsglied für die einzelnen IGBT-Vollbrücken 19. Die in den Gleichspannungszwischenkreis geschalteten Kondensatoren 31 sind vorzugsweise Folienkondensatoren und dienen vor allem zum Glätten der Zwischenkreisspannung bzw. des Rippelstromes. Zum Schutz des Frequenzumrichters gegen Überspannung wird auch hier vorzugsweise ein über eine IGBT-Halbbrücke angesteuerter sogenannter Brems-Chopper 24 mit Widerständen angeschlossen. Dieser Brems-Chopper 24 hat die Aufgabe allfällige im Gleichspannungszwischenkreis 23 auftretende Spannungsspitzen abzusaugen und dadurch eine Systemabschaltung wegen Überspannung zu

vermeiden. Um bei z.B. Netzfehlern die Energieversorgung des Frequenzumrichters 19 sicher zu stellen, wird ein Energiespeicher als Notstromversorgung 25 angeschlossen, welcher vorzugsweise aus an den Gleichspannungszwischenkreis 23 angeschlossenen Hochleistungskondensatoren 32 besteht. Der Energiespeicher 25 kann aber anstelle der Hochleistungskondensatoren auch Akkumulatoren oder andere elektrische Speichermedien aufweisen.

Die Nennspannung des Gleichspannungszwischenkreises 23 beträgt im Falle des Einsatzes von 1700V-IGBT-Modulen meist um die 1050Vdc und sollte idealerweise in einem Bereich von maximal 1150Vdc und minimal 1000Vdc geregelt werden, um das Regelvermögen des Differenzial-Antriebes nicht einzuschränken. Würde man die Notstromversorgung 25 für diesen Spannungsbereich auslegen, würde diese aufgrund der (a) notwendigen hohen Anzahl paralleler Kondensatoren und (b) der geringen realisierbaren Spanne zwischen maximaler und minimal erlaubter Spannung des Gleichspannungszwischenkreis 23 sehr groß und demzufolge auch entsprechend teuer werden. Um das Spannungsniveau bzw. die Betriebsspannung dieser Hochleistungskondensatoren optimal zu gestalten, werden diese daher vorzugsweise via eines DC/DC-Wandlers bestehend beispielsweise aus einer IGBT-Halbbrücke 33 und einer Induktivität 34 an den Gleichspannungszwischenkreis 23 angeschlossen. Die maximale Spannung für die Hochleistungskondensatoren 32 kann dann auf z.B. 300-400Vdc begrenzt werden. Vorzugsweise ist der oben beschriebene DC/DC-Wandler 33 ein bidirektionaler Tiefsetzsteller. Optional kann der DC/DC-Wandler auch mit einer IGBT-Vollbrücke ausgeführt werden.

Die statische Erregereinrichtung 35 (Fig. 5) und die Erregereinrichtung für die Erregermaschine 37 (Fig. 6) des Synchrongenerators 13 arbeiten im Gegensatz zum Frequenzumrichter 19 auf einem wesentlich geringeren Spannungsniveau bzw. Betriebsspannung, nämlich typischerweise in einem Bereich von ca. 80Vdc bis 130Vdc bei statischer Erregung gemäß Fig. 5 bzw. ca. 20 Vdc bis 50 Vdc bei Erregermaschine gemäß Fig. 6. Würde man hier versuchen, die Versorgung der Erregereinrichtung direkt vom Gleichspannungszwischenkreis 23 zu realisieren, um die Notstromversorgung 25 zu nutzen, wäre dies aufgrund der hohen Spannungsdifferenz mit einem DC/DC-Wandler nur

