

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902089690A1

Publication Date

20140405

Applicant

WILIC S.AR.L.

Title

IMPIANTO EOLICO PER LA GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"IMPIANTO EOLICO PER LA GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA"

di WILIC S.AR.L.

di nazionalità del Lussemburgo

con sede: 41, BOULEVARD DU PRINCE HENRY

1724 LUXEMBOURG (LUSSEMBURGO)

Inventori: BAGNARA Davide, CASAZZA Matteo, MANDRIOLI

Leonardo

*** ***** ***

La presente invenzione riguarda un impianto eolico per la produzione e l'erogazione di energia elettrica a una rete elettrica.

In particolare, la presente invenzione riguarda un impianto eolico per la produzione e l'erogazione di energia elettrica a una rete elettrica comprendente:

un gruppo pale;

una macchina elettrica comprendente uno statore e un rotore per generare energia elettrica e accoppiata al gruppo pale;

un sistema di trasmissione elettrica per collegare lo statore alla rete elettrica;

e un dispositivo di controllo per controllare l'impianto eolico.

L'impianto eolico, come già detto, fornisce energia

alla rete elettrica ad una determinata tensione, che deve essere uguale alla tensione della rete elettrica stessa, ed eroga una determinata corrente. La tensione della rete elettrica è stabilita da un gestore dell'energia elettrica al quale l'impianto eolico è allacciato, mentre la corrente erogata è funzione del vento disponibile e della richiesta di energia da parte del gestore.

Durante il funzionamento dell'impianto eolico si possono verificare dei malfunzionamenti, per esempio, causati dai componenti dell'impianto eolico oppure dalla rete elettrica.

Nel caso in cui si ha un malfunzionamento del sistema di trasmissione elettrica, si verifica un cosiddetto buco di coppia, cioè una variazione repentina della coppia sull'albero.

Tale buco di coppia produce forti stress e oscillazioni sul rotore e in particolar modo sulle pale, che possono provocare la rottura delle pale.

Per evitare questo inconveniente è necessario dimensionare il rotore e le pale in modo che possano sostenere elevati stress ed oscillazioni. L'impianto eolico, quindi, sarà fornito di strutture rotanti, in particolare pale, rinforzate e sovradimensionate rispetto ai carichi ordinari, comportando un aggravio di peso e di costi sull'impianto eolico.

Uno scopo della presente invenzione è quello di realizzare un impianto eolico per la produzione di energia elettrica in grado di limitare gli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione è realizzato un impianto eolico per la produzione e l'erogazione di energia elettrica a una rete elettrica; l'impianto eolico comprendendo:

un gruppo pale;

almeno una macchina elettrica, accoppiata al gruppo pale, per generare energia elettrica e comprendente un rotore e uno statore suddiviso in un numero di sottosistemi statorici;

un sistema di trasmissione elettrica per collegare il numero di sottosistemi statorici alla rete elettrica di trasmissione e comprendente un gruppo di trasmissione elettrica per ciascun sottosistema statorico collegato al rispettivo sottosistema statorico;

l'impianto eolico comprendendo un dispositivo di controllo accoppiato ai gruppi di trasmissione elettrica per ricevere segnali di malfunzionamento dai gruppi di trasmissione elettrica e configurato per definire il valore di riferimento individuale di coppia desiderata in base ai segnali di malfunzionamento dei gruppi di trasmissione elettrica in modo da ridurre salti di coppia del rotore.

Grazie alla presente invenzione in caso di un malfunzionamento il salto massimo di coppia è minore rispetto all'arte nota e questo riduce il peso e il costo del gruppo pale dal momento che deve resistere a stress minori rispetto all'arte nota. Infatti, il valore del salto di coppia può essere al massimo il valore della coppia nominale diviso il numero di gruppi di trasmissione elettrica. Nel caso di un malfunzionamento di un gruppo di trasmissione elettrica, verrà disattivato solo il gruppo di trasmissione elettrica interessato al guasto e, di conseguenza, il salto di coppia sarà minore rispetto all'arte nota. Inoltre, grazie al dispositivo di controllo che, in caso di malfunzionamenti, agisce per ridefinire il valore di riferimento individuale di coppia desiderata, è possibile aumentare il valore di riferimento individuale di coppia desiderata dei gruppi di trasmissione elettrica funzionanti e, di conseguenza, mantenere costante il valore di coppia anche durante un malfunzionamento di un gruppo di trasmissione elettrica.

Un altro scopo della presente invenzione è quello di quello di realizzare un impianto eolico per la produzione di energia elettrica in grado di limitare ridurre le oscillazioni e gli stress sul rotore e sulle pale quando si esegue una fase di frenatura.

Secondo la presente invenzione è realizzato un

impianto eolico per la produzione e l'erogazione di energia elettrica a una rete elettrica; l'impianto eolico comprendendo:

un gruppo pale;

almeno una macchina elettrica, accoppiata al gruppo pale, per generare energia elettrica e comprendente un rotore e uno statore;

un sistema di trasmissione elettrica per collegare lo statore alla rete elettrica e comprendente almeno un gruppo di trasmissione elettrica;

l'impianto eolico essendo caratterizzato dal fatto di comprendere un'unità di controllo configurata per controllare l'almeno gruppo di trasmissione elettrica e per eseguire una prima fase di frenatura secondo una prima modalità di frenatura o una seconda modalità di frenatura o una terza modalità di frenatura e selezionare la modalità di frenatura in base alla velocità del rotore e preferibilmente in base alla coppia del rotore.

Un altro scopo della presente invenzione è quello di fornire un metodo di controllo di un impianto eolico per la generazione di energia elettrica che risolva gli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione è fornito un metodo di controllo di un impianto eolico per la generazione di energia elettrica, l'impianto eolico comprendendo:

un gruppo pale;

almeno una macchina elettrica accoppiata al gruppo pale per generare energia elettrica e comprendente un rotore e uno statore suddiviso in un numero di sottosistemi statorici;

un sistema di trasmissione elettrica per collegare il numero di sottosistemi statorici alla rete elettrica di trasmissione e comprendente un gruppo di trasmissione elettrica per ciascuno sottosistema statorico collegato a un rispettivo sottosistema statorico;

il metodo comprendendo rilevare malfunzionamenti di ciascun gruppo di trasmissione elettrica e controllare indipendentemente ciascun gruppo di trasmissione elettrica in base ai malfunzionamenti rilevati in modo da ridurre salti di coppia del rotore.

Un altro scopo della presente invenzione è quello di fornire un metodo di controllo di un impianto eolico per la generazione di energia elettrica in grado di ridurre le oscillazioni e gli stress sul rotore e sulle pale quando si esegue una fase di frenatura.

Secondo la presente invenzione è fornito un metodo di controllo di un impianto eolico per la generazione di energia elettrica, impianto eolico comprendendo:

un gruppo pale;

almeno una macchina elettrica, accoppiata al gruppo

pale, per generare energia elettrica e comprendente un rotore e uno statore;

un sistema di trasmissione elettrica per collegare lo statore alla rete elettrica e comprendente almeno un gruppo di trasmissione elettrica; il metodo comprendendo la fase di controllare l'almeno gruppo di trasmissione elettrica per eseguire una prima fase di frenatura secondo una prima modalità di frenatura o una seconda modalità di frenatura o una terza modalità di frenatura; e selezionare la modalità di frenatura in base alla velocità del rotore e preferibilmente in base alla coppia del rotore.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi della presente invenzione appariranno chiari dalla descrizione che segue di un suo esempio non limitativo di attuazione, con riferimento alle figure dei disegni annessi, in cui:

- la figura 1 è una vista in elevazione laterale in scala ingrandita, con parti asportate per chiarezza e parti in sezione, di un impianto eolico realizzato in accordo con una forma di attuazione della presente invenzione; e

- la figura 2 è una schema a blocchi funzionale dell'impianto eolico realizzato in accordo con la forma di attuazione della figura 1.

Con riferimento alla figura 1, con 1 è indicato un impianto eolico per la generazione di energia elettrica, nella fattispecie, un impianto eolico a trasmissione

diretta e a velocità angolare variabile.

L'impianto eolico 1 comprende una struttura di sostegno 2; una navicella 3 accoppiata in modo girevole attorno ad un asse A1 alla struttura di sostegno 2; un mozzo 4 accoppiato alla navicella 3 in modo girevole attorno ad un asse A2 e gruppo pale 5 comprendente una pluralità di pale 5 accoppiate al mozzo 4 e orientabili attorno a rispettivi assi A3; una macchina elettrica 6 caratterizzata da una velocità nominale ω_{nom} , una velocità massima ω_{nom} e da una coppia nominale totale C_{tot}^{nom} ; un sistema di trasmissione elettrica 7 (figura 2) e un dispositivo di controllo 8 per controllare l'impianto eolico 1.

Con riferimento alla figura 2, l'impianto eolico 1 è configurato per la produzione e l'erogazione di energia elettrica a una rete elettrica 9.

Con riferimento alla figura 1, la macchina elettrica 6 comprende uno statore 10 anulare e un rotore 11 anulare, il quale è accoppiato allo statore 10 magneticamente e meccanicamente in modo girevole attorno all'asse A2 attraverso un gruppo cuscinetto (non visibile nelle figure allegate). In sostanza, la macchina elettrica 6 è un generatore elettrico anulare.

La macchina elettrica 6 è accoppiata alla rete elettrica 9 attraverso il sistema di trasmissione elettrica 7.

Il mozzo 4 è fissato direttamente al rotore 11 per trasferire il moto rotatorio indotto dal vento al rotore 11 stesso.

La navicella 3 è fissata alla struttura di sostegno 2 in modo girevole attorno all'asse A1, per direzionare il mozzo 4 e la pluralità di pale 5 a favore di vento.

