
Synchrongenerator einer getriebelosen Windenergieanlage

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Synchrongenerator, insbesondere einen vielpoligen Synchron-Ringgenerator einer getriebelosen Windenergieanlage. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung einen Blechsatz zum Herstellen eines Statorblechpaketes eines Stators eines solchen Synchrongenerators sowie ein entsprechendes Verfahren zum Herstellen eines solchen Statorblechpaketes. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Windenergieanlage mit einem Synchrongenerator.

Windenergieanlagen sind allgemein bekannt und sie erzeugen elektrischen Strom aus Wind mittels eines Generators. Moderne getriebelose Windenergieanlagen weisen häufig einen vielpoligen Synchron-Ringgenerator mit großem Luftspaltdurchmesser auf. Der Durchmesser des Luftspalts beträgt hierbei wenigstens 4 Meter und reicht üblicherweise bis fast 5 Meter. Zusammengesetzte Synchrongeneratoren können sogar einen Luftspaltdurchmesser von etwa 10 Meter aufweisen.

Im Betrieb der Windenergieanlage, also des betreffenden Synchrongenerators entstehen Geräusche, die durch die große Bauform auch große Resonanzkörper finden können, wie beispielsweise die Gondelverkleidung einer den Synchrongenerator einschließenden oder zumindest teilweise einschließenden Gondel. Funktionsbedingt sind solche Synchrongeneratoren einer getriebelosen Windenergieanlage sehr langsam drehende Generatoren, die sich mit einer typischen Drehzahl von etwa 5 bis 35 Umdrehungen pro Minute drehen. Diese langsame Drehzahl kann auch entsprechend spezielle Geräusche erzeugen, insbesondere im Vergleich zu Generatoren, die sich mit 1.500 oder 3.000 Umdrehungen pro Minute drehen.

Solche Synchrongeneratoren getriebeloser Windenergieanlagen und damit die Windenergieanlagen, können aufgrund ihres Dauerbetriebs zu einer dauerhaften, störenden Geräuschquelle werden. Heutzutage werden besonders große, moderne Windenergieanlagen zunehmend in größerem Abstand von Siedlungen aufgestellt und dort betrieben, sodass auch etwaige Geräusche der Windenergieanlage weniger störend wahrgenommen werden.

Durch das Aufstellen mit größerem Abstand wird aber das tatsächliche Problem der Geräuscentwicklung nicht grundlegend behoben, sondern im Grunde nur verlagert.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es somit, wenigstens eins der oben genannten Probleme zu adressieren. Insbesondere soll die Geräuscentwicklung eines oben be-
5 beschriebenen Synchrongenerators reduziert werden. Zumindest soll eine gegenüber bekannten Lösungen alternative Lösung vorgeschlagen werden.

Das Deutsche Patent- und Markenamt hat in der Prioritätsanmeldung zu vorliegender PCT-Anmeldung folgenden Stand der Technik recherchiert: US 6 321 439 B1, DE 10 2009 015 044 A1, WO 2011/ 128 095 A2, DE 103 40 114 A1, DE 10 2005 061 892
10 A1, US 2004 / 0 036 374 A1, DE 199 23 925 A1, DE 101 10 466 A1, US 4 315 171 A und DE 15 38 772 B2

Erfindungsgemäß wird ein Synchrongenerator gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen, insbesondere ein vielpoliger Synchron-Ringgenerator einer getriebelosen Windenergieanlage. Ein solcher vielpoliger Synchron-Ringgenerator einer getriebelosen Windenergieanlage
15 weist eine Vielzahl von Statorpolen auf, insbesondere wenigstens 48 Statorzähne, häufig sogar deutlich mehr Statorzähne wie insbesondere 96 Statorzähne oder noch mehr Statorzähne. Der magnetisch aktive Bereich des Generators, nämlich sowohl des Rotors, der auch als Läufer bezeichnet werden kann, als auch des Stators ist in einem ringförmigen Bereich um die Drehachse des Synchrongenerators angeordnet. So ist insbesondere
20 ein Bereich von 0 bis wenigstens 50 Prozent des Radius des Luftspalts frei von Materialien, die elektrischen Strom oder elektrisches Feld des Synchrongenerators führen. Insbesondere ist dieser Innenraum vollständig frei und grundsätzlich auch begehrbar. Häufig beträgt dieser Bereich auch mehr als 0 bis 50 Prozent des Luftspaltradius, insbesondere bis zu 0 bis 70 Prozent oder sogar 0 bis 80 Prozent des Luftspaltradius. Je nach
25 Aufbau kann eine Tragstruktur in diesem inneren Bereich vorhanden sein, die aber in einigen Ausführungen axial versetzt ausgebildet sein kann.

Der Synchrongenerator weist somit einen Rotor und einen Stator auf. Der Rotor wird gelegentlich als Läufer bezeichnet, um auch eine Abgrenzung zum aerodynamischen Rotor der Windenergieanlage sprachlich zu erreichen.

30 Der Stator ist mit Zähnen und dazwischen angeordneten Nuten versehen. Die Nuten nehmen eine Statorwicklung, oder mehrere Statorwicklungen, auf, sodass also die Statorwicklung durch die Nuten und um die Zähne angeordnet wird.

- Der Stator ist in Umfangsrichtung in Statorsegmente mit jeweils mehreren Zähnen und mehreren Nuten eingeteilt und wenigstens zwei Statorsegmente sind in Umfangsrichtung gegeneinander versetzt oder verschränkt. Sämtliche Statorsegmente sind in Umfangsrichtung nebeneinander angeordnet und darüber hinaus insbesondere etwa um eine
- 5 Viertelnutenbreite, oder einen anderen Betrag, gegeneinander verschränkt oder versetzt, nämlich so, dass sich Nuten und Zähne eines Statorsegmentes in Umfangsrichtung gleichmäßig abwechseln und diese Gleichmäßigkeit beim Übergang zum nächsten, benachbarten Statorsegment unterbrochen ist, indem dort eine breitere oder schmalere Nut, ein breiterer oder schmalerer Zahn, oder ein zusätzlicher – eventuell schmalerer –
- 10 Zahn oder eine zusätzliche – eventuell schmalere – Nut angeordnet ist, oder ein Zahn ausgelassen ist. Der Übergang kann grundsätzlich auch noch anders realisiert sein. Auf diesem nächsten, benachbarten Statorsegment wechseln sich dann Nuten und Zähne wieder gleichmäßig ab, insbesondere mit jeweils gleicher Nutenbreite bzw. jeweils gleicher Zahnbreite.
- 15 Hierdurch wird nun erreicht, dass in Umfangsrichtung vollständig gleichmäßig verteilte Rotor- bzw. Läuferpole bei der Drehbewegung des Rotors die Zähne bzw. Nuten der zueinander versetzten oder verschränkten Statorsegmente nicht jeweils exakt gleichzeitig erreichen, sondern um diesen Versatz bzw. diese Verschränkung eher bzw. später. Während also ein Rotorpol einen Statorzahn eines Statorsegmentes erreicht, erreicht ein
- 20 entsprechender Rotorpol einen Statorzahn eines anderen, verschränkten bzw. versetzten Statorsegmentes etwas zeitverschoben. Als Konsequenz werden in diesen zueinander verschränkten bzw. versetzten Statorsegmenten leicht zueinander verschobene oszillierende, insbesondere sinusförmige Ströme erzeugt. Dies führt wiederum dazu, dass diese Ströme bei Überlagerung in der Amplitude verringerte Oberwellen hervorrufen können. In
- 25 ähnlicher Weise kann sich auch eine unmittelbare Überlagerung von Geräuschen mit gleicher Frequenz aber unterschiedlicher Phase zu einer insgesamt Reduzierung des Geräuschs, insbesondere des Geräuschpegels führen. Diese beiden beschriebenen Effekte können auch zusammen wirken, sodass Synergieeffekte ausgenutzt werden können, die zu einer insgesamt starken Geräuschreduzierung führen können.
- 30 Beispielsweise kann der Stator in vier Statorsegmente 1 bis 4 unterteilt sein und jedes Statorsegment kann, auch das ist nur beispielsweise angeführt, jeweils 12 Statorzähne aufweisen, sodass der Stator insgesamt 48 Zähne umfasst und insoweit ein vergleichsweise kleiner vielpoliger Synchron-Ringgenerator einer getriebelosen Windenergieanlage wäre. Das erste und dritte Statorsegment und damit die Nuten und Zähne dieser beiden

Statorsegmente, wären gegenüber dem zweiten und vierten Statorsegment, also deren Nuten bzw. Zähnen gegenüber versetzt bzw. verschränkt.

Vorzugsweise bildet wenigstens ein Zahn einen Statorpol und entsprechend zwei Statorpole ein Polpaar, was hier vereinfachend für Statorpolpaar begrifflich verwendet wird.