(äußerst) aufwändig zu realisieren. Mit einem weiteren DC/DC-Wandler, bestehend beispielsweise aus einer IGBT-Halbbrücke 36 und einer Induktivität, welcher am jeweils optimalen Spannungsniveau der Hochleistungskondensatoren 32 liegt, kann eine Stromversorgung für die Erregerwicklung mit einer Spannung im erforderlichen Bereich von 20-130Vdc mit einfachen Mitteln realisiert werden. Vorzugsweise ist hierbei ein unidirektionaler Gleichstromsteller (unidirektionaler Tiefsetzsteller) in Form einer IGBT-Vollbrücke ausgeführt, kann aber auch aus einer IGBT-Halbbrücke oder einem bzw. drei Choppermodulen (Halbbrücke bestehend aus einer Diode und einem IGBT) bestehen. Die IGBT-Vollbrücke hat den Vorteil, dass Standard-Stromrichter-Hardware eingesetzt werden kann und der Ausgangsstromrippel kleiner ist als mit einer Halbbrücke und somit die Filterung am Ausgang erleichtert wird. Je nach Ausführung der Energiespeicher kann ein zusätzlicher Kondensator am Gleichstromsteller-Eingang erforderlich sein, da der hohe Stromrippel die Lebensdauer des Energiespeichers verringert. Der Filter des Tiefsetzstellers 35 kann hinsichtlich (a) Regeldynamik, (b) Stromrippel (verbesserte Netzqualität des Generators), (c) Gleichtaktspannung (Vermeidung Lagerströme) optimiert werden.
Ist für die Applikation ein schnelles Entregen relevant, so kann ein bidirektionaler Gleichstromsteller eingesetzt werden. Dadurch kann mit der negativen Zwischenkreisspannung entregt werden. Vorzugsweise kann der bidirektionale Gleichstromsteller durch eine IGBT-Vollbrücke (Standard-Umrichter) umgesetzt werden, wobei die Erregerwicklung auf zwei Halbbrückenausgänge geschalten wird und ein Halbbrückenausgang frei bleibt, kann aber auch durch zwei IGBT-Halbbrücken realisiert werden.

Im Sinne der Erfindung heißt das, dass im Idealfall das Spannungsniveau bzw. die Betriebsspannung der Notstromversorgung 25 zwischen den notwendigen Betriebs-Spannungsniveaus von Gleichstromzwischenkreis 23 und Erregerregelung 35 liegt. Damit ist eine optimale Dimensionierung des Energiespeichers 32 bei gleichzeitiger Nutzung durch sowohl Frequenzumrichter 16 als auch Erregerregelung 35 gewährleistet.

Der Energiefluss für die Versorgung der Erregerregelung 35 erfolgt im Normalbetrieb über netzseitige IGBT-Vollbrücke 19, DC/DC-Wandler 33,

Hochleistungskondensatoren 32 und DC/DC-Wandler 36.

Die wesentlichen Vorteile der beschriebenen Konfiguration sind (a) die Zwischenkreisspannung des Gleichstromzwischenkreises 23 kann auch bei Netzfehlern geregelt werden, (b) der Energieinhalt des Energiespeichers 32 kann besser genutzt werden, (c) die Erregung des Synchrongenerators 13 kann auch bei Netzausfall geregelt werden und (d) die Erregerregelung 35 kann einfach und kostengünstig realisiert werden.

Die beschriebenen Ausführungsformen sind nur Beispiele und kommen bevorzugt bei Windkraftanlagen zum Einsatz, sind bei technisch ähnlichen Anwendungen aber ebenfalls umsetzbar. Dies betrifft v.a. Wasserturbinen bzw. -pumpen und Anlagen zur Gewinnung von Energie aus Meeresströmungen. Für diese Anwendungen gelten die gleichen Grundvoraussetzungen wie für Windkraftanlagen, nämlich variable Strömungsgeschwindigkeit. Die Antriebswelle wird jeweils von den vom Strömungsmedium, beispielsweise Wasser, angetriebenen Einrichtungen direkt oder indirekt angetrieben.

Darüber hinaus gilt Gesagtes auch für jede Art von Anlagen, welche aufgrund der Rahmenbedingungen Differenzialantriebe zur Realisierung variabler Drehzahl an der Antriebswelle einsetzen, das heißt jede Art von Antrieben für (Industrie)anlagen welche mit eingeschränktem Drehzahlbereich betrieben werden.

Patentansprüche:

1. Energiegewinnungsanlage, insbesondere Windkraftanlage, mit einer mit einem Rotor (1) verbundenen Antriebswelle, einem mit einem Netz (9) verbundenen Generator (13), einem Differenzialgetriebe (10 bis 12), von dem ein Antrieb mit einem elektrischen Differenzial-Antrieb (18) verbunden ist, und mit einem elektrischen Energiespeicher (32), wobei der Generator (13) eine Erregerregelung (35, 37) aufweist und wobei der Differenzial-Antrieb (18) mit einem Frequenzumrichter (19) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl die Erregerregelung (35, 37) als auch der Frequenzumrichter (19) des Differential-Antriebs (14) mit dem Energiespeicher (32) verbunden sind.