Con riferimento alla figura 1, il mozzo 4, la pluralità di pale 5 e il rotore 11 definiscono un gruppo rotante 12 in parte alloggiato all'interno della navicella 3. Nella fattispecie, il rotore 11 è alloggiato all'interno della navicella 3 ed è supportato unicamente dal gruppo cuscinetto disposto in corrispondenza del mozzo 4.

Lo statore 10 comprende un numero N di sottosistemi statorici, ciascuno dei quali comprende un avvolgimento statorico multifase 13, nella versione preferita di attuazione della presente invenzione gli avvolgimenti statorici multifase sono trifase.

Il rotore 11 è cavo e comprende una pluralità di moduli magnetizzati, in particolare magneti permanenti, organizzati in segmenti rotorici.

Nella fattispecie illustrata, la macchina elettrica 6 è di tipo sincrono, preferibilmente trifase, beninteso che la presente invenzione si estende a qualsiasi tipo di macchina elettrica rotante, per esempio generatori elettrici asincroni, preferibilmente trifase, con rotore a

gabbia di scoiattolo oppure generatori elettrici sincroni con un rotore avente avvolgimenti rotorici in luogo di magneti permanenti.

Il sistema di trasmissione elettrica 7 comprende un gruppo di trasmissione elettrica 14 per ciascuno degli avvolgimenti statorici multifase 13. In altre parole, il sistema di trasmissione elettrica 7 è suddiviso in gruppi di trasmissione elettrica 14 indipendenti e elettricamente isolati tra loro.

Ciascun gruppo di trasmissione elettrica 14 comprende una linea di connessione multifase 18, in particolare trifase, e un convertitore a commutazione 19 accoppiato alla macchina elettrica 6 attraverso la linea di connessione multifase 18. Inoltre, ciascun gruppo di moduli convertitori 14 comprende un circuito di connessione in corrente continua 20 ("DC link") e un convertitore a commutazione 21 accoppiato al convertitore a commutazione 19 attraverso il circuito di connessione in corrente continua 20. Inoltre, ciascun gruppo di moduli convertitori 14 comprende una linea di connessione multifase 22 per accoppiare il convertitore a commutazione 21 alla rete elettrica 9 in un punto di scambio 23.

Il convertitore a commutazione 19 può comprendere un ponte di interruttori pilotati come, ad esempio, IGBT, MOSFET di potenza o altri.

Il convertitore a commutazione 21 può comprendere un ponte di interruttori pilotati come, ad esempio, IGBT, MOSFET di potenza o altri.

Inoltre, ciascun gruppo di trasmissione elettrica 14 comprende un modulo di frenatura 26, il quale è connesso al circuito di connessione in corrente continua 20 e comprende un convertitore di tensione continua 27 e una resistenza elettrica 28. Il convertitore di tensione continua 27 e la resistenza elettrica 28 sono configurati per dissipare una quantità di energia dissipabile totale E_T^D del circuito di connessione in corrente continua 20. Il modulo di frenatura definisce in ogni istante una quantità di energia dissipabile residua E_r^D che corrisponde all'energia elettrica massima oltre la quale la resistenza elettrica 28 si danneggia.

Ciascun gruppo di trasmissione elettrica 14 comprende un'unità di controllo 30 accoppiata al rispettivo convertitore a commutazione 19 per controllare il convertitore a commutazione 19; al rispettivo convertitore a commutazione 21 per controllare il convertitore a commutazione 21; e al convertitore di tensione continua 27 per controllare il convertitore di tensione continua 27. Inoltre, l'unità di controllo 30 rileva eventuali malfunzionamenti dei convertitori a commutazione 19 e 21 e del convertitore 27.

Il dispositivo di controllo 8 è accoppiato a ciascuna unità di controllo 30 per controllare ciascun gruppo di trasmissione elettrica 14.

Ciascun gruppo di trasmissione elettrica 14 è disposto in modo da funzionare in maniera indipendente dagli altri gruppi di trasmissione elettrica 14, di conseguenza il funzionamento di un gruppo di trasmissione elettrica 14 non influisce direttamente sul funzionamento degli altri gruppi di trasmissione elettrica 14.

In maggior dettaglio, il funzionamento di un gruppo di trasmissione elettrica 14 è funzione solo dei comandi inviati dal dispositivo di controllo 8. A tale scopo il dispositivo di controllo 8 è collegato alle unità di controllo 30 tramite un bus di comunicazione 31.

In uso, durante il normale funzionamento, l'unità di controllo 30 controlla i gruppi di trasmissione elettrica 14 in modo che l'energia elettrica fornita dalla macchina elettrica 6 alimenti la rete elettrica 9. In particolare, l'unità di controllo 30 adatta la tensione elettrica e/o la frequenza elettrica e/o la corrente elettrica prodotta dagli avvolgimenti statorici multifase 13 con la tensione elettrica e la frequenza elettrica della rete elettrica 9. Nel caso in cui sia presente il trasformatore 25, l'unità di controllo 30 adatta la tensione elettrica e/o la frequenza elettrica e/o la corrente elettrica prodotta

degli avvolgimenti statorici multifase 13 con la tensione elettrica e la frequenza elettrica del ramo del trasformatore 25 posto verso la macchina elettrica 6.

Inoltre, l'unità di controllo 30 controlla il convertitore a commutazione 19 per controllare la coppia al rotore 11. In maggior dettaglio, l'unità di controllo 30 e il convertitore a commutazione 19 sono configurati in modo da funzionare in un intervallo che va un valore di coppia nominale individuale $C^{n^{nom}}$ a un valore di coppia minima individuale $C^{n^{min}}$ e da una velocità minima ω^{min} a una velocità massima ω^{max} . Al valore di coppia nominale individuale $C^{n^{nom}}$ corrisponde un riferimento di coppia nominale individuale desiderata $C_d^{n^{nom}}$. Al valore di coppia minima individuale $C^{n^{min}}$ corrisponde un riferimento di coppia minima individuale desiderata $C_d^{n^{min}}$. Inoltre, l'unità di controllo 30 controlla il convertitore a commutazione 21 per controllare il circuito di connessione in corrente continua 20 e per fornire corrente alla rete elettrica 9.

Inoltre, ciascuna unità di controllo 30 è accoppiata ai rispettivi avvolgimenti statorici multifase 13 per rilevare e controllare quantità elettriche statoriche.

L'impianto eolico 1 comprende un blocco di misura 45 per ciascuna unità di controllo 30, in cui il blocco di misura 45 è accoppiato ai rispettivi avvolgimenti statorici multifase 13 per rilevare dette quantità elettriche

statoriche. In particolare, il blocco di misura 45 è accoppiato alla rispettiva linea di connessione multifase 18 per rilevare le dette quantità elettriche statoriche. L'unità di controllo 30 è accoppiata al rispettivo blocco di misura 45 per ricevere le quantità elettriche statoriche. In particolare, le quantità elettriche statoriche sono correnti statoriche I_s che scorrono lungo la rispettiva linea di connessione multifase 18.

Inoltre, l'impianto eolico 1 comprende un sensore di velocità 50 accoppiato al rotore 11 della macchina elettrica 6 per rilevare la velocità angolare e la posizione del rotore 11, il sensore di velocità 50 può essere ad esempio un encoder. Inoltre, il sensore di velocità 50 è atto a fornire anche la posizione del rotore 11. Il sensore di velocità 50 è accoppiato alle unità di controllo 30. In una forma preferita di attuazione della presente invenzione, il sensore di velocità è omesso e l'unità di controllo stima la velocità del rotore attraverso le quantità elettriche statoriche rilevate tramite dal rispettivo blocco di misura.

Inoltre, il dispositivo di controllo 8 definisce un riferimento di coppia desiderato C_d calcolato in base a vari parametri dell'impianto eolico 1 e definito per massimizzare il rendimento dell'impianto eolico 1 stesso, successivamente definisce un riferimento individuale di

coppia desiderato C_d^n che è uguale al riferimento di coppia desiderato C_d diviso il numero N di gruppi di trasmissione elettrica 14 funzionanti, e lo invia alle rispettive unità di controllo 30.

Di conseguenza, le rispettive unità di controllo 30 ricevono dal blocco di misura 45 le quantità elettriche statoriche. Inoltre, ciascuna unità di controllo 30 riceve, dal dispositivo di controllo 8, il riferimento individuale di coppia desiderato C_d^n e agisce sui rispettivi convertitori a commutazione 19 e 21 in base alle correnti statoriche I_s , alla velocità del rotore 11 e al riferimento individuale di coppia desiderato C_d^n ricevuto. L'insieme dei contributi di ciascuna unità di controllo 30, che agisce sul rispettivo avvolgimento statorico multifase 13, farà in modo che la macchina elettrica 6 esibisca una coppia resistente C_r uguale alla coppia desiderata C_d . In particolare, ciascun unità di controllo 30 agisce con un controllo denominato controllo in corrente. Inoltre, il controllo in corrente può essere del tipo vettoriale.

In una versione alternativa di attuazione della presente invenzione, le quantità elettriche statoriche sono tensione di fase V_s che scorrono lungo la rispettiva linea di connessione multifase 18. In tal caso, l'unità di controllo 30 agisce con un controllo denominato controllo in tensione.

In una forma di attuazione alternativa alla presente invenzione le correnti statoriche I_s e/o la velocità del rotore 11 e/o la posizione del rotore 11 non sono rilevate ma sono stimate con metodi di calcolo.

L'impianto eolico 1 comprende un primo sistema di alimentazione elettrica 32 composto da una linea di alimentazione elettrica per alimentare le unità di controllo 30 e il dispositivo di controllo 8.