5 Grundsätzlich könnte ein Statorpol auch aus mehreren Zähnen oder einem geteilten Zahn gebildet werden, worauf es hier nicht wesentlich ankommt. Jedenfalls wird zu dieser Ausführungsform vorgeschlagen, dass die Anzahl Polpaare jedes Statorsegmentes ein Vielfaches von zwei ist. Insbesondere ist die Anzahl Polpaare jedes Statorsegmentes ein Vielfaches von sechs. Eine solche Ausgestaltung, dass nämlich die Anzahl Polpaare

10 jedes Statorsegmentes wenigstens ein Vielfaches von zwei ist, ermöglicht das Vorsehen von Teilwicklungen für jedes Statorsegment. Somit kann jedes Statorsegment als eingeständiger Generator oder eigenständiger virtueller Generator ausgebildet sein, der sich insofern lediglich den Rotor mit den anderen Statorsegmenten teilt.

Wenn die Anzahl Polpaare jedes Segmentes ein Vielfaches von sechs ist, kann ein

15 beschriebenes eigenständiges Statorsegment mit dreiphasigen Wicklungen, insbesondere sogar mit zwei unabhängigen dreiphasigen Wicklungen versehen werden. Beide dreiphasigen Wicklungen können entsprechend ein dreiphasiges Stromsignal erzeugen und die dreiphasigen Stromsignale dieser beiden unabhängigen dreiphasigen Wicklungen können gegeneinander verschoben sein. Dadurch verbessert sich eine nachgelagerte

20 Gleichrichtung. Das Stromsignal kann auch einfach als Strom bezeichnet werden.

Vorzugsweise sind vier Statorsegmente vorgesehen und die Statorsegmente sind in zwei Segmentgruppen mit je zwei Statorsegmenten gruppiert. Hierzu wird vorgeschlagen, dass die Anzahl Polpaare jeder Segmentgruppe ein Vielfaches von vier ist. Hierdurch ist es möglich, jedes Statorsegment wie oben beschrieben eigenständig zu wickeln und

25 gleichzeitig die Statorsegmente im Grunde symmetrisch vorzusehen, so dass also alle Statorsegmente gleich groß sind, vereinfacht ausgedrückt, also jeweils einen Viertelkreis einnehmen. Insoweit im Übergang zweier benachbarter und gegeneinander verschränkter Statorsegmente ein Zahn ausgelassen wurde, ist dieser (ausgelassene) Zahn dennoch mitzuzählen. Anders ausgedrückt läge hier ein Statorpol ohne eigenen Zahn bzw.

30 ein Statorpolpaar mit nur einem eigenen Zahn vor. Die Wirkung des Polpaars ist dennoch durch den entsprechenden Wicklungsabschnitt, den einen Zahn und einen oder mehrere andere Zähne gegeben.

Alternativ, wenn die Anzahl Polpaare jeder Segmentgruppe kein Vielfaches von vier ist, wird vorgeschlagen, dass die Statorsegmente einer Segmentgruppe unterschiedlich viele Polpaare aufweisen. Bspw. kann ein Stator mit insgesamt 84 Polpaaren, also insbesondere 168 Zähnen in zwei Segmentgruppen mit jeweils zwei Statorsegmenten aufgeteilt werden. Die Statorsegmente dieser beiden Segmentgruppen wechseln sich dabei ab. Somit hat jede Segmentgruppe zwei Statorsegmente und jede Segmentgruppe hat 42 Polpaare und dabei bspw. ein Statorsegment mit 24 Polpaaren und ein Statorsegment mit 18 Polpaaren.

Für diese oder andere Ausführungsformen wird vorgeschlagen, dass jede Segmentgruppe jeweils mit einem als B12-Brücke ausgebildeten Gleichrichter verbunden ist. Hierbei kann jede Segmentgruppe so gewickelt sein, dass sie zwei Dreiphasensysteme als Ausgangsstrom erzeugt. Diese beiden Dreiphasensysteme, die im Ergebnis somit sechs unterschiedliche Phasenströme erzeugen, werden mittels dieser B12-Brücke gleichgerichtet. Jede Phase wird also einem Zweig dieser B12-Brücke zugeführt, der in bekannter Weise mit zwei Dioden diese Phase gleichrichtet. Der gleichgerichtete Strom jeder dieser Phasen wird auf einen gemeinsamen Gleichspannungszwischenkreis oder anderen Gleichspannungsspeicher oder Gleichstromspeicher gegeben.

Dadurch, dass beide Segmentgruppen mit einer B12-Brücke verbunden sind und beide Segmentgruppen jeweils zwei dreiphasige Ströme erzeugen, die gleichgerichtet werden, kann ein gleichgerichtetes Gesamtsignal mit sehr wenig Oberwellen erreicht werden. Dies wird besonders dadurch erreicht, dass wenigstens zwei Statorsegmente bzw. zwei Segmentgruppen in Umfangsrichtung gegeneinander versetzt oder verschränkt sind. Dadurch sind die sechs Phasen der einen Segmentgruppe nochmals gegenüber den sechs Phasen der anderen Segmentgruppe so verschoben, dass ihre Überlagerung im gleichgerichteten Gesamtsignal reduziert wird und damit zu möglichst geringen Oberwellen führt.

Vorzugsweise sind Nuten und Zähne jeweils eines Statorsegmentes äquidistant angeordnet und die wenigstens zwei Statorsegmente in Umfangsrichtung so gegeneinander versetzt bzw. verschränkt, dass benachbarte Zähne der benachbarten Statorsegmente oder benachbarten Nuten der benachbarten Statorsegmente einen anderen Abstand zueinander aufweisen, als benachbarte Zähne bzw. Nuten desselben Statorsegmentes. Die Nuten und Zähne sind also jeweils innerhalb ihres Statorsegmentes äquidistant angeordnet, insbesondere so, dass alle Nuten eines Statorsegmentes und insbesondere des gesamten Stators dieselbe Weite, also Ausdehnung in Umfangsrichtung aufweisen,

bis auf Nuten im Übergangs- oder Kontaktbereich zweier benachbarter Statorsegmente. Entsprechend weisen auch alle Zähne eines Statorsegmentes oder sogar des gesamten Stators dieselbe Breite, also Ausdehnung in Umfangsrichtung, auf, bis auf Zähne im Übergangs- oder Kontaktbereich zwischen zwei benachbarten Statorsegmenten.

- 5 Die vorgeschlagene Ausgestaltung des Stators entspricht somit einem Stator mit in Umfangsrichtung vollständig gleichmäßigen Zähnen und Nuten, wobei dieser Stator in Statorsegmente, insbesondere eine gerade Anzahl gleich großer Statorsegmente aufgeteilt wird und dann insbesondere jedes zweite Statorsegment um einen Anteil einer Nutbreite oder Zahnbreite um die Drehachse des Generators – gedanklich – verdreht
10 würde.

Gemäß einer Ausführungsform wird ein Synchrongenerator mit einem Stator vorgeschlagen, bei dem eine erste und eine zweite Nut eines ersten Statorsegmentes bzw. ein erster und ein zweiter Zahn des ersten Statorsegmentes einen mittleren Abstand zueinander von $n \cdot a$ aufweisen. Die Variable a bezeichnet hierbei den mittleren Abstand zweier
15 benachbarter Nuten bzw. Zähne des ersten Statorsegmentes. Dies beschreibt also den Abstand beispielsweise der Mitte der ersten Nut zur Mitte der zweiten Nut oder der Mitte des ersten Zahns zur Mitte des zweiten Zahns. Vorzugsweise ist dies identisch mit dem Mittelwert jedes Abstandes benachbarter Zähne des gesamten Stators.

Die Variable n ist die Anzahl der Nutabstände bzw. Zahnabstände, also eine Zahl, die um
20 1 kleiner ist als die Anzahl der Nuten zwischen der betrachteten ersten und zweiten Nut bzw. ein Zahl um 1 kleiner als die Anzahl der Zähne zwischen dem betrachteten ersten und zweiten Zahn.

Der Abstand zwischen der ersten und einer weiteren Nut, wobei die weitere Nut auf einem zweiten Statorsegment liegt, bzw. der Abstand des ersten Zahns zu einem weiteren Zahn, welcher auf dem zweiten Statorsegment liegt, beträgt $n \cdot a + v$ oder $n \cdot a - v$.
25

Die Variable v bezeichnet hierbei den Versatz bzw. die Verschränkung zwischen dem ersten und zweiten Statorsegment. Diese Verschränkung ist insoweit größer als 0, aber kleiner als der mittlere Nutabstand bzw. mittlerer Zahnabstand a . Ob dieser Versatz v hinzuaddiert oder abgezogen wird, hängt davon ab, ob der Versatz bzw. die Verschränkung bei den betrachteten beiden Statorsegmenten so ist, dass diese aufeinander zu
30 verschränkt bzw. versetzt sind, dann würde die Variable v abgezogen werden, oder ob

sie voneinander weg versetzt bzw. verschränkt sind und in diesem Fall würde die Variable v hinzuaddiert werden.