2. Energiegewinnungsanlage nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Notstromversorgung (25), die den Energiespeicher (32) enthält.

3. Energiegewinnungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregerregelung (35, 37) den Energiespeicher (32) enthält.

4. Energiegewinnungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzial-Antrieb (18) über den Frequenzumrichter (19) mit einem Gleichstromzwischenkreis (23) verbunden ist.

5. Energiegewinnungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Gleichstromzwischenkreis (23) mittels eines DC/DC-Wandlers (33) an den Energiespeicher (32) angeschlossen ist.

6. Energiegewinnungsanlage nach einem der Ansprüche nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregerregelung (35, 37) mittels eines DC/DC-Wandlers (36) an den Energiespeicher (32) angeschlossen ist.

7. Energiegewinnungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der DC/DC-Wandler (33, 36) ein vorzugsweise bidirektionaler Gleichstromsteller ist.

8. Energiegewinnungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der DC/DC-Wandler (33, 36) IGBT-Vollbrücken und/oder Thyristoren aufweist.

9. Energiegewinnungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch eine Erregerregelung (35, 37) zum Regeln der Spannung und/oder des Blindstroms des Generators (13).

10. Energiegewinnungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Betriebsspannung des Energiespeichers (32) zwischen den Betriebsspannungen des Gleichstromzwischenkreises (23) und der Erregerregelung (35, 37) liegt.