Inoltre, l'impianto eolico 1 comprende un secondo sistema di alimentazione elettrica 33 composto da una linea di trasmissione elettrica per alimentare le unità di controllo 30 e il dispositivo di controllo 8, in questo caso quando il primo sistema di alimentazione elettrica 32 ha un malfunzionamento, il secondo sistema di alimentazione elettrica 33 fornisce energia elettrica alle unità di controllo 30 e al dispositivo di controllo 8. In questo modo, l'impianto eolico 1 è robusto rispetto a malfunzionamenti del primo sistema di alimentazione elettrica 32. Quindi, nel caso di malfunzionamenti del primo sistema di alimentazione elettrica 32, non si verificano buchi di coppia pari al valore di coppia totale, di conseguenza, la coppia al rotore 11 non viene posta pari a zero e non si creano oscillazioni e sforzi sulle strutture meccaniche del rotore 11 come nell'arte nota.

Secondo una forma di attuazione alternativa, il

sistema di trasmissione elettrica 32 non è una linea di trasmissione elettrica e comprende una pluralità di unità di accumulo 35 di energia elettrica, per esempio batterie secondarie (disegnate con linee tratteggiate nella figura 2), una per ciascuna unità di controllo 30. Le unità di accumulo 35 sono collegate al primo sistema di alimentazione elettrica 31 per ricevere elettricità e caricarsi. Quando un'unità di controllo 30 non viene alimentata dal primo sistema di trasmissione elettrica 31, la rispettiva unità di accumulo 35 si aziona per fornisce l'energia elettrica all'unità di controllo 30 garantendone così il funzionamento. L'unità di accumulo 35 dell'energia elettrica comprende un sensore configurato per rilevare se il primo sistema di trasmissione elettrica 31 sta fornendo energia elettrica. Inoltre, l'unità di accumulo 35 è collegata in comunicazione al dispositivo di controllo 8 tramite il bus di comunicazione 31 per inviare un segnale di attivazione dell'unità di accumulo 35.

Ciascun sistema di trasmissione elettrica 7 comprende un sensore di tensione e frequenza 40 disposto lungo la linea di connessione multifase 22 tra il punto di scambio 23 e il rispettivo convertitore a commutazione 21 e collegato alla rispettiva unità di controllo 30. Ciascuna unità di controllo 30, grazie al sensore di tensione e frequenza 40, rileva sottotensioni, sovratensioni, assenza

di tensione e variazioni fuori norma della frequenza elettrica sulla rete elettrica 9.

Come già detto sopra il dispositivo di controllo 8 è connesso alle unità di controllo 30 che a sua volta sono connessi ai rispettivi convertitori a commutazione 21, di conseguenza, le unità di controllo 30 ricevono segnali relativi al corretto funzionamento dei rispettivi convertitori a commutazione 21 e inviano questi segnali al dispositivo di controllo 8. Inoltre, le unità di controllo 30 ricevono segnali dai rispettivi convertitori 27 indicanti la tensione del circuito di connessione in corrente continua 20 associato.

In particolare, ciascuna unità di controllo 30 è configurata per rilevare un primo gruppo di malfunzionamenti che comprende i seguenti eventi di malfunzionamento: sottotensioni sulla rete elettrica 9, sovratensioni sulla rete elettrica 9, assenza di tensione sulla rete elettrica 9 o variazioni fuori norma della frequenza elettrica sulla rete elettrica 9; malfunzionamenti di uno o più convertitori a commutazione 21 e sovratensioni o sottotensioni sul circuito di connessione in corrente continua 20. Ciascuna unità di controllo 30, quando rileva un malfunzionamento appartenente al primo gruppo di malfunzionamenti, invia un primo segnale di malfunzionamento al dispositivo di

controllo 8.

Inoltre, ciascuna unità di controllo 30 è configurata per rilevare un secondo gruppo di malfunzionamenti che comprende i seguenti eventi di malfunzionamento: malfunzionamento del convertitore a commutazione 19, del rispettivo circuito in corrente continua 20 e/o del rispettivo avvolgimento statorico multifase 13. Ciascuna unità di controllo 30, quando rileva un malfunzionamento appartenente al secondo gruppo di malfunzionamenti, invia un secondo segnale di malfunzionamento al dispositivo di controllo 8.

Il dispositivo di controllo 8 è configurato per ricevere i primi e i secondi segnali di malfunzionamento dalle unità di controllo. Quando il dispositivo di controllo 8 rileva un primo segnale di malfunzionamento è configurato per agire secondo un primo metodo di controllo o un secondo metodo di controllo. In particolare, il dispositivo di controllo 8 è configurato per decidere tra il primo o il secondo metodo di controllo in base parametri interni, a titolo di esempio può scegliere in base ad un confronto tra il nuovo valore di riferimento individuale di coppia desiderato C_d^N e una soglia massima di riferimento individuale di coppia desiderato C_d^N , oppure per impostazioni date dal gestore della rete elettrica 9 o da un operatore.

Quando il dispositivo di controllo 8 rileva un secondo segnale di malfunzionamento è configurato per agire secondo il primo metodo di controllo.

Nel primo metodo di controllo il dispositivo di controllo 8 individua un numero M di gruppi di trasmissione elettrica 14 individuati dai primi o dai secondi segnali di malfunzionamento; ridefinisce i valori di ciascun riferimento individuale di coppia desiderato C_d^n dividendo il riferimento di coppia desiderato C_d per un numero di gruppi di trasmissione elettrica 14 funzionanti che sarà uguale al numero N meno il numero M ; invia il nuovo valore di riferimento individuale di coppia desiderato C_d^n ai gruppi di trasmissione elettrica funzionanti. Inoltre, l'impianto eolico 1 è configurato per erogare una potenza massima totale P_T . Ciascun gruppo di trasmissione elettrica 14 e ciascun sottosistema statorico 13 sono configurati per erogare una potenza massima individuale P_i . Detta potenza massima individuale P_i è uguale alla potenza massima individuale P_i diviso il numero N di sottosistemi statorici 13 meno un coefficiente di robustezza R . Di conseguenza, si ha la garanzia che l'impianto eolico 1 potrà funzionare alla potenza massima totale P_T anche nel caso in cui un numero di sottosistemi statorici o di gruppi di trasmissione elettrica 14 non sia funzionante. Il numero massimo di sottosistemi statorici o di gruppi di

trasmissione elettrica non funzionanti fino ai quali è garantito il funzionamento dell'impianto eolico alla potenza massima totale P_T è uguale al coefficiente di robustezza R .

In pratica con il primo metodo di controllo, i gruppi di trasmissione elettrica 14 funzionanti lavorano in condizioni di lavoro maggiori rispetto alle condizioni nominali di funzionamento per compensare il mancato funzionamento di uno o più gruppi di trasmissione elettrica 14 non funzionanti.

Nel secondo metodo di controllo, l'unità di controllo 30 del gruppo di trasmissione elettrica 14 interessata dal malfunzionamento, agisce sul detto gruppo di trasmissione elettrica 14 con una procedura di frenatura. Durante la procedura di frenatura l'unità di controllo 30 è configurata per controllare il convertitore di tensione continua 27 in modo da connettere la resistenza di frenatura 28 associata al detto gruppo di trasmissione elettrica 14 al circuito di connessione in corrente continua 20 e controllarne la dissipazione di potenza. Attraverso la procedura di frenatura, il detto gruppo di trasmissione elettrica 14 interessato dal malfunzionamento viene inattivato e la coppia del rotore 11 diminuisce, diminuendo così anche l'energia elettrica prodotta. La diminuzione di coppia che si ha è uguale alla coppia

nominale totale dell'impianto eolico 1 diviso il numero N di convertitori.

Durante la procedura di frenatura del secondo metodo di controllo, ciascuna unità di controllo 30 agisce attraverso una prima fase di frenatura e una seconda fase di frenatura.

L'unità di controllo 30 definisce una durata temporale T' della prima fase di frenatura. La durata temporale T' della prima fase di frenatura è definita dall'energia dissipabile totale E_T^d e dall'energia residua dissipabile E_r^d nella resistenza 26. In maggior dettaglio, la durata temporale T' è uguale al tempo che impiega la resistenza 28 per fare in modo che l'energia residua dissipabile E_r^d sia uguale a metà dell'energia dissipabile totale E_T^d . In altre parole, la prima fase di frenatura durerà fino a quando l'energia residua dissipabile E_r^d nella resistenza 28 sarà uguale alla metà dell'energia dissipabile totale E_T^d .

Durante la prima fase di frenatura il dispositivo di controllo 30 agisce secondo: una prima modalità di frenatura, se la velocità ω del rotore 11 è minore o uguale della velocità nominale della macchina elettrica 6; una seconda modalità di frenatura, se la velocità ω del rotore 11 è maggiore della velocità nominale della macchina elettrica 6 e la coppia è uguale alla coppia nominale; una terza modalità di frenatura, se la velocità ω del rotore 11

è maggiore della velocità nominale ω_n della macchina elettrica 6 e la coppia è minore della coppia nominale.