Durch diese formelmäßige Beschreibung ist also erkennbar, dass die Zähne oder Nuten eines Statorsegmentes um einen n -fachen mittleren Abstand zueinander beabstandet sind, wohingegen übergreifend zu einem nächsten, dazu verschränkten oder versetzten Statorsegment zusätzlich noch einmalig der Versatz v hinzuzuaddieren bzw. abzuziehen ist. Grundsätzlich ist insoweit auch bei dem Versatz v als auch dem Nutenabstand a bzw. Zahnabstand a ein Abstand entlang des Umfangs zu verstehen bzw. ein Winkel bezogen auf die Drehachse des Generators und damit die Mittelachse des Stators zu verstehen.

Vorzugsweise weist der Versatz bzw. die Verschränkung einen Wert 0,4 bis 0,6 Nutabständen bzw. Zahnabständen a auf. Insbesondere beträgt der Versatz etwa die Hälfte eines solchen Nutabstandes bzw. Zahnabstandes a . Hierdurch wird erreicht, dass die in den jeweiligen Statorsegmenten erzeugten Geräusche und/oder Ströme zu entsprechenden Geräuschen bzw. Strömen eine solche Phasenverschiebung aufweisen, dass die insgesamt für den Synchrongenerator resultierende Geräuscentwicklung möglichst gering ist. Dies wird insbesondere durch eine günstige Überlagerung der betreffenden Komponenten erreicht, die sich dadurch gegenseitig reduzieren.

Vorzugsweise nimmt jedes Statorsegment einen Teil der Statorwicklung bzw. Statorwicklungen als Wicklungssegment auf und Wicklungssegmente nicht benachbarter Statorsegmente sind miteinander verschaltet. Hierdurch wird zusätzlich zu der mechanischen Verschränkung bzw. der mechanischen Versatz der Statorsegmente auch eine entsprechende elektrische Verschaltung vorgesehen. Dies erfolgt insbesondere so, dass nicht benachbarte Statorsegmente, also insbesondere jedes zweite Statorsegment miteinander verschaltet sind, also insbesondere in einer Parallelschaltung oder in einer Reihenschaltung. Diese Statorsegmente erzeugen in ihren Wicklungssegmenten einen Strom gleicher Frequenz und Phasenlage. Die anderen, zwischen diesen nicht benachbarten Statorsegmenten angeordneten Statorsegmente und damit untereinander ebenfalls nicht benachbarte Statorsegmente, also im Grunde eine zweite Gruppe nicht benachbarter Statorsegmente, sind ebenfalls miteinander verschaltet und erzeugen gemeinsam einen Strom mit gleicher Frequenz und Phasenlage. Dabei liegt hier meist ein dreiphasiger Strom vor, was auch für die entsprechende erste Gruppe nicht benachbarter Statorsegmente gilt. Vorzugsweise erfolgt die Verschaltung jeweils als Reihenschaltung, sodass die Wicklungssegmente mit dem nächsten Wicklungssegment des nächsten,

nicht benachbarten Statorsegmentes unmittelbar dort verschaltet werden können. Es kann somit eine Parallelführung zu vieler Leitungen vermieden werden.

- Vorzugsweise sind die Wicklungssegmente wechselseitig mit einem ersten und einem zweiten Gleichrichter verbunden. Es werden also die Wicklungssegmente der ersten Gruppe nicht benachbarter Statorsegmente mit dem ersten Gleichrichter verbunden und die Wicklungssegmente der zweiten Gruppe nicht benachbarter Statorsegmente mit dem zweiten Gleichrichter verbunden. Entsprechend wird der Strom dieser beiden Gruppen im Betrieb mit dem jeweiligen Wechselrichter gleichgerichtet und auf einen Gleichspannungszwischenkreis gespeist, der vorzugsweise für beide Wechselrichter gemeinsam ist. Dadurch kann auch erreicht werden, dass die beiden Wechselrichter zueinander phasenverschobene Ströme erhalten und entsprechend auf den gemeinsamen Gleichspannungszwischenkreis speisen, wodurch die Oberwellen dort verringert werden können. Hierdurch werden auch hier Oberwellen verringert, was wiederum positive Auswirkungen auf die Geräuschentwicklung haben kann, diese also reduzieren kann.
- Vorzugsweise ist der Stator und/oder die Statorwicklung punktsymmetrisch ausgebildet, insbesondere punktsymmetrisch zu der Drehachse des Synchrongenerators ausgebildet. Die Verschränkung bzw. der Versatz der Statorsegmente untereinander mag zwar abschnittsweise keine Spiegelsymmetrie aufweisen, kann aber durch die Punktsymmetrie, was auch zweckmäßiger Weise als Drehsymmetrie bezeichnet werden kann, insgesamt eine gleichmäßige Anordnung erreichen, sodass durch den Versatz bzw. die Verschränkung zwar die beschriebene Geräuschreduzierung erreicht werden kann, der Generator gleichwohl gleichmäßig also rund laufen kann.

- Vorzugsweise wird vorgeschlagen, dass alle Nuten des Stators gleich sind, durch den Versatz bzw. die Beschränkung also nicht verändert werden. Der Versatz bzw. die Verschränkung wird stattdessen durch entsprechend angepasste Zähne erreicht. Diese können hierzu beispielsweise in Umfangsrichtung im Kontaktbereich benachbarter Statorsegmente vergrößert oder verkleinert sein. Es kann auch ein zusätzlicher Zahn jeweils vorgesehen sein. Hierdurch wird insbesondere auch erreicht, dass die Leitungsstränge der Statorwicklung gleichermaßen in allen Nuten in gewohnter Weise verlegt werden können.

Vorzugsweise ist der Synchrongenerator dadurch gekennzeichnet, dass die Statorwicklung bzw. die Wicklungssegmente phasenweise Wicklungsstränge aufweisen. Jeweils ein solcher Wicklungsstrang wird durch eine erste Nut gelegt, also im Grunde

vorwärts geführt, und durch eine zweite Nut zurückgeführt. Ein solches Verlegen durch diese erste und zweite Nut wird wiederholt, zumindest einmal, so dass wenigstens eine Schleife durch diese beiden Nuten und damit um die dazwischenliegenden Zähne gelegt wird. Vorzugsweise werden drei Schleifen durch diese beiden Nuten und um die dazwischenliegenden Zähne gelegt, so dass elektromagnetisch wirksam vier Windungen
5 vorhanden sind. Die Verlegung dieses Wicklungsstrangs setzt sich dann sinngemäß in einer dritten und vierten Nut fort.

Die Wicklungsstränge anderer Phasen werden sinngemäß ebenso verlegt. Vorzugsweise werden drei Schleifen durch diese beiden Nuten und damit um die dazwischenliegenden
10 Zähne gelegt. Hierdurch kann ein gutes Verhältnis zwischen Aufwand des Wickelns einerseits und Effizienz des Synchrongenerators im Betrieb andererseits erreicht werden. Insbesondere die Verwendung von drei Schleifen ist besonders vorteilhaft für den Synchrongenerator einer Windenergieanlage, die getriebelos betrieben wird. Drei Schleifen ermöglichen, die jeweiligen Wicklungsstränge für ein Statorsegment kontinuierlich zu
15 verlegen. Hierfür sind Wicklungsstränge nötig, die einen großen effektiven Leitungsquerschnitt aufweisen, der sich aus einer Vielzahl von Einzelleitungen zusammensetzt, der gleichwohl noch beim Wickeln gehandhabt werden kann. Gleichzeitig werden unnötig viele Wicklungsschritte durch einen zu dünnen Strang vermieden und es wird vermieden, einen so dicken Strang bei noch weniger Schleifen verwenden zu müssen, der eine
20 Handhabung sehr erschweren würde oder zumindest das Aufsplitten eines Wicklungsstrangs in zwei parallel geführte Stränge vermeidet.

Vorzugsweise liegen zwischen der ersten und zweiten Nut bzw. in der wenigstens einen Schleife fünf Nuten und sechs Zähne. Die verbleibenden fünf Nuten können für fünf Wicklungsstränge für fünf weitere Phasen vorgesehen sein.

25 Vorzugsweise ist ein Wicklungsstrang kontinuierlich durch ein Statorsegment und insbesondere kontinuierlich durch alle Statorsegmente einer Segmentgruppe gewickelt. Hierdurch können Probleme bei Verbindungsstellen vermieden werden und bei der kontinuierlichen, unterbrechungsfreien Wicklung eines Wicklungsstranges für alle Statorsegmente einer Segmentgruppe können diese Statorsegmente entsprechend auf einfache Art
30 und Weise elektrische in Reihe geschaltet werden.

Erfindungsgemäß wird zudem ein Blechsatz mit mehreren Statorblechen zum Zusammensetzen zu einem Statorblechpaket vorgeschlagen. Dieser Blechsatz ist vorzugsweise so ausgebildet, dass er ein Statorblechpaket eines Synchrongenerators gemäß einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen herstellen kann.