Fig. 1

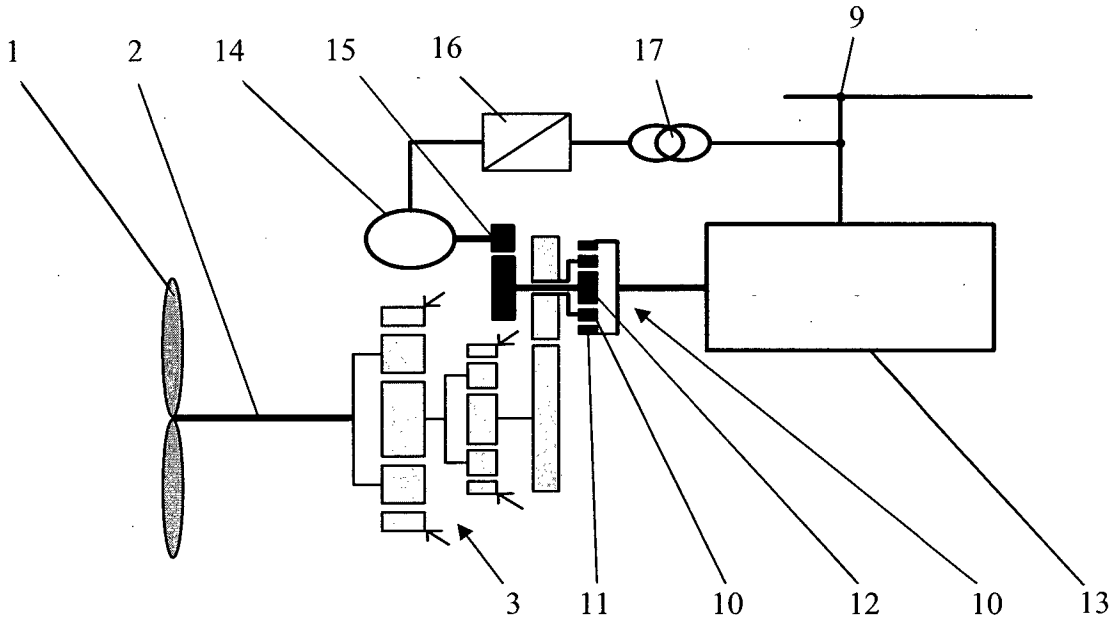

1
2
14
15
16
17
9
3
11
10
12
10
13

Fig. 2

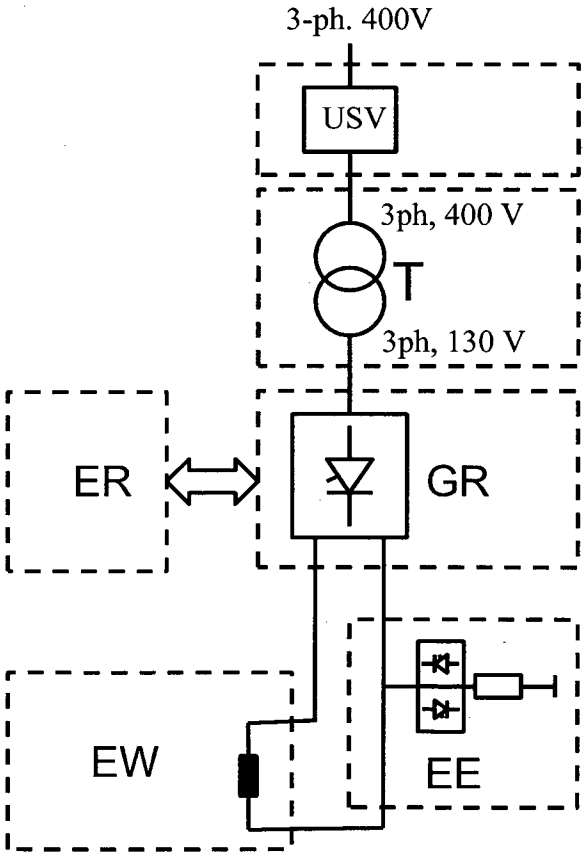

3-ph. 400V
USV
3ph, 400 V
T
3ph, 130 V
ER
GR
EW
EE

Fig. 3

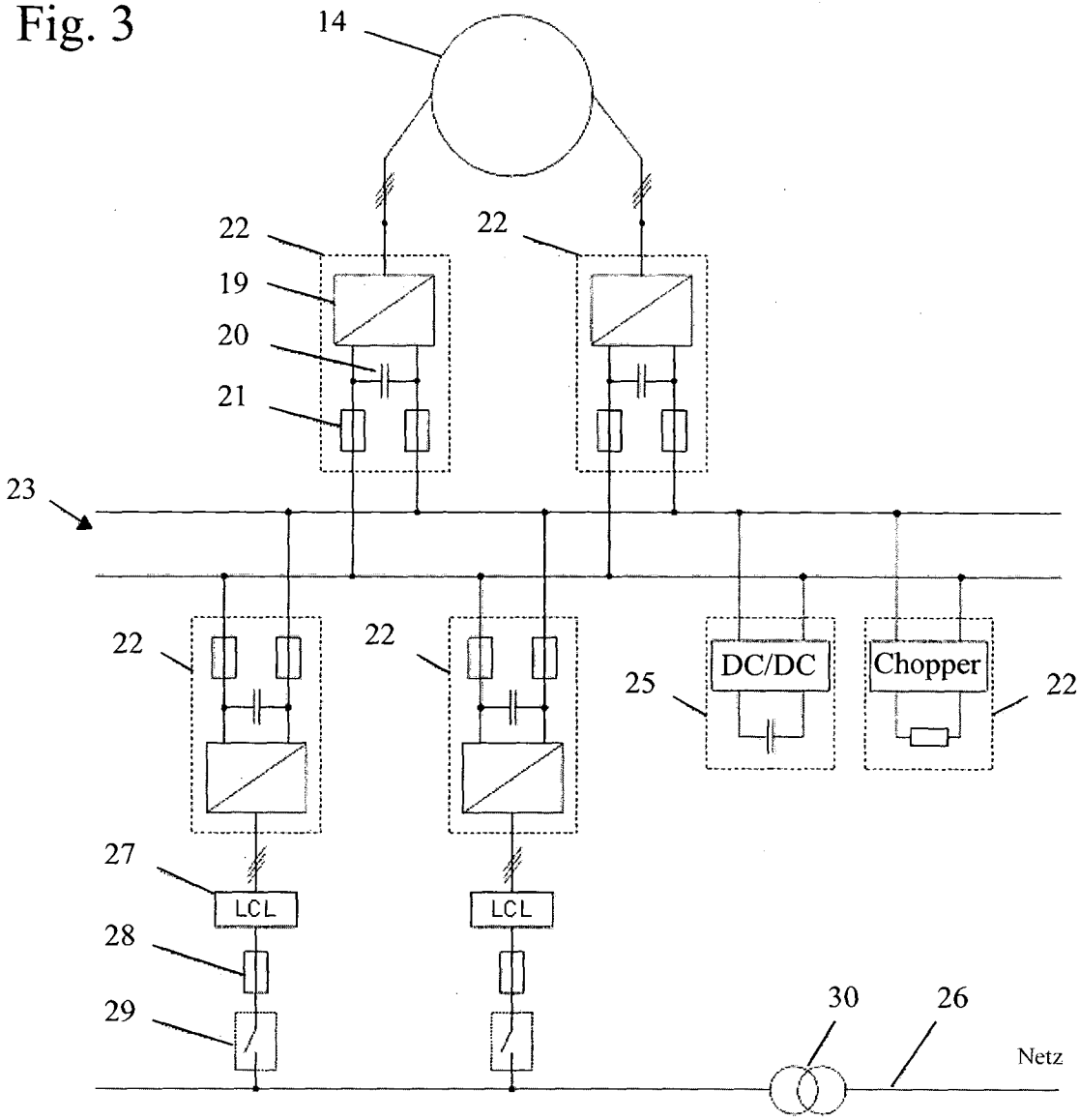