Nella prima modalità di frenatura, l'unità di controllo 30 registra un valore del riferimento di coppia individuale desiderata memorizzato C_d^{nR} inviato dal dispositivo di controllo 8 nell'istante in cui ha rilevato il malfunzionamento, determina una velocità stimata ω^i del rotore 11 nell'istante in cui ha rilevato il malfunzionamento, e definisce il riferimento individuale di coppia desiderato C_d^n in base a una prima funzione nel dominio della frequenza. La prima funzione nel dominio della frequenza è una spezzata definita in un sistema cartesiano in cui le ascisse sono rappresentate dalla frequenza ω che è data dalla velocità ω di rotazione del rotore 11 e le ordinate dalla coppia C del rotore 11. La prima funzione è definita dalle seguenti formule:

$$C_d^n(\omega) = m_1 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{per } \omega^{\min} \leq \omega \leq \omega^i \quad [1]$$

In cui m_1 è dato da:

$$m_1 = \frac{C_d^{nR} - C_d^{n\min}}{(\omega^i - \omega^{\min})} \quad [2]$$

$$C_d^n(\omega) = m_2 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{per } \omega \geq \omega^i \quad [3]$$

In cui m_2 è dato da:

$$m_2 = \frac{C_d^{n_{\max}} - C_d^{n_R}}{(\omega^{nom} - \omega^i)} [4]$$

Nella seconda modalità di frenatura, l'unità di controllo 30 registra il valore del riferimento di coppia individuale desiderata $C_d^{n_R}$ inviato dal dispositivo di controllo 8 nell'istante in cui ha rilevato il malfunzionamento, determina una velocità stimata ω^i del rotore 11 nell'istante in cui ha rilevato il malfunzionamento, e definisce il riferimento individuale di coppia desiderato C_d^n in base a una seconda funzione nel dominio della frequenza. La seconda funzione nel dominio della frequenza è una spezzata definita in un sistema cartesiano in cui le ascisse sono rappresentate dalla frequenza ω che è data dalla velocità ω di rotazione del rotore 11 e le ordinate dalla coppia C del rotore 11. La seconda funzione è definita dalle formule [5], [6], [7]:

$$C_d^n(\omega) = C_d^{n_{nom}} \quad \text{per } \omega \geq \omega^{nom} [5]$$

$$C_d^n(\omega) = m_3 \cdot (\omega - \omega^{nom}) + C_d^{n_{nom}} \quad \text{per } \omega^{\min} \leq \omega \leq \omega^{nom} [6]$$

$$m_3 = \frac{C_d^{n_{nom}} - C_d^{n_{\min}}}{(\omega^{nom} - \omega^{\min})} [7]$$

Nella terza modalità di frenatura, l'unità di controllo 30 registra il valore del riferimento di coppia individuale desiderata C_d^{nR} inviato dal dispositivo di controllo 8 nell'istante in cui ha rilevato il malfunzionamento, determina una velocità stimata ω^i del rotore 11 nell'istante in cui ha rilevato il malfunzionamento, e definisce il riferimento individuale di coppia desiderato C_d^n in base a una terza funzione nel dominio della frequenza. La terza funzione nel dominio della frequenza è una spezzata definita in un sistema cartesiano in cui le ascisse sono rappresentate dalla frequenza ω che è data dalla velocità ω di rotazione del rotore 11 e le ordinate dalla coppia C del rotore 11. La terza funzione è definita dalle seguenti formule:

$$C_d^n(\omega) = m_4 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{per } \omega \geq \omega^i \quad [8]$$

$$m_4 = K \quad [9]$$

$$C_d^n(\omega) = C_d^{nR} \quad \text{per } \omega^{nom} \leq \omega \leq \omega^i \quad [10]$$

$$C_d^n(\omega) = m_5 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{per } \omega^{min} \leq \omega \leq \omega^{nom} \quad [11]$$

$$m_5 = \frac{C_d^{ni} - C_d^{nmin}}{(\omega^{nom} - \omega^{min})} \quad [12]$$

Dove k è un parametro di progetto e indica una costante.

Durante la seconda fase di frenatura l'unità di controllo 30 agisce sul convertitore 19 in modo che la coppia del rotore 11 dall'avvolgimento statorico multifase 13 associato vada a zero secondo una rampa di durata temporale T'' . La durata temporale T'' della rampa è definita dall'unità di controllo 30 ed è data dalla metà dell'energia dissipabile totale E_T^d diviso la potenza del convertitore 19 nell'istante di inizio della seconda fase. Inoltre, l'unità di controllo 30 definisce la durata temporale T'' della rampa in modo che la somma tra la durata temporale T' e la durata temporale T'' sia minore o uguale a una soglia massima temporale predefinita T_{max} , in una forma preferita di attuazione ma non limitativa la soglia massima temporale predefinita T_{max} è 30 s.

Inoltre, il dispositivo di controllo 8 rileva un terzo gruppo di malfunzionamenti che comprende i seguenti eventi di malfunzionamento: malfunzionamento del bus di comunicazione 31, comando di arresto di emergenza.

Il dispositivo di controllo 30 nel caso in cui rileva malfunzionamenti appartenenti al terzo gruppo di malfunzionamenti agisce secondo la prima modalità di frenatura, la seconda modalità di funzionamento o la terza modalità di funzionamento fino all'arresto della rotazione

del rotore 6. In particolare, Il dispositivo di controllo 30 è configurato per agire secondo la prima modalità di frenatura se la velocità ω del rotore 11 è minore o uguale della velocità nominale della macchina elettrica 6; secondo la seconda modalità di frenatura, se la velocità ω del rotore 11 è maggiore della velocità nominale della macchina elettrica 6 e la coppia è uguale alla coppia nominale; o secondo la terza modalità di frenatura, se la velocità ω del rotore 11 è maggiore della velocità nominale ω_n della macchina elettrica 6 e la coppia C è minore della coppia nominale C_{nom} .

Risulta infine evidente che all'impianto e al metodo qui descritti possono essere apportate modifiche e varianti senza uscire dall'ambito delle rivendicazioni allegate.

RIVENDICAZIONI

1. Impianto eolico per la produzione e l'erogazione di energia elettrica a una rete elettrica (9); l'impianto eolico (1) comprendendo:

un gruppo pale (5);

almeno una macchina elettrica (6), accoppiata al gruppo pale (5), per generare energia elettrica e comprendente un rotore (11) e uno statore (10) suddiviso in un numero (N) di sottosistemi statorici (13);

un sistema di trasmissione elettrica (7) per collegare il numero di sottosistemi statorici (13) alla rete elettrica (9) e comprendente un gruppo di trasmissione elettrica (14) per ciascuno sottosistema statorico (13) e collegato al rispettivo sottosistema statorico (13);

l'impianto eolico essendo caratterizzato dal fatto di comprendere un dispositivo di controllo (8) accoppiato ai gruppi di trasmissione elettrica (14) per ricevere segnali di malfunzionamento dai gruppi di trasmissione elettrica (14) e configurato per definire un valore di riferimento individuale di coppia desiderata (C_D^N) in base ai segnali di malfunzionamento dei gruppi di trasmissione elettrica (14) in modo da ridurre discontinuità nella coppia del rotore (11).

2. Impianto eolico secondo la rivendicazione 1, in cui ciascun gruppo di trasmissione elettrica (14) comprende

un primo convertitore a commutazione (19) accoppiato al rispettivo sottosistema statorico (13) per controllare quantità elettriche statoriche secondo un riferimento individuale di coppia desiderata (C_D^N); un circuito di connessione in corrente continua (20) accoppiato al rispettivo primo convertitore a commutazione (19); e un secondo convertitore a commutazione (21) accoppiato alla rete elettrica (9) e al rispettivo circuito di connessione in corrente continua (20) per trasferire energia elettrica dal circuito di connessione in corrente continua (20) alla rete elettrica (9).

3. Impianto eolico secondo la rivendicazione 2, in cui il gruppo di trasmissione elettrica (14) comprende un'unità di controllo (30) accoppiata al dispositivo di controllo (14); l'unità di controllo (30) essendo configurata per rilevare almeno un malfunzionamento nel gruppo di malfunzionamenti comprendente malfunzionamenti del rispettivo primo convertitore a commutazione (19), malfunzionamenti del rispettivo circuito di connessione in corrente continua (20), malfunzionamenti del rispettivo sottosistema statorico (13), sottotensioni sulla rete elettrica (9), sovratensioni sulla rete elettrica (9), assenza di tensione sulla rete elettrica (9), variazioni fuori norma della frequenza elettrica sulla rete elettrica (9), malfunzionamenti del rispettivo convertitore a

commutazione (21), sovratensioni o sottotensioni sul circuito di connessione in corrente continua (20); l'unità di controllo (30) essendo configurata per definire il segnale di malfunzionamento quando rileva il detto malfunzionamento.

4. Impianto eolico secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, in cui il dispositivo di controllo (8) è configurato per determinare un numero di gruppi di trasmissione elettrica (14) funzionanti in base ai segnali di malfunzionamento ricevuti; e per definire il valore di riferimento individuale di coppia desiderata (C_D^N) dividendo un riferimento di coppia desiderato (C_d) per il numero di gruppi di trasmissione elettrica (14) funzionanti.

5. Impianto eolico secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, in cui l'impianto eolico (1) è configurato per erogare una potenza massima totale (P_T); ciascun gruppo di trasmissione elettrica (14) e ciascun sottosistema statorico (13) sono configurati per erogare una potenza massima individuale (P_i); e in cui la potenza massima individuale (P_i) è maggiore della potenza massima totale (P_T) diviso per il numero (N) di sottosistemi statorici.

6. Impianto eolico secondo la rivendicazione 5, in cui la potenza massima individuale (P_i) è definita in

funzione di un coefficiente di robustezza (R); preferibilmente la potenza massima individuale (P_i) è uguale alla potenza massima individuale (P_i) diviso per il numero (N) di sottosistemi statorici meno il coefficiente di robustezza (R).