5 Die Statorbleche dieses Blechsatzes weisen sämtlichst mehrere Nuten und Zähne auf. Der Blechsatz unterscheidet dabei drei Arten von Statorblechen, nämlich ein Normalblech, ein Streckblech und ein Stauchblech. Das Normalblech entspricht im Grunde einem herkömmlichen, bekannten Blech eines Stators eines Synchrongenerators ohne Versatz bzw. Verschränkung. Aus einer Vielzahl solcher Normalbleche kann eine Sta-
10 torblechpaket zusammengesetzt werden. Hierzu werden entsprechend viele Normalbleche in einer ersten Schicht in einem Kreis gelegt und darauf wird eine zweite Schicht in gleicher Weise aber zu den Blechen der ersten Schicht versetzt gelegt, und so weiter bis das Statorblechpaket durch viele solcher zueinander versetzter Blechschichten gebildet ist.

15 Zum Erreichen eines Statorblechpakets, bei dem Statorsegmente vorgesehen und gegeneinander versetzt oder verschränkt sind, werden jedoch weitere Bleche benötigt, die diesem Versatz bzw. dieser Verschränkung Rechnung tragen. Dazu sind das Streckblech und das Stauchblech vorgesehen. Das Streckblech entspricht im Grunde der Art nach auch dem Normalblech, weist aber einen gestreckten Bereich auf, insbesondere einen
20 verbreiterten Zahn. Dieser gestreckte Bereich ist somit für den Übergangsbereich von zwei gegeneinander verschränkten bzw. versetzten Statorsegmenten vorgesehen, die nämlich entsprechend dem Versatz bzw. der Verschränkung voneinander entfernt sind. Dadurch entsteht dieser gestreckte Bereich, den dieses Streckblech vorsieht.

Entsprechend weist das Stauchblech einen gestauchten Bereich auf, der für den Über-
25 gangsbereich zweier Statorsegmente vorgesehen ist, die aufeinander zu versetzt bzw. verschränkt sind.

Vorzugsweise sind diese gestreckten bzw. gestauchten Bereiche nicht in der Mitte des betreffenden Streckbleches bzw. Stauchbleches, sondern außermittig etwa nach einem Drittel. Außerdem sind diese Streckbereiche bzw. Stauchbereiche spiegelsymmetrisch,
30 so dass ihre Gestalt also unverändert bleibt, wenn das entsprechende Streck- bzw. Stauchblech von einer Oberseite auf eine untere Seite oder umgekehrt umgedreht wird.

Somit können auch diese Stau- und Streckbleche in verschiedenen Lagen überlappend übereinander geschichtet werden, sodass die jeweiligen Streckbereiche bzw. Stauchbereiche genau übereinander zu liegend kommen, ohne dass aber die entsprechenden Streckbleche bzw. Stauchbleche insgesamt genau übereinander zu liegen kommen. Es
5 kann also eine Überlappende Schichtbildung beim Herstellen des Blechpaketes auch im Bereich der Streckbereiche bzw. Stauchbereiche erzielt werden, ohne dass jeweils unterschiedliche Bleche hergestellt werden müssten. Die Fertigungstiefe braucht hierfür also nur ein Normalblech, ein Streckblech und ein Stauchblech zu Umfassen. Mit diesen drei unterschiedlichen Arten von Blechen kann das gesamte Blechpaket hergestellt werden,
10 einschließlich gestreckter bzw. gestauchter Bereiche, also einschließlich der Übergangsbereiche zwischen gegeneinander versetzten oder verschränkten Statorsegmenten, einschließlich Überlappung.

Außerdem wird ein Verfahren zum Herstellen eines Statorblechpaketes vorgeschlagen, das auf die Herstellung eines Statorblechpaketes mit Hilfe eines Blechsatzes gemäß
15 einer der oben beschriebenen Ausführungsformen dazu aufbaut. Es wird hier also vorgeschlagen, dass das Statorblechpaket lagenweise zunächst in gewohnter Weise aufgebaut wird, wobei für die Übergangsbereiche jeweils ein Streckblech bzw. ein Stauchblech angeordnet wird. Für die nächste Lage wird in dem jeweiligen Bereich ein Streckblech bzw. Stauchblech vorgesehen, das jedoch gegenüber dem jeweils darunter liegenden
20 Blech umgedreht ist, also mit der Oberseite nach unten bzw. Unterseite nach oben. Durch die nicht mittige Anordnung des Streckbereichs bzw. Stauchbereichs verändert sich durch das Umdrehen des Blechs seine Position und es kann somit mit ein und demselben Blech eine überlappende, also nicht vollständig aufeinander liegende Stapelung erreicht werden.

25 Erfindungsgemäß wird zudem eine Windenergieanlage mit einem Synchrongenerator gemäß einem der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen vorgeschlagen.

Nachfolgend wird die Erfindung nun anhand von Ausführungsbeispielen exemplarisch unter Bezugnahme die begleitenden Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine Windenergieanlage schematisch in einer perspektivischen Ansicht.
30

Fig. 2 zeigt eine axiale Schnittansicht eines bekannten Synchrongenerators.

- Fig. 3 zeigt schematisch ein Schaltbild eines bekannten, fremderregten Synchron-
generators mit zwei dreiphasigen Wicklungen und nachgeschaltetem Dio-
dengleichrichter.
- 5 Fig. 4 zeigt einen erfindungsgemäßen Synchrongenerator in einer axialen Schnitt-
ansicht.
- Fig. 4A
und 4B zeigen Ausschnitte der Fig. 4.
- Fig. 5A
bis 5D zeigen verschieden Umsetzungsmöglichkeiten eines Übergangsbereichs als
10 Ausführungen zu dem Ausschnitt gemäß Fig. 4a.
- Fig. 6 zeigt schematisch eine Möglichkeit der Verschaltung der Segmente eines
Synchrongenerators mit nachgeordnetem Gleichrichter.
- Fig. 7 zeigt einen Synchrongenerator in einer axialen Schnittansicht gemäß einer
weiteren Ausführungsform mit Statorsegmenten mit unterschiedlich vielen
15 Polpaaren.
- Fig. 7A zeigt einen Ausschnitt der Fig. 7.
- Fig. 8 verdeutlicht ein Wicklungsschema eines Synchrongenerators einer Ausfüh-
rungsform.
- Fig. 9 verdeutlicht ein Wicklungsschema eines Synchrongenerators einer weiteren
20 Ausführungsform.

Figur 1 zeigt eine Windenergieanlage 100 mit einem Turm 102 und einer Gondel 104. An
der Gondel 104 ist ein Rotor 106 mit drei Rotorblättern 108 und einem Spinner 110
angeordnet. Der Rotor 106 wird im Betrieb durch den Wind in eine Drehbewegung ver-
setzt und treibt dadurch einen Generator in der Gondel 104 an.

- 25 Figur 2 zeigt einen bekannten Synchrongenerator 201 in einer axialen Schnittansicht,
also in einer Sicht in Richtung der Drehachse 202, wobei der Synchrongenerator 201
quer zur Drehachse 202 geschnitten ist. Der Synchrongenerator ist als Innenläufer aus-

gebildet und weist somit innen einen Rotor bzw. Läufer 204 auf und außen einen Stator 206. Der Synchrongenerator 201 ist als vielpoliger Ringgenerator ausgebildet und weist einen freien Innenraum auf, der über die Hälfte des Gesamtdurchmessers bzw. Gesamtradius des Synchrongenerators 201 einnimmt. Es sind exemplarisch 168 Statorzähne
5 208 vorgesehen. Es sind ebenso viele Statornuten 210 vorgesehen, die sich mit den Statorzähnen 208 abwechseln bzw. dazwischen angeordnet sind.

Der Läufer 204 weist einige Rotorpole bzw. Polschuhe 212 auf, zwischen denen jeweils Nuten 214 mit Wicklungen vorgesehen sind. Die Rotornuten 214 sind mit Wicklungen zur Erregung des Rotors ausgestattet.

10 Im Betrieb dreht sich der Rotor 204 relativ zum Stator 206 und die Rotorpole 212 streichen an den Statorpolen 208 vorbei. Zwischen Rotor 204 und Stator 206 ist ein schmaler Luftspalt 216 vorhanden.

Figur 3 veranschaulicht eine Verschaltung eines bekannten Synchrongenerators 201 und zeigt schematisch einen Erregerkreis 220 zum Erregen des Rotors 204 mittels eines
15 Gleichstroms. Schematisch sind eine erste und zweite dreiphasige Statorwicklung 221 bzw. 222 gezeigt. Diese sind über eine erste Verschaltung 223 bzw. zweite Verschaltung 224 über einen ersten bzw. zweiten Gleichrichter 225 bzw. 226 verschaltet und beide Gleichrichter 225 und 226 speisen auf einen gemeinsamen Gleichspannungszwischenkreis 228, der durch einen Kondensator symbolisiert wird.

20 Figur 4 zeigt nun ganz ähnlich zu Figur 2 einen Synchrongenerator 1 mit einer Drehachse 2, einem Läufer bzw. Rotor 4, einem Stator 6, einer Vielzahl von Statorzähnen 8 und ebenso vielen Statornuten 10. Der Läufer bzw. Rotor 4 weist Rotorpole bzw. -polschuhe 12 und dazwischen Rotornuten 14 auf. Zwischen dem Stator 6 und dem Läufer 4 befindet sich ein Luftspalt 16. Der Rotor bzw. Läufer 4 könnte mit dem Rotor bzw. Läufer 204 der
25 Figur 2 identisch sein. Der Stator 6 unterscheidet sich aber erfindungsgemäß von dem Stator 206 der Figur 2.

