



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102012902062607
Data Deposito	25/06/2012
Data Pubblicazione	25/12/2013

Classifiche IPC

Titolo

AEROGENERATORE OTTIMIZZATO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA IN PRESENZA DI FLUSSI TURBOLENTI ED A BASSA VELOCITA NOMINALE
--

Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo "aerogeneratore ottimizzato per la produzione di energia in presenza di flussi turbolenti ed a bassa velocità nominale".

Forma oggetto del presente trovato un aerogeneratore dotato di alcuni accorgimenti per ottimizzare la produzione di energia da fonte eolica principalmente in presenza di venti di moderata intensità e
5 turbolenza non trascurabile.

Sono noti allo stato della tecnica aerogeneratori di svariate tipologie e dimensioni, che vengono utilizzati per la produzione di energia elettrica sfruttando la risorsa eolica. Uno dei limiti connessi all'utilizzo degli aerogeneratori noti allo stato dell'arte è la difficoltà di sfruttare venti di bassa velocità e con rapidi cambi di direzione. In presenza di turbolenza infatti la direzione del vento
10 cambia in maniera molto rapida, costringendo i sistemi di controllo dell'aerogeneratore ad interventi continui sull'angolo di imbardata dell'aerogeneratore. Ciò è causa di perdita di produzione di energia, dal momento che spesso l'aerogeneratore si trova orientato non verso la direzione principale del vento ma verso una direzione che il flusso di aria ha assunto solo localmente e per un periodo di tempo troppo breve per essere significativo dal punto di vista energetico.

15 Per ovviare a questo inconveniente sono noti allo stato della tecnica una serie di sistemi di controllo dell'angolo di imbardata, che vengono per lo più adottati su macchine di grosse dimensioni, indicativamente oltre i 200kW.

Scopo del trovato oggetto della presente invenzione è fornire un aerogeneratore dotato di un sistema di controllo dell'imbardata e di controllo del passo delle pale (Pitch control) che superi gli
20 inconvenienti legati allo sfruttamento di flussi turbolenti ed a bassa velocità, pur rimanendo di semplice concezione e realizzazione. In questa maniera il trovato oggetto della presente invenzione è economicamente sfruttabile anche in associazione ad aerogeneratori di piccole dimensioni. Secondo un altro scopo il trovato oggetto della presente invenzione intende fornire un aerogeneratore dotato di opportuni accorgimenti e migliorie rispetto a quanto noto allo stato della tecnica.

Il trovato oggetto della presente invenzione realizza gli scopi prefissati in quanto trattasi di dispositivo di controllo dell'angolo di imbardata di un aerogeneratore comprendente un motore elettrico; almeno un riduttore di giri per la trasmissione del moto di imbardata alla navicella dell'aerogeneratore; mezzi per la rilevazione della direzione del vento, della posizione angolare della navicella e del numero di giri che la navicella ha compiuto rispetto ad una data posizione di riferimento; mezzi di calcolo e controllo configurati per acquisire la direzione del vento da detti mezzi per la rilevazione della velocità del vento e per comandare detto motore elettrico

Questi ed altri vantaggi saranno evidenti dalla descrizione dettagliata del trovato, che farà riferimento alle figura da 1 a 3 allegate.

10 In figura 1 è mostrata una vista di assieme della componentistica interna alla navicella dell'aerogeneratore secondo la presente invenzione;

In figura 2 è mostrata una vista di dettaglio di un modo di realizzazione preferenziale del meccanismo di controllo dell'angolo di imbardata secondo la presente invenzione;

15 In figura 3 è mostrata una vista di dettaglio di un modo di realizzazione preferenziale del meccanismo di controllo del passo secondo la presente invenzione.

Come mostrato nelle figure allegate, formano oggetto della presente invenzione una serie di sistemi di controllo che regolano l'angolo di imbardata ed il passo delle pale in funzione della velocità e direzione del vento.

20 L'orientamento del rotore dell'aerogeneratore rispetto alla direzione prevalente del vento (controllo di imbardata) è determinato da un sistema elettromeccanico di movimento e da un controllo elettronico dell'imbardata.

Il dispositivo di controllo dell'imbardata secondo la presente invenzione comprende un motore elettrico (10) che per mezzo di due riduttori trasmette il moto di imbardata alla navicella. In particolare può convenientemente essere utilizzato un sistema che prevede l'utilizzo di un primo
25 riduttore (50) del tipo vite senza fine – ruota dentata, opportunamente calettato sul motore e sul

secondo riduttore, ed un secondo riduttore (30) del tipo vite senza fine - ruota elicoidale su ralla, fissato dal lato della ralla (20) al basamento della navicella.