7. Impianto eolico per la produzione e l'erogazione di energia elettrica a una rete elettrica (9); l'impianto eolico (1) comprendendo:

un gruppo pale (5);

almeno una macchina elettrica (6), accoppiata al gruppo pale (5), per generare energia elettrica e comprendente un rotore (11) e uno statore (10);

un sistema di trasmissione elettrica (7) per collegare lo statore (10) alla rete elettrica (9) e comprendente almeno un gruppo di trasmissione elettrica (14);

l'impianto eolico essendo caratterizzato dal fatto di comprendere un'unità di controllo (30) configurata per controllare l'almeno gruppo di trasmissione elettrica (14), per eseguire una prima fase di frenatura secondo una prima modalità di frenatura o una seconda modalità di frenatura o una terza modalità di frenatura, e per selezionare la modalità di frenatura in base alla velocità (ω) del rotore (11) e preferibilmente in base alla coppia del rotore (11).

8. Impianto eolico secondo la rivendicazione 7, in cui il gruppo di trasmissione elettrica (14) comprende un

primo convertitore a commutazione (19) accoppiato allo statore (10) per controllare quantità elettriche statoriche secondo un riferimento individuale di coppia desiderata (C_D^N); un circuito di connessione in corrente continua (20) accoppiato al rispettivo primo convertitore a commutazione (19); e un secondo convertitore a commutazione (21) accoppiato alla rete elettrica (9) e al rispettivo circuito di connessione in corrente continua (20) per trasferire energia elettrica dal circuito di connessione in corrente continua (20) alla rete elettrica (9).

9. Impianto eolico secondo la rivendicazione 8, in cui il dispositivo di controllo (8) è configurato per definire una prima durata temporale (T') della prima fase di frenatura in base ad un'energia dissipabile totale (E_T^d) e ad un'energia dissipabile residua (E_r^d) su di un modulo di frenatura (26) connesso al circuito di connessione in corrente continua (20).

10. Impianto eolico secondo una delle rivendicazioni da 7 a 9, in cui l'unità di controllo (30) è configurata per rilevare un malfunzionamento; registrare un valore di riferimento di coppia individuale desiderata memorizzato (C_d^R) nell'istante in cui ha rilevato il malfunzionamento, per determinare una velocità stimata (ω) del rotore (11) nell'istante in cui ha rilevato il malfunzionamento, e per definire il valore di riferimento individuale di coppia

desiderato (C_d^n) in base a una funzione nel dominio della frequenza.

11. Impianto eolico secondo la rivendicazione 10, in cui l'unità di controllo (30) è configurata per selezionare la prima modalità di frenatura se la velocità (ω) del rotore (11) è minore o uguale alla velocità nominale (ω^{nom}) della macchina elettrica (6); e per definire la funzione nel dominio della frequenza secondo le formule:

$$C_d^n(\omega) = m_1 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{per } \omega^{\min} \leq \omega \leq \omega^i ;$$

$$C_d^n(\omega) = m_2 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{per } \omega \geq \omega^i ;$$

in cui m_1 e m_2 sono dei parametri di funzionamento; ω^i è la velocità stimata (ω^i) del rotore (11); C_d^{nR} è il valore del riferimento individuale di coppia desiderata memorizzato (C_d^{nR}); ω^{\min} è la velocità minima fino alla quale l'unità di controllo (30) comanda il gruppo di trasmissione elettrica (14).

12. Impianto eolico secondo una delle rivendicazioni da 7 a 9, in cui l'unità di controllo (30) è configurata per selezionare la seconda modalità di frenatura se la velocità (ω) del rotore (11) è maggiore della velocità nominale della macchina elettrica (6) e la coppia del rotore (11) è uguale alla coppia nominale; e per definire

la funzione nel dominio della frequenza secondo le formule:

$$C_d^n(\omega) = C_d^{n^{nom}} \quad \text{per } \omega \geq \omega^{nom};$$

$$C_d^n(\omega) = m_3 \cdot (\omega - \omega^{nom}) + C_d^{n^{nom}} \quad \text{per } \omega^{\min} \leq \omega \leq \omega^{nom};$$

in cui m_3 è un parametro di funzionamento; ω^{nom} è la velocità nominale (ω^{nom}) della macchina elettrica (6); $C_d^{n^{nom}}$ è la coppia individuale nominale ($C_d^{n^{nom}}$); e ω^{\min} è la velocità (ω) minima del rotore (11) fino alla quale l'unità di controllo (30) comanda il gruppo di trasmissione elettrica (14).

13. Impianto eolico secondo una delle rivendicazioni da 7 a 11, in cui l'unità di controllo (30) è configurata per selezionare la terza modalità di frenatura se la velocità (ω) del rotore (11) è maggiore della velocità nominale (ω^{nom}) della macchina elettrica (6) e la coppia (C) del rotore (11) è minore della coppia nominale (C_{nom}); e per definire la funzione nel dominio della frequenza secondo le formule:

$$C_d^n(\omega) = m_4 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{n^R} \quad \text{per } \omega \geq \omega^i;$$

$$C_d^n(\omega) = C_d^{n^R} \quad \text{per } \omega^{nom} \leq \omega \leq \omega^i;$$

$$C_d^n(\omega) = m_5 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{n^R} \quad \text{per } \omega^{\min} \leq \omega \leq \omega^{nom};$$

in cui m_4 e m_5 sono parametri di funzionamento; ω^i è la velocità stimata (ω^i) del rotore (11); ω^{nom} è la velocità nominale (ω^{nom}) della macchina elettrica (6); ω^{min} è la velocità (ω) minima del rotore (11) fino alla quale l'unità di controllo (30) comanda il gruppo di trasmissione elettrica (14); C_d^{nom} è la coppia individuale nominale (C_d^{nom}); ω^{min} è la velocità minima fino alla quale l'unità di controllo (30) comanda il gruppo di trasmissione elettrica (14); C_d^R è il valore del riferimento individuale di coppia desiderata memorizzato (C_d^R).

14. Impianto eolico secondo una delle rivendicazioni da 7 a 12, in cui l'unità di controllo (30) è configurata per eseguire una seconda fase di frenatura e controllare il gruppo di trasmissione elettrica (14) in modo che la coppia del rotore (11) vada a zero secondo una rampa avente una seconda durata temporale (T'').

15. Impianto eolico secondo la rivendicazione 14, in cui l'unità di controllo (30) è configurata per definire la seconda durata temporale (T'') in base a un'energia dissipabile totale (E_T^d) sul gruppo di trasmissione elettrica (14).

16. Impianto eolico secondo le rivendicazioni 9 e 14, in cui l'unità di controllo (30) è configurata per definire la seconda durata temporale (T'') della rampa in modo che la somma tra la prima durata temporale (T') e la seconda

durata temporale (T'') sia minore di o uguale a una soglia massima temporale predefinita (T_{max}), preferibilmente uguale a circa 30 secondi.

17. Impianto eolico secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 7 a 15, in cui lo statore (10) è suddiviso in un numero (N) di sottosistemi statorici (13); il sistema di trasmissione elettrica (7) comprendendo un numero (N) di gruppi di trasmissione elettrica (14), uno per ciascuno sottosistema statorico (13) e collegato al rispettivo sottosistema statorico (13).

18. Impianto eolico secondo le rivendicazioni 8 o 9, in cui l'unità di controllo (30) è configurata per rilevare almeno un malfunzionamento appartenente al gruppo di malfunzionamenti comprendente sottotensioni sulla rete elettrica (9), sovratensioni sulla rete elettrica (9), assenza di tensione sulla rete elettrica (9), variazioni fuori norma della frequenza elettrica sulla rete elettrica (9), malfunzionamenti del secondo convertitore a commutazione (21), sovratensioni o sottotensioni sul circuito di connessione in corrente continua (20), azionamento di un comando di arresto di emergenza; l'unità di controllo (30) è configurata per attuare la prima fase di frenatura quando rileva un malfunzionamento.

19. Metodo di controllo di un impianto eolico per la generazione di energia elettrica, l'impianto eolico (1)

comprendendo:

un gruppo pale (5);

almeno una macchina elettrica (6), accoppiata al gruppo pale (5), per generare energia elettrica e comprendente un rotore (11) e uno statore suddiviso in un numero di sottosistemi statorici (13);

un sistema di trasmissione elettrica (7) per collegare il numero di sottosistemi statorici (13) alla rete elettrica (9) e comprendente un gruppo di trasmissione elettrica (14) per ciascuno sottosistema statorico (13) collegato a un rispettivo sottosistema statorico (13);

il metodo comprendendo rilevare malfunzionamenti di ciascun gruppo di trasmissione elettrica (14), e definire un valore di riferimento individuale di coppia desiderata (C_D^N) in base ai malfunzionamenti rilevati in modo da ridurre discontinuità nella coppia del rotore (11).

20. Metodo secondo la rivendicazione 18, in cui definire il valore di riferimento individuale di coppia desiderata (C_D^N) comprende determinare un numero di gruppi di trasmissione elettrica (14) funzionanti in base a segnali di malfunzionamento ricevuti; e definire il valore di riferimento individuale di coppia desiderata (C_D^N) dividendo un riferimento di coppia desiderato (C_d) per il numero di gruppi di trasmissione elettrica (14) funzionanti.

21. Metodo di controllo di un impianto eolico per la generazione di energia elettrica, l'impianto eolico (1) comprendendo:

un gruppo pale (5);

almeno una macchina elettrica (6), accoppiata al gruppo pale (5), per generare energia elettrica e comprendente un rotore (11) e uno statore (10);

un sistema di trasmissione elettrica (7) per collegare lo statore (10) alla rete elettrica (9) e comprendente almeno un gruppo di trasmissione elettrica (14); il metodo comprendendo le fasi di controllare l'almeno un gruppo di trasmissione elettrica (14) per eseguire una prima fase di frenatura secondo una prima modalità di frenatura o una seconda modalità di frenatura o una terza modalità di frenatura; e selezionare la modalità di frenatura in base alla velocità (ω) del rotore (11) e preferibilmente in base alla coppia del rotore (11).