14
22
22
19
20
21
23
22
22
25
DC/DC
Chopper
22
27
LCL
LCL
28
29
30
26
Netz

Fig. 4

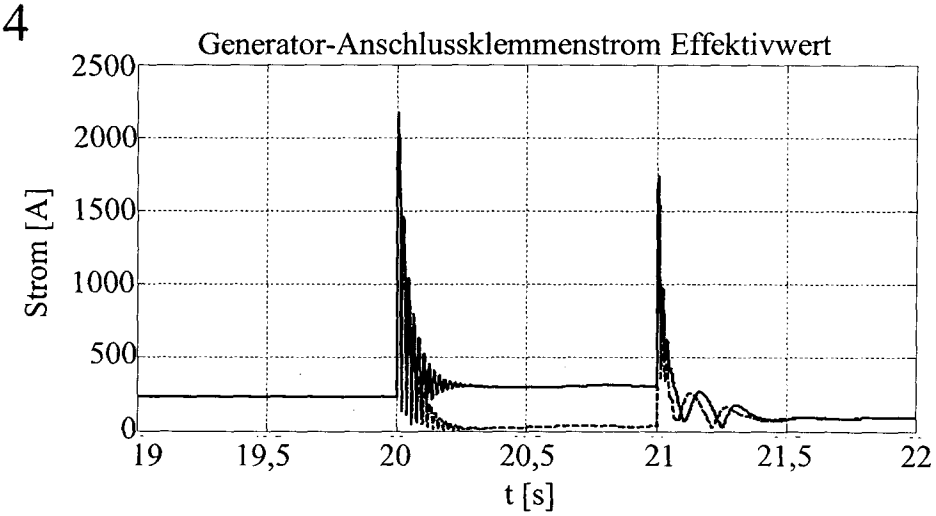

Generator-Anschlussklemmenstrom Effektivwert
Strom [A]
2500
2000
1500
1000
500
0
19
19,5
20
20,5
21
21,5
22
t [s]