Insoweit ist der Stator 6 in vier Segmente 31 bis 34 unterteilt. Jeweils benachbarte Segmente sind gegeneinander verschränkt bzw. versetzt. So sind das erste und dritte Segment 31, 33 zueinander nicht verschränkt bzw. versetzt, aber relativ zu dem zweiten bzw.
30 vierten Segment 32, 34. Ebenso sind das zweite und vierte Segment 32, 34 nicht zueinander verschränkt oder versetzt. Es besteht hierdurch zwischen benachbarten Segmenten ein gestauchter Bereich 36 oder gestreckter Bereich 38, abhängig davon, ob die

jeweils benachbarten Segmente aufeinander zu oder voneinander weg versetzt bzw. verschränkt sind. Figur 4A deutet dabei einen Ausschnitt des Synchrongenerators 1 an, der einen gestauchten Bereich 36 betrifft. Möglichkeiten, diesen gestauchten Bereich 36 auszuführen sind in den Figuren 5A-5D gezeigt. Figur 4B zeigt einen Ausschnitt aus dem
5 Synchrongenerator 1, der einen gestreckten Bereich 38 beinhaltet.

In Figur 4B ist für den gestreckten Bereich 38 zu erkennen, dass ein verbreiteter Statorzahn 8^+ vorhanden ist, wohingegen die übrigen Statorzähne 8 eine dazu kleinere, nämlich normale Breite aufweisen und untereinander auch gleich breit sind.

Entsprechend sollte Figur 4A für den gestauchten Bereich 36 einen verschmälerten Zahn
10 8^- oder andere Umsetzung des gestauchten Bereichs aufweisen, wobei sämtliche Statornuten 10 die gleiche Größe und Form haben, was insoweit allerdings nur eine Möglichkeit der Realisierung darstellt. Figur 4A ist nur ein Platzhalter für Möglichkeiten der Realisierung, die konkret in den Figuren 5A bis 5D dargestellt sind.

Auch die Vergrößerungen der Figuren 4B und 5A bis 5D zeigen, dass von dem Läufer
15 bzw. Rotor 4 die Zähne 12 und Nuten 14 von der Segmentierung und Verschränkung bzw. Verstauchung des Stators 6 unberührt sind.

Die Figuren 5A bis 5D zeigen somit Ausschnitte gemäß dem Ausschnitt bzw. Platzhalter der Figur 4A, und zeigen dabei unterschiedliche Möglichkeiten für die konkrete Ausgestaltung des gestauchten Bereichs 36, der in diesen Figuren 5A bis 5D entsprechend als
20 36A, 36B, 36C bzw. 36D bezeichnet wird. In diesem gestauchten Bereich sind die beiden Statorsegmente 31 und 32 gegenüber einer üblichen Anordnung, die bspw. Figur 2 zeigt, aufeinander zu gedreht. Dies ist etwa um das Maß einer Nutbreite, wobei in der gezeigten Ausgestaltung gemäß Figur 4 und damit auch gemäß den Figuren 5A bis 5D die Nutbreite etwa der Breite des Stegs 40 jedes Zahns 8 entspricht.

25 Vorzugsweise entspricht diese Verdrehung der beiden benachbarten Bereiche aufeinander zu etwa einem halben mittleren Zahnabstand bzw. Nutabstand, also einem halben Abstand von Zahnmitte zu der Mitte des nächsten Zahnes bzw. von der Mitte einer Nut zur Mitte der nächsten benachbarten Nut.

Zur Realisierung des Stauchbereichs 36A schlägt die Ausführungsform gemäß Figur
30 5A vor, die unmittelbar benachbarten Nuten $10A'$ und $10A''$ schmaler auszugestalten und dazwischen einen Trennsteg 42A vorzusehen. Dieser Trennsteg 42A kann diese beiden

Nuten 10A' und 10A'' voneinander trennen und dadurch auch etwaige eingelegte Leitungen der Statorwicklung voneinander trennen. Insoweit kann dieser Trennsteg 42A auch eine elektrisch isolierende Funktion haben. Problematisch hierbei ist, dass die Nuten 10A' und 10A'' gegenüber den Nuten 10 verkleinert sind und somit auch weniger oder schlechter Leitungen der Statorwicklung aufnehmen können.

Als eine Alternative wird somit eine Ausgestaltung gemäß Figur 5B vorgeschlagen, bei der in den Stauchbereich 36B zwei Grenznuten 10B' und 10B'' vorgesehen sind, die eine größere Tiefe aufweisen, als die übrigen Nuten 10. Die Grenznuten 10B' und 10B'' sind somit schlanker, aber tiefer ausgebildet und können damit etwa gleich viele Leitungen bzw. Leitungsadern aufnehmen, wie die übrigen Nuten 10. Die beiden Grenznuten 10B' und 10B'' werden durch einen Trennsteg 42B getrennt, der dasselbe Material aufweisen kann, wie die übrigen Zähne 8 und das Blechpaket des Stators 6 überhaupt.

Figur 5C zeigt eine ganz ähnliche Ausgestaltung wie Figur 5B, wobei aber ein Trennsteg 42C vorgesehen ist, der aus einem anderen Material als das Statorblechpaket, also als die übrigen Statorzähne 8 gefertigt ist. Das Material des Trennstegs 42C ist aus hochpermeablem, zumindest im Vergleich zu dem Statorblech höher permeablem Werkstoff gefertigt. Dafür kann bspw. sogenanntes Mu-Metall verwendet werden. Durch diesen hochpermeablen Werkstoff kann der verringerte Querschnitt dieses Trennstegs 42C ganz oder teilweise kompensiert werden. Im Gegensatz zur Ausführung gemäß Figur 5B wird der Trennsteg 42C nicht mit aus dem entsprechenden Blech gestanzt, sondern kann nach Fertigstellung des Blechpakets des Stators 6 eingesetzt werden, möglicherweise auch zusammen mit dem Einsetzen von Leitungen der Statorwicklung.

Eine weitere Ausgestaltung zeigt die Figur 5D, demnach sind die beiden Grenznuten 10D' und 10D'' nun unmittelbar benachbart, ohne einen Statorzahn dazwischen. Zur Trennung kann ein Trennsteg 42D bspw. als Isolierpapier vorgesehen sein oder gänzlich entfallen. Die Grenznuten 10D' und 10D'' haben hierbei die gleiche Form wie die übrigen Nuten 10 und weisen entsprechend gleich viel und gleich großen Raum zum Aufnehmen von Leitungen der Statorwicklung auf. Beim Einlegen solcher Leitungen der Statorwicklung müsste darauf geachtet werden, dass die möglichst gleichmäßig in diesen beiden ohne Zwischenzahn benachbarten Grenznuten 10D', 10D'' zuliegen kommen.

Figur 6 veranschaulicht die Verschaltung der Statorwicklungen eines erfindungsgemäßen Synchrongenerators schematisch gemäß einer Ausführungsform. Hierbei wird ein Synchrongenerator mit einer Aufteilung des Stators gemäß Figur 4 zugrundegelegt. Es sind

5 somit vier Statorsegmente 31 bis 34 vorgesehen, wobei das erste und dritte Segment 31 und 33 untereinander unversetzt bzw. unverschränkt sind, aber gegenüber dem zweiten und vierten Segment 32 und 34 verschränkt sind. Das zweite und vierte Segment 32, 34 sind untereinander ebenfalls nicht verschränkt bzw. versetzt. Das erste und dritte Segment 31, 33 sind somit schematisch als ein erster Bereich 44 bzw. als eine erste Segmentgruppe 44 und entsprechend sind das zweite und vierte Segment 32, 34 als ein zweiter Bereich 46 bzw. eine zweite Segmentgruppe 46 schematisch dargestellt.

10 Beide Segmentgruppen 44 und 46 tragen jeweils zwei dreiphasige Statorwicklungen 51 und 53 bzw. 52 und 54. Dabei verlaufen jeweils beide Statorwicklungen 51 und 53 bzw. 52 und 54 durch jeweils beide Segmente 31 und 33 bzw. 32 und 34 der betreffenden Segmentgruppe 44 bzw. 46. Innerhalb einer Segmentgruppe 44 bzw. 46 sind die Stränge jeweils einer Statorwicklung 51 bis 54 elektrisch in Reihe geschaltet, nämlich von einem Sternpunkt 45 bzw. 47 (nur angedeutet) durch ein erstes Statorsegment 51 oder 52, weiter durch ein zweites Statorsegment 53 bzw. 54 und schließlich zu einem der Gleichrichter 61 bis 64. Durch jedes Segment verlaufen somit zwei der Statorwicklungen 51 bis 54.