22. Metodo secondo la rivendicazione 21, comprendete la fase di definire una prima durata temporale (T') della prima fase di frenatura in base ad un'energia dissipabile totale (E_T^d) e ad un'energia dissipabile residua (E_r^d) su di un modulo di frenatura (26) del gruppo di trasmissione elettrica (14).

23. Metodo secondo la rivendicazione 21 o 22, comprendente le fasi di rilevare un malfunzionamento,

registrare un valore del riferimento di coppia individuale desiderata memorizzato (C_d^{nR}) nell'istante in cui viene rilevato il malfunzionamento, determinare una velocità stimata (ω^i) del rotore (11) nell'istante in cui viene rilevato il malfunzionamento, e definire il riferimento individuale di coppia desiderato (C_d^n) in base a una funzione nel dominio della frequenza.

24. Metodo secondo la rivendicazione 23, comprendente le fasi di selezionare la prima modalità di frenatura se la velocità (ω) del rotore (11) è minore di o uguale alla velocità nominale (ω^{nom}) della macchina elettrica (6); e definire la funzione nel dominio della frequenza secondo le formule:

$$C_d^n(\omega) = m_1 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{per } \omega^{\min} \leq \omega \leq \omega^i ;$$

$$C_d^n(\omega) = m_2 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{per } \omega \geq \omega^i ;$$

in cui m_1 e m_2 sono dei parametri di funzionamento; ω^i è la velocità stimata (ω^i) del rotore (11); C_d^{nR} è un valore di riferimento individuale di coppia desiderata memorizzato (C_d^{nR}); ω^{\min} è la frequenza minima fino alla quale il gruppo di trasmissione elettrica (14) viene pilotato.

25. Metodo secondo la rivendicazione 23, comprendente le fasi di selezionare la seconda modalità di frenatura se la velocità (ω) del rotore (11) è maggiore della velocità nominale della macchina elettrica (6) e la coppia del

rotore (11) è uguale alla coppia nominale; e di definire la funzione nel dominio della frequenza secondo le formule:

$$C_d^n(\omega) = C_d^{n^{nom}} \quad \text{per } \omega \geq \omega^{nom};$$

$$C_d^n(\omega) = m_3 \cdot (\omega - \omega^{nom}) + C_d^{n^{nom}} \quad \text{per } \omega^{\min} \leq \omega \leq \omega^{nom};$$

in cui m_3 è un parametro di funzionamento; ω^{nom} è la velocità nominale (ω^{nom}) della macchina elettrica (6); $C_d^{n^{nom}}$ è la coppia individuale nominale ($C_d^{n^{nom}}$); ω^{\min} è la velocità (ω) minima del rotore (11) fino alla quale il gruppo di trasmissione elettrica (14) viene pilotato.

26. Metodo secondo la rivendicazione 23, comprendente le fasi di selezionare la terza modalità di frenatura se la velocità (ω) del rotore 11 è maggiore della velocità nominale (ω^{nom}) della macchina elettrica (6) e la coppia (C) del rotore (11) è minore della coppia nominale (C_{nom}); e definire la funzione nel dominio della frequenza secondo le formule:

$$C_d^n(\omega) = m_4 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{n^R} \quad \text{per } \omega \geq \omega^i;$$

$$C_d^n(\omega) = C_d^{n^R} \quad \text{per } \omega^{nom} \leq \omega \leq \omega^i;$$

$$C_d^n(\omega) = m_5 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{n^R} \quad \text{per } \omega^{\min} \leq \omega \leq \omega^{nom};$$

in cui m_4 e m_5 sono parametri di funzionamento; ω^i è la velocità stimata (ω^i) del rotore (11); ω^{nom} è la velocità nominale (ω^{nom}) della macchina elettrica (6); ω^{\min} è la

velocità (ω) minima del rotore (11) fino alla quale il gruppo di trasmissione elettrica (14) viene pilotato; $C_d^{n^{nom}}$ è la coppia individuale nominale ($C_d^{n^{nom}}$); ω^{min} è la velocità minima fino alla quale il gruppo di trasmissione elettrica (14) viene pilotato; $C_d^{n^R}$ è valore del riferimento individuale di coppia desiderato memorizzato ($C_d^{n^R}$).

27. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 21 a 26, comprendete le fasi di eseguire una seconda fase di frenatura; e di controllare il gruppo di trasmissione elettrica (14) in modo che la coppia del rotore (11) vada a zero secondo una rampa avente una seconda durata temporale (T'').

28. Metodo secondo la rivendicazione 27, comprendente la fase di definire la seconda durata temporale (T'') della rampa in modo che la somma tra la prima durata temporale (T') e la seconda durata temporale (T'') sia minore di o uguale a una soglia massima temporale predefinita (T_{max}), preferibilmente uguale a circa 30 secondi.

29. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 21 a 28, in cui il metodo comprende la fase di rilevare un malfunzionamento, e rilevare almeno un malfunzionamento appartenente a un gruppo di malfunzionamenti comprendente sottotensioni sulla rete elettrica (9), sovratensioni sulla rete elettrica (9), assenza di tensione sulla rete elettrica (9), variazioni fuori norma della frequenza

elettrica sulla rete elettrica (9), malfunzionamenti di un convertitore a commutazione (21), sovratensioni o sottotensioni sul circuito di connessione in corrente continua (20), azionamento comando di arresto di emergenza; e attuare la prima fase di frenatura quando rileva un malfunzionamento.

p.i.: WILIC S.A.R.L.

Mauro ECCETTO

TITLE: WIND POWER TURBINE FOR GENERATING ELECTRIC ENERGY

CLAIMS

1) A wind power turbine for producing and feeding electric energy to an electric power grid (9); the wind power turbine (1) comprising :

a blade assembly (5);

at least one electric machine (6) connected to the blade assembly (5) to generate electric energy, and comprising a rotor (11), and a stator (10) divided into a number (N) of stator subsystems (13); and

an electric transmission system (7) for connecting the number of stator subsystems (13) to the electric power grid (9), and comprising an electric transmission assembly (14) for, and connected to, each stator subsystem (13);

the wind power turbine being characterized by comprising a control device (8) connected to, and for receiving malfunction signals from, the electric transmission assemblies (14), and designed to define an individual target torque reference value (C_D^N) on the basis of the malfunction signals from the electric transmission assemblies (14), so as to reduce discontinuity in the torque of the rotor (11).

2) A wind power turbine as claimed in Claim 1, wherein each electric transmission assembly (14) comprises a first switch converter (19) connected to the respective stator

subsystem (13) to control stator electric quantities according to an individual target torque reference (C_D^N); a direct-current connection circuit (20) connected to the respective first switch converter (19); and a second switch converter (21) connected to the electric power grid (9) and to the respective direct-current connection circuit (20) to transfer electric energy from the direct-current connection circuit (20) to the electric power grid (9).

3) A wind power turbine as claimed in Claim 2, wherein the electric transmission assembly (14) comprises a control unit (30) connected to the control device (8); the control unit (30) being designed to detect at least one of a group of malfunctions comprising malfunctions of the respective first switch converter (19), malfunctions of the respective direct-current connection circuit (20), malfunctions of the respective stator subsystem (13), undervoltage on the electric power grid (9), no voltage on the electric power grid (9), abnormal variations in electric frequency on the electric power grid (9), malfunctions of the respective second switch converter (21), and overvoltage or undervoltage in the direct-current connection circuit (20); the control unit (30) being designed to define the malfunction signal on detecting said malfunction.

4) A wind power turbine as claimed in any one of the foregoing Claims, wherein the control device (8) is

designed to determine a number of operating electric transmission assemblies (14) on the basis of the received malfunction signals; and to define the individual target torque reference value (C_D^N) by dividing the target torque reference (C_d) by the number of operating electric transmission assemblies (14).

5) A wind power turbine as claimed in any one of the foregoing Claims, wherein the wind power turbine (1) is designed to supply a total maximum power (P_T); each electric transmission assembly (14) and each stator subsystem (13) are designed to supply an individual maximum power (P_i); and the individual maximum power (P_i) is greater than the total maximum power (P_T) divided by the number (N) of stator subsystems.

6) A wind power turbine as claimed in Claim 5, wherein the individual maximum power (P_i) is defined on the basis of a robustness coefficient (R); and the individual maximum power (P_i) preferably equals the individual maximum power (P_i) divided by the number (N) of stator subsystems minus the robustness coefficient (R).

7) A wind power turbine for producing and feeding electric energy to an electric power grid (9); the wind power turbine (1) comprising :

a blade assembly (5);

at least one electric machine (6) connected to the

blade assembly (5) to generate electric energy, and comprising a rotor (11) and a stator (10); and

an electric transmission system (7) for connecting the stator (10) to the electric power grid (9), and comprising at least one electric transmission assembly (14);

the wind power turbine being characterized by comprising a control unit (30) designed to control the at least one electric transmission assembly (14), to perform a first braking step in a first or second or third braking mode, and to select the braking mode on the basis of the speed (ω) of the rotor (11) and preferably on the basis of the torque of the rotor (11).

8) A wind power turbine as claimed in Claim 7, wherein the electric transmission assembly (14) comprises a first switch converter (19) connected to the stator (10) to control stator electric quantities according to an individual target torque reference (C_D^N); a direct-current connection circuit (20) connected to the respective first switch converter (19); and a second switch converter (21) connected to the electric power grid (9) and to the respective direct-current connection circuit (20) to transfer electric energy from the direct-current connection circuit (20) to the electric power grid (9).