Fig. 5

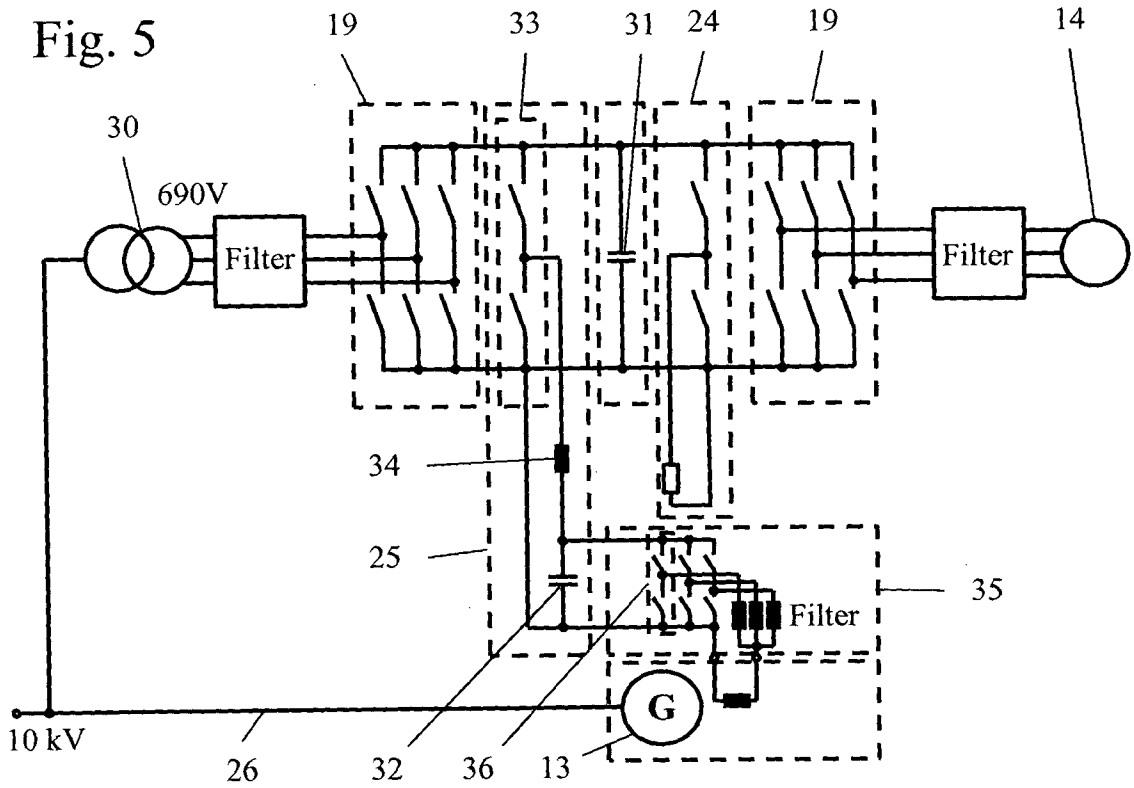
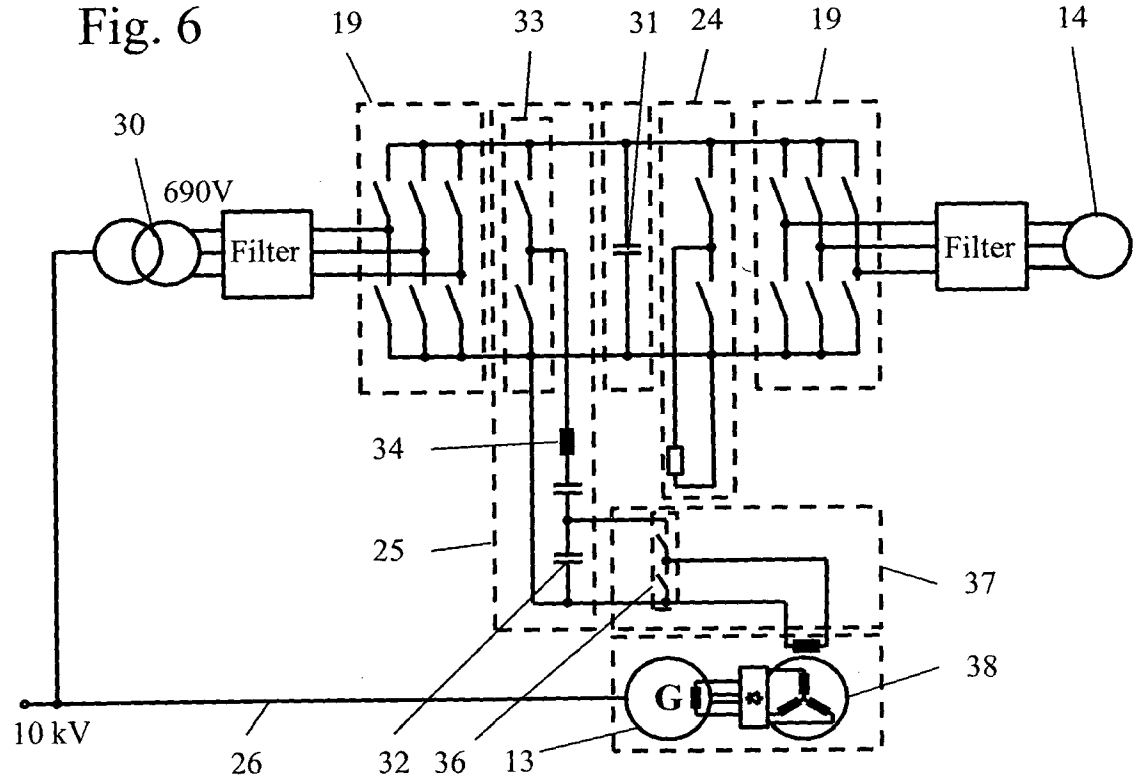

19
33
31
24
19
14
30
690V
Filter
Filter
34
25
35
Filter
G
10 kV
26
32
36
13

Fig. 6


19
33
31
24
19
14
30
690V
Filter
Filter
34
25
37
38
G
10 kV
26
32
36
13