20 Bei der gezeigten Ausführungsform ist dabei jede der vier Statorwicklungen 51 bis 54 einzeln an einen ersten bis vierten Gleichrichter 61 bis 64 angeschlossen. Alle vier Gleichrichter 61 bis 64 verwenden dabei denselben Gleichspannungszwischenkreis 66, in den sie somit alle gemeinsam einspeisen. Der Gleichspannungszwischenkreis ist auch durch einen Kondensator 68 symbolisiert und ein Lastwiderstand 70 steht symbolisch für weitere anzuschließende Elemente, nämlich insbesondere einen oder mehrere anzuschließende Hochsetzsteller und/oder einen oder mehrere anzuschließende Wechselrichter zum Erzeugen eines in ein elektrisches Versorgungsnetz einzuspeisenden sinusförmigen Wechselstroms.

25 Die gezeigten Gleichrichter 61 bis 64 sind jeweils als passive, sogenannte B-6-Gleichrichter ausgestaltet.

30 Dadurch, dass Wicklungen sowohl des ersten Bereichs 44 als auch des zweiten Bereichs 46 separat jeweils an einen Gleichrichter bzw. einen Satz von Gleichrichtern angeschlossen sind, können die durch die Verschränkung bzw. den Versatz hinsichtlich etwaiger Oberschwingungen unterschiedlich erzeugte Ströme auch entsprechend separat zu dem jeweiligen Gleichrichtern und damit separat zu dem Gleichspannungszwischenkreis 66 geführt und dort durch die Gleichrichtung eingespeist werden. Durch die Gleichrichtung

werden die erzeugten Wechselströme gleichgerichtet, etwaige Oberschwingungen oder überlagerte Rippel bleiben jedoch im Wesentlichen vorhanden und können dann im Gleichspannungszwischenkreis ggf. abgeschwächt als Spannungsrippel oder Spannungsschwankungen vorhanden sein. Dabei sind die Rippel, die dem ersten Bereich 44 zu zuordnen sind, gegen die Rippeln, die dem zweiten Bereich 46 zu zuordnen sind, verschoben, werden dabei im Gleichspannungszwischenkreis überlagert und können sich dadurch gegenseitig abschwächen. Im optimalen, zumindest theoretischen Fall könnten sich die Rippel des ersten Bereichs 44 mit den Rippeln des zweiten Bereichs 46 kompensieren.

10 Durch eine zusätzlich separate Verschaltung der einzelnen Segmente 31 bis 34 kann zudem die Redundanz des Generators, nämlich insbesondere des Stators erhöht werden.

Es wird somit ein vielpoliger Synchron-Ringgenerator einer Windenergieanlage vorgeschlagen, der insbesondere zu vorher bekannten Synchrongeneratoren ansonsten gleicher Bauweise geräuschreduziert arbeiten kann.

Insbesondere wird auch ein Generator zugrunde gelegt mit sechs Phasen, nämlich ein erstes und zweites System mit je drei Phasen, und ein Stator mit 12 Nuten je Polteilung sowie einem Diodengleichrichter. Ein solcher vielpoliger Synchron-Ringgenerator gemäß dem Stand der Technik kann pulsierende Drehmomente erzeugen mit harmonischen Anteilen u.a. 12ter Ordnung. Solche pulsierenden Drehmomente können bspw. eine Frequenz von etwa 120Hz annehmen, die natürlich abhängig von der Drehzahl ist, und störend sein kann.

Zur Lösung wird somit vorgeschlagen, die Statorwicklung, bzw. Statorwicklungen in Segmente zu unterteilen, insbesondere in vier Segmente. Die Nuten der Segmente werden so verschränkt, dass eine Verschiebung von einer halben Nutteilung zwischen den Segmenten entsteht, wie Figur 4 mit den Vergrößerungen 4A und 4B zeigt. Es ergeben sich entsprechende Wicklungsrandbereiche, die als gestauchter Bereich 36 oder gestreckter Bereich 38 ausgebildet sein können, welche sich über den Umfang des Stators abwechseln. Die Gestaltung dieser Wicklungsrandbereiche kann wie in den Figuren 5A bis 5D gezeigt ist, vorgenommen werden. Weitere Gestaltungsmöglichkeiten sind ebenfalls nicht ausgeschlossen.

Zudem wird vorgeschlagen, je zwei nicht nebeneinander liegende Segmente zu verschalten, nämlich zu einem Bereich. Typischerweise kann diese Verschaltung durch Reihenschaltung erfolgen. Die Verschaltung betrifft dabei jeweils zwei dreiphasige Wicklungsstränge. Jeder verschaltete Bereich besteht also aus je zwei dreiphasigen Wicklungssträngen. Vorzugsweise wird jeder Bereich mit einer 12-pulsigen Diodengleichrichtungsschaltung und einer gleichspannungsseitigen Parallelschaltung geschaltet.

Der Lösungsvorschlag wurde besonders am Beispiel der Unterteilung eines Stators in vier Segmente erläutert. Es können aber auch andere Unterteilungen vorgenommen werden, im einfachsten Fall eine Unterteilung in zwei Segmente, wobei dann jedes einzelne Segment auch ein Bereich im Sinne des ersten bzw. zweiten Bereichs 44, 46 bildet. Ebenso kann eine Unterteilung in deutlich mehr als vier Segmente, vorzugsweise in eine gerade Anzahl von Segmenten vorgenommen werden.

Figur 7 zeigt in der Schnittansicht einen Synchrongenerator 701 mit einem Stator 706 mit vier Statorsegmenten bzw. Segmenten 731 bis 734. Die Statorsegmente 731 und 733 bilden eine erste Segmentgruppe und die Statorsegmente 732 und 734 bilden eine zweite Segmentgruppe. Jede dieser Segmentgruppen 731, 733 bzw. 732, 734 weist 42 Polpaare auf und damit eine Anzahl Polpaare, die kein Vielfaches von vier ist. Entsprechend weisen die Statorsegmente einer Segmentgruppe unterschiedlich viele Polpaare auf, nämlich das erste Statorsegment 731 weist 24 Polpaare auf und das zweite Statorsegment 733 weist 18 Polpaare auf. Entsprechend weist von der zweiten Segmentgruppe das Statorsegment 732 24 Polpaare auf und von derselben Segmentgruppe weist das Statorsegment 734 18 Polpaare auf. Damit weist auch jedes dieser vier Statorsegmente 731 bis 734 als Anzahl Polpaare ein Vielfaches von sechs auf, oder anders ausgedrückt ist die Anzahl Polpaare jedes der Statorsegmente 731 bis 734 ohne Rest durch die Zahl Sechs teilbar.

Im Übrigen sind in der Figur 7 die Statornuten mit dem Bezugszeichen 710 und die Statorzähne mit dem Bezugszeichen 708 gekennzeichnet. Der Rotor 4 kann dem Rotor 4 der Figur 4 entsprechen und zu seiner weiteren Beschreibung wird insoweit auch zur Erläuterung zur Figur 4 verwiesen.

Die Trennung zwischen den einzelnen Statorsegmente 731 bis 734 ist durch entsprechende Trennstriche 735 angedeutet. Gegenüber der Ausführungsform der Figur 4 ergibt sich dadurch eine Verschiebung des gestreckten Bereichs 738, der ebenfalls einen verbreiterten Statorzahn 708⁺ aufweist. Dieser gestreckte Bereich 738 mit dem verbreite-

ten Zahn 708⁺ ist in dem Ausschnitt B der Figur 7 angeordnet, der vergrößert in Figur 7A dargestellt ist. Abgesehen von der Verschiebung dieses gestreckten Bereichs 738 bzw. verbreiterten Zahns 708⁺ gelten die übrigen Beschreibungen dazu zu der Ausführungsform gemäß Figur 4 und der vergrößerten Darstellung der Figur 4B sinngemäß auch für
5 die Ausführungsform der Figur 7 bzw. 7A.

Der gestauchte Bereich 736 ist im Grunde unverändert und befindet sich auch in der Markierung A gemäß Figur 7. Für diese Markierung A kommen auch verschiedene Varianten in Betracht, wie sie in den Figuren 5A bis 5D beschrieben sind. Insoweit wird auf diese Figuren 5A bis 5D verwiesen.

10 Figur 8 veranschaulicht das Wicklungsschema für einen Synchrongenerator gemäß einer Ausführungsform für ein Statorsegment, wie bspw. das Statorsegment 733 der Figur 7 mit 18 Polpaaren. Dieses Statorsegment, das in Figur 8 das Bezugszeichen 833 trägt, ist in Figur 8 als gestrecktes Element ohne Krümmung dargestellt, um dadurch die Veranschaulichung des Wickelschemas zu vereinfachen. Figur 8 zeigt dabei eine Draufsicht auf
15 entsprechende Zähne 808 und Nuten 810 gemäß Ansicht 8A, eine Seitenansicht auf das Statorsegment 3 gemäß Ansicht 8B, eine Seitenansicht auf einen ebenfalls linear dargestellten Teil des Rotors 804 gemäß Ansicht 8C, wobei auch hier die Darstellung schematisch ist und ohne Krümmung, und eine Draufsicht auf die Rotorzähne bzw. Polschuhe des Rotors 804 gemäß der Darstellung D.