9) A wind power turbine as claimed in Claim 8, wherein the control device (8) is designed to define a first

duration (T') of the first braking step on the basis of the total dissipatable energy (E_T^d) and residual dissipatable energy (E_r^d) of a braking module (26) connected to the direct-current connection circuit (20).

10) A wind power turbine as claimed in one of Claims 7 to 9, wherein the control unit (30) is designed to detect a malfunction, to record a memorized individual target torque reference value (C_d^{nR}) on detecting a malfunction, to determine an estimated speed (ω^i) of the rotor (11) on detecting the malfunction, and to define the individual target torque reference (C_d^n) on the basis of a frequency domain function.

11) A wind power turbine as claimed in Claim 10, wherein the control unit (30) is designed to select the first braking mode when the speed (ω) of the rotor (11) is less than or equal to the nominal speed (ω^{nom}) of the electric machine (6); and to define the frequency domain function according to the equations:

$$C_d^n(\omega) = m_1 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{for } \omega^{\min} \leq \omega \leq \omega^i ;$$

$$C_d^n(\omega) = m_2 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{for } \omega \geq \omega^i ;$$

where : m_1 and m_2 are operating parameters; ω^i is the estimated speed (ω^i) of the rotor (11); C_d^{nR} is the memorized individual target torque reference value (C_d^{nR}); and ω^{\min} is the minimum frequency at which the control unit

(30) controls the electric transmission assembly (14).

12) A wind power turbine as claimed in one of Claims 7 to 9, wherein the control unit (30) is designed to select the second braking mode when the speed (ω) of the rotor (11) is greater than the nominal speed of the electric machine (6), and the torque of the rotor (11) equals the nominal torque; and to define the frequency domain function according to the equations :

$$C_d^n(\omega) = C_d^{n\text{nom}} \quad \text{for } \omega \geq \omega^{\text{nom}} ;$$

$$C_d^n(\omega) = m_3 \cdot (\omega - \omega^{\text{nom}}) + C_d^{n\text{nom}} \quad \text{for } \omega^{\text{min}} \leq \omega \leq \omega^{\text{nom}} ;$$

where : m_3 is an operating parameter; ω^{nom} is the nominal speed (ω^{nom}) of the electric machine (6); $C_d^{n\text{nom}}$ is the nominal individual torque ($C_d^{n\text{nom}}$); and ω^{min} is the minimum speed (ω) of the rotor (11) at which the control unit (30) controls the electric transmission assembly (14).

13) A wind power turbine as claimed in one of Claims 7 to 11, wherein the control unit (30) is designed to select the third braking mode when the speed (ω) of the rotor (11) is greater than the nominal speed (ω^{nom}) of the electric machine (6), and the torque (C) of the rotor is less than the nominal torque (C_{nom}); and to define the frequency domain function according to the equations :

$$C_d^n(\omega) = m_4 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{for } \omega \geq \omega^i ;$$

$$C_d^n(\omega) = C_d^{nR} \text{ for } \omega^{nom} \leq \omega \leq \omega^i ;$$

$$C_d^n(\omega) = m_5 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \text{ for } \omega^{min} \leq \omega \leq \omega^{nom} ;$$

where : m_4 and m_5 are operating parameters; ω^i is the estimated speed (ω^i) of the rotor (11); ω^{nom} is the nominal speed (ω^{nom}) of the electric machine (6); ω^{min} is the minimum speed (ω) of the rotor (11) at which the control unit (30) controls the electric transmission assembly (14); $C_d^{n,nom}$ is the nominal individual torque ($C_d^{n,nom}$); ω^{min} is the minimum frequency at which the control unit (30) controls the electric transmission assembly (14); and C_d^{nR} is the memorized individual target torque reference value (C_d^{nR}).

14) A wind power turbine as claimed in one of Claims 7 to 12, wherein the control unit (30) is designed to perform a second braking step, and to control the electric transmission assembly (14) so that the torque of the rotor (11) zeroes along a slope having a second duration (T'').

15) A wind power turbine as claimed in Claim 14, wherein the control unit (30) is designed to define the second duration (T'') on the basis of the total dissipatable energy (E_T^d) of the electric transmission assembly (14).

16) A wind power turbine as claimed in Claims 9 and 14, wherein the control unit (30) is designed to define the second duration (T'') of the slope so that the sum of the

first duration (T') and the second duration (T'') is less than or equal to a predetermined maximum time threshold (T_{max}), preferably of about 30 seconds.

17) A wind power turbine as claimed in any one of Claims 7 to 15, wherein the stator (10) is divided into a number (N) of stator subsystems (13); the electric transmission system (7) comprising a number (N) of electric transmission assemblies (14), one for, and connected to, each stator subsystem (13).

18) A wind power turbine as claimed in Claims 8 or 9, wherein the control unit (30) is designed to detect at least one of a group of malfunctions comprising undervoltage on the electric power grid (9), overvoltage on the electric power grid (9), no voltage on the electric power grid (9), abnormal variations in frequency on the electric power grid (9), malfunctions of the second switch converter (21), overvoltage or undervoltage in the direct-current connection circuit (20), and activation of an emergency stop control; the control unit (30) being designed to perform the first braking step on detecting a malfunction.

19) A method of controlling a wind power turbine for generating electric energy, the wind power turbine (1) comprising :

a blade assembly (5);

at least one electric machine (6) connected to the blade assembly (5) to generate electric energy, and comprising a rotor (11), and a stator divided into a number of stator subsystems (13); and

an electric transmission system (7) for connecting the number of stator subsystems (13) to the electric power grid (9), and comprising an electric transmission assembly (14) for, and connected to, each stator subsystem (13);

the method comprising detecting malfunctions of each electric transmission assembly (14), and defining an individual target torque reference value (C_D^N) on the basis of the detected malfunctions, so as to reduce discontinuity in the torque of the rotor (11).

20) A method as claimed in Claim 18, wherein defining the individual target torque reference value (C_D^N) comprises determining a number of operating electric transmission assemblies (14) on the basis of received malfunction signals; and defining the individual target torque reference value (C_D^N) by dividing the target torque reference (C_d) by the number of operating electric transmission assemblies (14).

21) A method of controlling a wind power turbine for generating electric energy; the wind power turbine (1) comprising :

a blade assembly (5);

at least one electric machine (6) connected to the blade assembly (5) to generate electric energy, and comprising a rotor (11) and a stator (10); and

an electric transmission system (7) for connecting the stator (10) to the electric power grid (9), and comprising at least one electric transmission assembly (14);

the method comprising the steps of controlling the at least one electric transmission assembly (14) to perform a first braking step in a first or second or third braking mode; and to select the braking mode on the basis of the speed (ω) of the rotor (11) and preferably on the basis of the torque of the rotor (11).

22) A method as claimed in Claim 21, and comprising the step of defining a first duration (T') of the first braking step on the basis of the total dissipatable energy (E_{T}^{d}) and residual dissipatable energy (E_{r}^{d}) of a braking module (26) of the electric transmission assembly (14).

23) A method as claimed in Claim 21 or 22, and comprising the steps of detecting a malfunction; recording a memorized individual target torque reference value (C_{d}^{nR}) on detecting a malfunction; determining an estimated speed (ω^i) of the rotor (11) on detecting the malfunction; and defining the individual target torque reference (C_{d}^n) on the basis of a frequency domain function.

24) A method as claimed in Claim 23, and comprising

the steps of selecting the first braking mode when the speed (ω) of the rotor (11) is less than or equal to the nominal speed (ω^{nom}) of the electric machine (6); and defining the frequency domain function according to the equations:

$$C_d^n(\omega) = m_1 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{for } \omega^{\text{min}} \leq \omega \leq \omega^i ;$$

$$C_d^n(\omega) = m_2 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{for } \omega \geq \omega^i ;$$

where : m_1 and m_2 are operating parameters; ω^i is the estimated speed (ω^i) of the rotor (11); C_d^{nR} is the memorized individual target torque reference value (C_d^{nR}); and ω^{min} is the minimum frequency at which a control unit (30) controls the electric transmission assembly (14).

25) A method as claimed in Claim 23, and comprising the steps of selecting the second braking mode when the speed (ω) of the rotor (11) is greater than the nominal speed of the electric machine (6), and the torque of the rotor (11) equals the nominal torque; and defining the frequency domain function according to the equations :

$$C_d^n(\omega) = C_d^{n\text{nom}} \quad \text{for } \omega \geq \omega^{\text{nom}} ;$$

$$C_d^n(\omega) = m_3 \cdot (\omega - \omega^{\text{nom}}) + C_d^{n\text{nom}} \quad \text{for } \omega^{\text{min}} \leq \omega \leq \omega^{\text{nom}} ;$$

where : m_3 is an operating parameter; ω^{nom} is the nominal speed (ω^{nom}) of the electric machine (6); $C_d^{n\text{nom}}$ is the nominal individual torque ($C_d^{n\text{nom}}$); and ω^{min} is the minimum

speed (ω) of the rotor (11) at which a control unit (30) controls the electric transmission assembly (14).