20 Die Ansicht 8A der Figur 8 verdeutlicht das Wicklungsschema im Grunde von links beginnend mit dem Wicklungsstrang 850, der durch eine erste Nut 851 gelegt wird, also im Grunde in eine Vorwärtsrichtung, und durch eine zweite Nut 852 zurückgeführt wird. Dieser Wicklungsstrang 850 wird dann zur ersten Nut 851 geführt und dort ein weiteres Mal hindurch gelegt und durch die zweite Nut 852 wieder zurückgeführt. Dies wird noch
25 zwei weitere Male wiederholt, so dass der Wicklungsstrang 850 dann um sechs Zähne 808 in drei vollständigen Schleifen 858 herum gelegt ist. Elektromagnetisch wirksam sind hierdurch aber vier Windungen, weil der Anfangs einlaufende Wicklungsstrang, der gemäß Figur 8, Ansicht 8A von links kommt, letztlich mit dem Teil des Wicklungsstrangs 850, der die zweite Nut 852 nach rechts verlässt, schließlich, nachdem wenigstens das
30 gezeigte Statorsegment 833 vollständig gewickelt ist, elektrisch wirksam verbunden wird.

Nachdem der Wicklungsstrang 850 zum vierten Mal durch die zweite Nut 852 zurückgeführt wurde, wird er nun in eine dritte Nut 853 eingelegt und durch eine vierte Nut 854 zurückgeführt und dies wird wiederholt, bis sich wieder drei Schleifen bzw. vier elektro-

magnetisch wirksame Windungen ergeben. Dies wird abermals in einer fünften und sechsten Nut 855 bzw. 856 wiederholt, bis der Wicklungsstrang 850 gemäß Figur 8, Ansicht 8A an der rechten Seite angekommen ist. Von dort kann der Wicklungsstrang 850 einem weiteren Statorsegment zugeleitet werden, oder an einen Ausgang angeschlossen werden, um dort einen zu erzeugenden Strom bereitzustellen.

Die Ansicht 8B zeigt schematisch alle Zähne 808 und Nuten 810 des Statorsegmentes 833. Zur Veranschaulichung sind die Nuten 810 von A bis F gekennzeichnet, wobei jeweils ein Buchstabe für einen Wicklungsstrang einer Phase steht. Die in Ansicht 8A verdeutlichte Wicklung betrifft dabei den Strang für die Phase, die mit dem Buchstaben D gekennzeichnet ist. Dabei kennzeichnet D+ jeweils eine Hinführung des Wicklungsstrangs 850 und die D- kennzeichnet jeweils eine Rückführung des Wicklungsstranges 850. Die übrigen Buchstaben A bis C sowie E und F sind mit entsprechenden Symbolen versehen, also "+" für das Hinführen und "-" für das Zurückführen.

Der Ansicht 8B der Figur 8 ist auch zu entnehmen, dass der Wicklungsstrang jeweils in vier Lagen in jeder Statornut 810 vorgesehen ist. Im Übrigen deutet auch die Ansicht 8 B an, dass für die übrigen Phasen A bis C, E und F jeweils eine sinngemäße Wicklung vorgesehen ist, wie die Ansicht für nur eine Phase, die nämlich die Phase D verdeutlicht.

Die Ansicht 8C zeigt von dem Rotor 804 einen Ausschnitt mit sechs Polschuhen 860, die jeweils einen abwechselnden Richtungssinn aufweisen, um bei einer Erregung mittels Gleichstrom in den Erregersträngen 862 jeweils ein Magnetfeld mit umgekehrter Richtung bezogen auf den jeweiligen Nachbarpolschuh zu erzeugen. Jeder Polschuh 860 weist einen Polschuhkopf 864 auf, der etwa pfeilförmig ist, wie die Ansicht 8D erkennen lässt. Die Bewegungsrichtung des Rotors 804 ist bestimmungsgemäß in Richtung des Bewegungspfeils 866 gerichtet. Zwei Polschuhe 860 und damit zwei Rotorpole, also ein Rotorpolpaar, erstrecken sich insgesamt über 12 Statorzähne 808 bzw. 12 Statornuten 810 und damit über sechs Statorpolpaare.

Figur 9 zeigt bzw. verdeutlicht ein Wicklungsschema für einen zwölfpoligen Zwölf-Phasen-Synchrongenerator in einer ganz ähnlichen Darstellung wie die Figur 8. Der zugrunde liegende Synchrongenerator weist vier Segmente 931 bis 934 auf. Das erste und dritte Segment 931 und 933 bilden eine erste Segmentgruppe und das zweite und vierte Segment 932 und 934 bilden eine zweite Segmentgruppe. Jede dieser beiden Segmentgruppen weist zwei dreiphasige Wicklungen, jeweils also sechs Wicklungen auf. Zur Veranschaulichung ist aber jeweils nur eine Wicklung bzw. nur ein Wicklungsstrang

950 bzw. 980 dargestellt. Die Figur 9 zeigte ebenfalls vier Ansichten im Sinne der Ansichten 8A bis 8D, nämlich entsprechend als Ansichten 9A bis 9D. Allerdings gibt nur die Darstellung 9A einen durchgehenden Wicklungsstrang 950 bzw. 980 wieder.

Für die erste Segmentgruppe bestehend aus dem ersten und dritten Segment 931 und 933 beginnt der Wicklungsstrang 950 an einem gemeinsamen Sternpunkt 995. Der Wicklungsstrang 950 ist Teil einer dreiphasigen Wicklung mit zwei weiteren, in der Figur 9 aber nicht dargestellten Wicklungssträngen. Diese drei Wicklungsstränge bilden somit ein dreiphasiges System und sind an dem Sternpunkt 995 miteinander verbunden. Von diesem Sternpunkt 995 aus wird der Wicklungsstrang 950 zunächst durch eine erste Nut 951 geführt und durch eine zweite Nut 952 zurückgeführt und durch diese beiden Nuten 951, 952 in drei Schleifen 958 und damit vier elektromagnetisch wirksame Windungen gelegt. Anschließend wird dieser Wicklungsstrang 950 weiter zum ersten Segment 931 geführt und dort durch eine dritte Nut 953 gelegt und durch eine vierte Nut 954 zurückgeführt, bis sich drei Schleifen gebildet haben. Der Wicklungsstrang setzt dann in einer fünften Nut 955 fort und wird unter Bildung von drei Schleifen mehrfach durch eine sechste Nut 956 zurückgeführt. Schließlich endet die Darstellung für den Wicklungsstrang 950 an einem Anschlusspunkt 996. Von diesem Anschlusspunkt wird der Wicklungsstrang 950 bzw. eine andere angeschlossene elektrische Leitung zu einem Gleichrichter wie dem B-6-Gleichrichter 61 gemäß Fig. 6 zugeführt, nämlich einem Zweig mit zwei Dioden.

In gleicher Art und Weise werden die übrigen Nuten mit den übrigen fünf Strängen dieser zwei dreiphasigen Systeme versehen, so dass dann alle Nuten dieser ersten Segmentgruppe des ersten und zweiten Segmentes 931 und 933 ausgefüllt sind.

Sinngemäß erfolgt eine Wicklung des zweiten und vierten Segments 932 und 934 der zweiten Segmentgruppe mit dem Wicklungsstrang 980. Dieser wird von dem gemeinsamen Sternpunkt 998 über eine erste bis sechste Nut 981 bis 986 mit entsprechenden Schleifen 988 gewickelt und endet am Anschlusspunkt 999 zum Anschließen an einen Gleichrichter.

Der Synchrongenerator gemäß Figur 9 weist eine erste und eine zweite Segmentgruppe mit jeweils 18 Polpaaren auf. Es sind also vier Statorsegmente 931 bis 934 vorgesehen, die jeweils in zwei Segmentgruppen 931 und 933 sowie 932 und 934 gruppiert sind. Jede Segmentgruppe weist somit nicht eine Anzahl Polpaare auf, die ein Vielfaches von vier ist und somit weisen die Statorsegmente einer Segmentgruppe unterschiedlich viele Polpaare auf, nämlich das jeweils größere Statorsegment 931 bzw. 932 zwölf Polpaare

und das jeweils kleinere Statorsegment 933 bzw. 934 sechs Polpaare. Es wird darauf hingewiesen, dass die vorgesehene Verschränkung zur vereinfachten Darstellung des Wicklungsschemas in Figur 9 nicht gezeigt wurde. Figur 9 soll das Wicklungsschema verdeutlichen.

Ansprüche

1. Synchrongenerator (1), insbesondere vielpoliger Synchron-Ringgenerator (1) einer getriebelosen Windenergieanlage (101), zum Erzeugen elektrischen Stroms, umfassend
 - 5 - einen Rotor (4) und
 - einen Stator (6) mit Zähnen (8) und dazwischen angeordneten Nuten (10) zum Aufnehmen einer Statorwicklung, wobei der Stator (6) in Umfangsrichtung in Statorsegmente (31-34) mit jeweils mehreren Zähnen (8) und Nuten (10) eingeteilt ist und wenigstens zwei Statorsegmente (31-10 34) in Umfangsrichtung gegeneinander versetzt oder verschränkt sind.
2. Synchrongenerator (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Zahn (8) einen Statorpol bildet und zwei Statorpole ein Polpaar bilden und die Anzahl Polpaare jedes Statorsegmentes (31—34) ein Vielfaches von zwei, insbesondere ein Vielfaches von sechs ist.
15
3. Synchrongenerator (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass vier Statorsegmente (31-34) vorgesehen sind und die Statorsegmente (31-34) in zwei Segmentgruppen (31,33; 32,34) gruppiert sind, wobei die Anzahl Polpaare jeder Segmentgruppe (31,33; 32,34) ein Vielfaches von vier ist, oder die Statorsegmente (31-34) einer Segmentgruppe (31,33; 32,34) unterschiedlich viele Polpaare aufweisen.
20
- 25 4. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - Nuten (10) und Zähne (8) jeweils eines Statorsegmentes (31-34) äquidistant angeordnet sind und
 - die wenigstens zwei Statorsegmente (31-34) in Umfangsrichtung so gegeneinander versetzt oder verschränkt sind, dass benachbarte Zähne (8) der benachbarten Statorsegmente (31-34) oder benachbarte Nuten (10) der benachbarten Statorsegmente (31-34) einen anderen Abstand zueinander aufweisen als benachbarte Zähne (8) bzw. Nuten (10) desselben Statorsegmentes (31-34).
30

5. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- eine erste und eine zweite Nut (10) eines ersten Statorsegmentes (31) oder
 - ein erster und ein zweiter Zahn (8) des ersten Statorsegmentes (31) einen
 - 5 mittleren Abstand zu einander von $n \cdot a$ aufweisen, wobei
 - a ein mittlerer Abstand zweier benachbarter Nuten (10) bzw. Zähne (8) des ersten Statorsegmentes (31) ist und
 - n die Anzahl der zwischen der ersten und zweiten Nut (10) liegenden Nuten (10) bzw. zwischen dem ersten und zweiten Zahn (8) liegenden Zähne (8)
 - 10 weniger eins ist, und wobei
 - die erste Nut (10) zu einer weiteren Nut (10), die auf einem zweiten Statorsegment (32) liegt, bzw.
 - der erste Zahn (8) zu einem weiteren Zahn (8), der auf dem zweiten Statorsegment (32) liegt, einen mittleren Abstand von $n \cdot a + v$ oder $n \cdot a - v$ beträgt,
 - 15 wobei v den Versatz bzw. die Verschränkung zwischen dem ersten und dem zweiten Statorsegment (31, 32) beschreibt und sowohl größer 0 als auch kleiner a ist.
6. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 20 der Versatz bzw. die Verschränkung (v) einen Wert im Bereich von $0,2 \cdot a$ bis $0,3 \cdot a$, insbesondere von $0,25a$ aufweist.
7. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 25 jedes Statorsegment (31-34) einen Teil der Statorwicklung als Wicklungssegment (51-54) aufnimmt und Wicklungssegmente (51, 53; 52, 54) nicht benachbarter Statorsegmente (31, 33; 32, 34), insbesondere einer Segmentgruppe (31,33; 32,34), miteinander verschaltet sind und/oder die Wicklungssegment (51-54) wechselseitig mit einem ersten und einem zweiten Gleichrichter (61-64) verbunden sind, wobei
- 30 beide Gleichrichter vorzugsweise auf einen gemeinsamen Gleichspannungszweischlenkreis speisen, insbesondere ist jede Segmentgruppe (31,33; 32,34) jeweils mit einem als B12-Brücke ausgebildeten Gleichrichter verbunden.
8. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

Wicklungssegmente (51, 53; 52, 54) nicht benachbarter Statorsegmente (31, 33; 32, 34) mit einander elektrisch in Reihe verschaltet sind.

9. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 5 die Statorwicklung bzw. die Wicklungssegmente phasenweise Wicklungsstränge (850) aufweisen,
- ein Wicklungsstrang (850) in einem ersten Statorsegment (31) durch eine erste Nut (851) gelegt und durch eine zweite Nut (852) zurückgeführt wird,
 - das Verlegen durch diese erste und zweite Nut (851,852) wiederholt wird,
 - 10 insbesondere so, dass wenigstens eine, insbesondere drei Schleifen durch diese beiden Nuten (851, 852) und damit um die dazwischen liegenden Zähne (8) gelegt werden, so dass sich eine elektromagnetisch wirksame Windungszahl von vier ergibt, und
 - sich die Verlegung dieses Wicklungsstranges (850) dann in diesem Sinne in
 - 15 einer dritten und vierten Nut (853,854) und ggf. in entsprechend weiteren Nuten (855,856) fortsetzt, bis der Wicklungsstrang (850) zur einer ersten Nut eines weiteren Statorsegmentes (833) geführt wird, bzw. dort mit einem Wicklungsstrangs des weiteren Statorsegmentes verbunden wird, oder an einen Ausgang angeschlossen wird.
 - 20
10. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- zwischen der ersten und zweiten Nut (851,852) bzw. in der wenigstens einen Schleife fünf Nuten (8) und sechs Zähne (10) liegen.
- 25
11. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- ein Wicklungsstrang (850) kontinuierlich durch ein Statorsegment (31-34) und/oder durch alle Statorsegmente (31,33; 32,34) einer Segmentgruppe (31,33; 32,34) ge-
- 30 wickelt wird.
12. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- dass der Stator (6) und/oder die Statorwicklung punktsymmetrisch ist, insbesonde-
- 35 re zu einer Drehachse (2) des Synchrongenerators (1).

13. Synchrongenerator (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
alle Nuten (10) des Stators (6) gleich sind und der Versatz bzw. die Verschränkung
(v) der Statorsegmente (31-34) durch entsprechend angepasste Zähne (8⁺, 8⁻) er-
reicht wird, insbesondere durch in Umfangsrichtung vergrößerte oder verkleinerte
Zähne (8⁺, 8⁻) im Kontaktbereich benachbarter Statorsegmente (31-34).
14. Blechsatz mit mehreren Statorblechen zum Zusammensetzen zu einem Sta-
torblechpaket, insbesondere eines Synchrongenerators (1) gemäß einem der vor-
stehenden Ansprüche, wobei jedes Statorblech mehrere Nutbereiche und mehrere
Zahnbereiche zum Herstellen von Nuten (10) und Zähnen (8) aufweist, und der
Blechsatz umfasst
- wenigstens ein Normalblech mit Zahnbereichen und Nutbereichen zum Her-
stellen gleicher Nuten (10) bzw. Zähne (8),
 - wenigstens ein Streckblech mit einem gestreckten Bereich (38)
 - zum Herstellen eines in Umfangsrichtung verbreiterten Zahns (8⁺) oder
Zahnbereichs, oder
 - zum Herstellen einer in Umfangsrichtung verbreiterten Nut oder Nutbereichs,
und
 - wenigstens ein Stauchblech mit einem gestauchten Bereich (36)
 - zum Herstellen eines in Umfangsrichtung verschmälerten Zahns (8⁻) oder
Zahnbereichs, oder
 - zum Herstellen einer in Umfangsrichtung verschmälerten Nut oder Nutbe-
reichs.
15. Blechsatz nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, dass
- jedes Streckblech seinen gestreckten Bereich (38) in Umfangsrichtung au-
ßermittig, insbesondere etwa in einem ersten oder letzten Drittel aufweist
und/oder
 - der gestreckte Bereich (38) in Umfangsrichtung spiegelsymmetrisch ist
und/oder
 - jedes Stauchblech seinen gestauchten Bereich (36) in Umfangsrichtung au-
ßermittig, insbesondere etwa in einem ersten oder letzten Drittel aufweist
und/oder
 - der gestauchte Bereich (36) in Umfangsrichtung spiegelsymmetrisch ist.

16. Verfahren zum Herstellen eines Statorblechpaketes, umfassend die Schritte
- Herstellen einer ersten Blechschicht aus Normalblechen, Streckblechen und Stauchblechen eines Blechsatzes gemäß Anspruch 10, wobei
 - 5 - die Streckbleche in Bereichen angeordnet werden, in denen Statorsegmente mit einem positiven Versatz aneinander grenzen, und
 - die Stauchbleche in Bereichen angeordnet werden, in denen Statorsegmente mit einem negativen Versatz aneinander grenzen
 - Herstellen einer zweiten Blechschicht, wobei
 - Streckbleche und Stauchbleche
 - 10 - so gegenüber den Streckblechen bzw. Stauchblechen der ersten Schicht umgedreht werden, dass ihre Oberseite nach unten und ihre Unterseite nach oben kommt und
 - sie jeweils mit ihrem Streckbereich bzw. Stauchbereich aufeinander gelegt werden, wodurch eine teilweise Überlappung der jeweiligen Bleche dadurch
 - 15 entsteht, dass die Streckbereiche bzw. Stauchbereiche außermittig angeordnet sind.
17. Windenergieanlage (101) mit einem Synchrongenerator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13.