26) A method as claimed in Claim 23, and comprising the steps of selecting the third braking mode when the speed (ω) of the rotor (11) is greater than the nominal speed (ω^{nom}) of the electric machine (6), and the torque (C) of the rotor is less than the nominal torque (C_{nom}); and defining the frequency domain function according to the equations :

$$C_d^n(\omega) = m_4 \cdot (\omega - \omega^i) + C_d^{nR} \quad \text{for } \omega \geq \omega^i ;$$

$$C_d^n(\omega) = C_d^{nR} \quad \text{for } \omega^{\text{nom}} \leq \omega \leq \omega^i ;$$

$$C_d^n(\omega) = m_5 \cdot (\omega - \omega^{\text{min}}) + C_d^{nR} \quad \text{for } \omega^{\text{min}} \leq \omega \leq \omega^{\text{nom}} ;$$

where : m_4 and m_5 are operating parameters; ω^i is the estimated speed (ω^i) of the rotor (11); ω^{nom} is the nominal speed (ω^{nom}) of the electric machine (6); ω^{min} is the minimum speed (ω) of the rotor (11) at which a control unit (30) controls the electric transmission assembly (14); $C_d^{n \text{ nom}}$ is the nominal individual torque ($C_d^{n \text{ nom}}$); ω^{min} is the minimum frequency at which the control unit (30) controls the electric transmission assembly (14); and C_d^{nR} is the memorized individual target torque reference value (C_d^{nR}).

27) A method as claimed in one of Claims 21 to 26, and comprising the steps of performing a second braking step;

and controlling the electric transmission assembly (14) so that the torque of the rotor (11) zeroes along a slope having a second duration (T'').

28) A method as claimed in Claim 27, and comprising the step of defining the second duration (T'') of the slope so that the sum of the first duration (T') and the second duration (T'') is less than or equal to a predetermined maximum time threshold (T_{\max}), preferably of about 30 seconds.

29) A method as claimed in one of Claims 21 to 28, wherein a control unit (30) is designed to detect at least one of a group of malfunctions comprising undervoltage on the electric power grid (9), overvoltage on the electric power grid (9), no voltage on the electric power grid (9), abnormal variations in frequency on the electric power grid (9), malfunctions of a switch converter (21), overvoltage or undervoltage in a direct-current connection circuit (20), and activation of an emergency stop control; the control unit (30) being designed to perform the first braking step on detecting a malfunction.

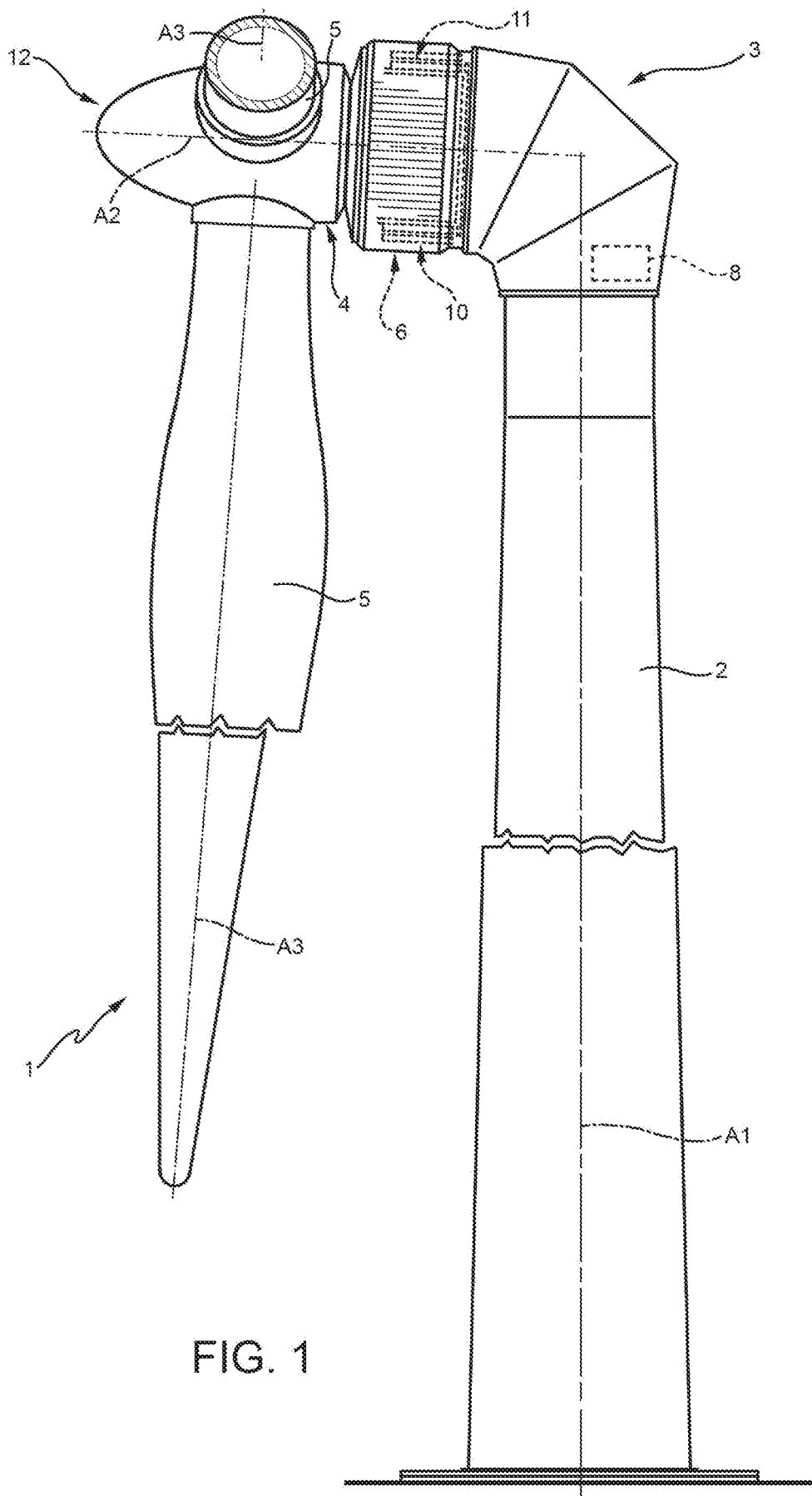


FIG. 1

p.i.: WILIC S.AR.L.

Mauro ECCETTO
 (Iscrizione Albo nr. 847/B)

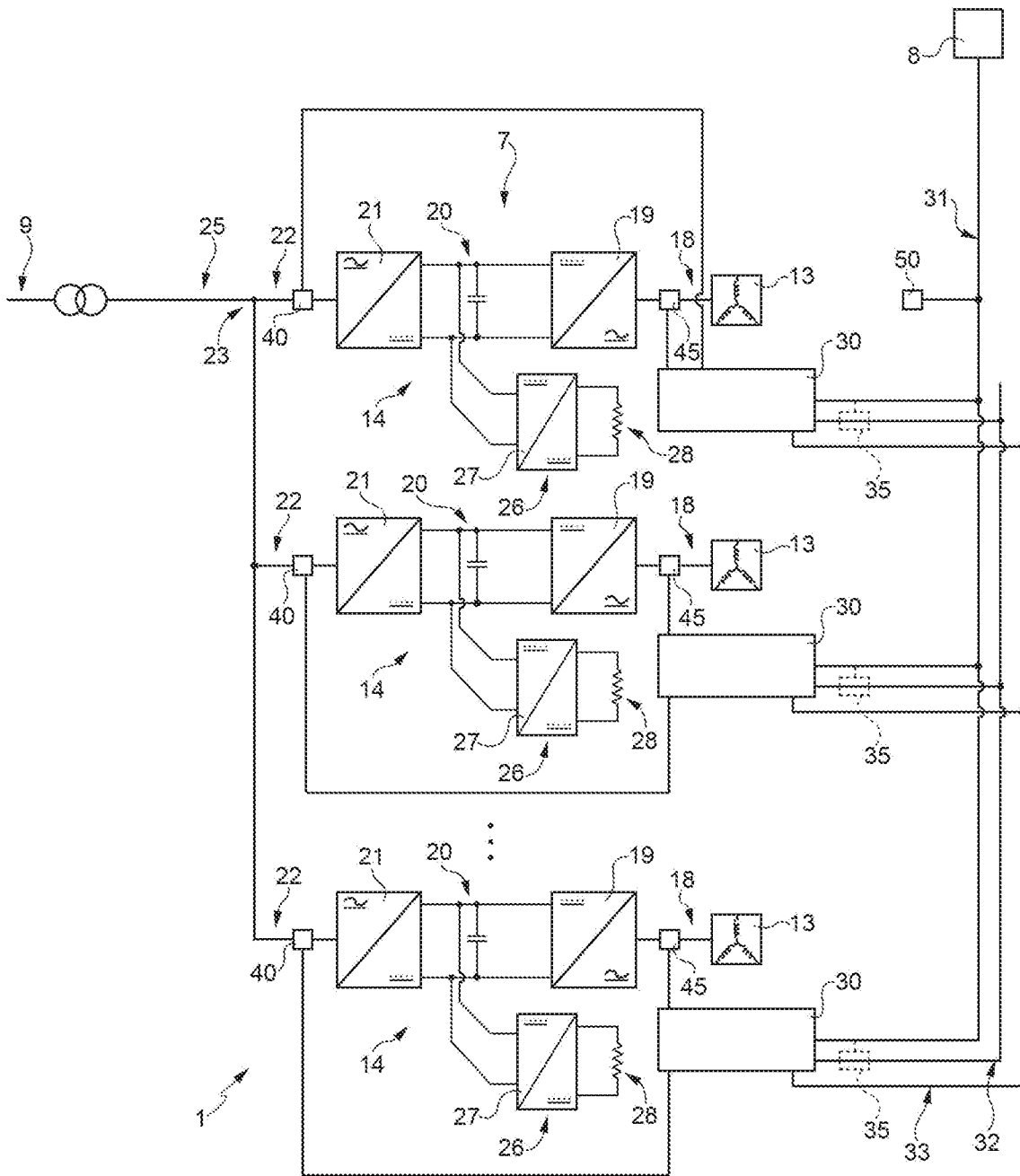


FIG. 2

p.i.: WILIC S.A.R.L.

Mauro ECCETTO
(Iscrizione Albo nr. 847/B)