Nell'ipotesi di adottare rapporti di riduzione di circa 1:90 ed 1:85 per i due riduttori, e di utilizzare un motore elettrico che ruoti alla rotazione di 3000 rpm, si ottiene un moto di rivoluzione per la navicella (moto di imbardata) ad una velocità di circa 0,4 rpm.

Il movimento di imbardata è controllato da un sistema elettronico in cui mezzi di calcolo (a titolo di esempio un microprocessore o un PC) determinano l'angolo di puntamento attraverso opportune elaborazioni di segnali provenienti da sensori che determinano la direzione del vento (banderuola), la posizione angolare del rotore rispetto alla direzione prevalente del vento ed il numero di giri (40) che la navicella ha compiuto su se stesso. In particolare il sensore che rileva la posizione angolare dell'aerogeneratore invia i segnali al processore al fine di evitare problemi di arrotolamento dei cavi di trasmissione del segnale e dei cavi di potenza all'interno della torre che sostiene il rotore.

I sensori, convenientemente posti all'interno della navicella, attraverso un cavo multipolare inviano ad un sistema hardware tutti i segnali. Detto sistema hardware, cui è convenientemente associato un software, invia agli attuatori di passo (200) e stallo, agli attuatori di imbardata (10), ed alle zavorre di parcheggio le informazioni di movimento;

Gli aerogeneratori, in particolare gli aerogeneratori di piccola taglia noti allo stato della tecnica utilizzano un sistema del tipo a timone per il controllo dell'imbardata. Ciò comporta che i disturbi legati alle turbolenze locali del vento si traducono in disallineamenti rispetto alla direzione principale del vento. Al contrario l'utilizzo di un sistema di imbardata elettromeccanico consente alla macchina di effettuare una media sui segnali generati, scartare i disturbi legati alle turbolenze, e mantenere la posizione dell'aerogeneratore rivolta verso la direzione prevalente del vento. Questo evita al sistema di perdere inerzia di rotazione a causa delle variazioni di direzione per turbolenza, come tipicamente

accade nelle macchine a timone; tale disturbo in alcuni siti può generare perdite pari al 30-40% della energia complessivamente erogata.

Detto sistema campiona continuamente i dati derivanti dai sensori di: direzione del vento, posizione angolare navicella, velocità del vento, numero di giri e antiarrotolamento cavi.

- 5 In fase di installazione dell'aerogeneratore viene stabilita una corrispondenza tra la posizione della banderuola e la prua della navicella. In fase di funzionamento la direzione di provenienza del vento viene continuamente campionata, e ad intervalli di tempo predeterminati la direzione di puntamento dell'aerogeneratore viene confrontata con la direzione prevalente del vento; , il codice di programma utilizzato verifica lo scostamento tra il valore impostato e il valore attualizzato se evidenzia uno
- 10 scostamento oltre il valore di tolleranza, eventualmente, a mezzo del motore (10), l'aerogeneratore viene ruotato per essere posizionato verso la direzione prevalente di provenienza del vento.

Durante questo intervallo di tempo il microprocessore analizza tutti i dati ricevuti dal sensore di direzione del vento, e determina quella che è la direzione prevalente del vento, scartando in questa maniera i disturbi provenienti da folate, turbolenze, etc.

- 15 Ciò avviene senza che la reale direzione di puntamento dell'aerogeneratore sia disturbata da cambi di direzione temporanei del vento.

- E' inoltre possibile, eventualmente, considerare un angolo di errore tollerato tra la direzione di puntamento dell'aerogeneratore e la direzione prevalente del vento determinata mediando i segnali provenienti dal sensore di direzione del vento, in modo da evitare al motore di controllo del sistema
- 20 di imbardata accensioni inutili per produrre spostamenti angolari della navicella di piccola entità, che non incidono in maniera sostanziale sulla potenza erogata.

Convenientemente il sistema, in caso di accensione del motore (10) per l'impostazione dell'angolo di imbardata, nella scelta della direzione di rotazione per portarsi al punto assegnato dal sistema terrà conto del valore dato dal sensore di anti-arrotolamento e muoverà in modo da non superare un

valore angolare massimo preimpostato per l'arrotolamento del cavo, al fine di evitare di arrotolare i cavi su se stessi.

Il valore dell' errore angolare tollerato e dell'intervallo di tempo nel quale viene confrontato il posizionamento angolare della navicella con la direzione prevalente del vento possono
5 convenientemente essere modificati in funzione delle caratteristiche anemometriche del sito di installazione (turbolenze, stabilità direzionale del vento, etc.), adattando la macchina ai vari siti di installazione, per ottenere dal generatore la massima potenza e la migliore sicurezza.

Convenientemente al sistema di controllo dell'imbardata appena descritto può essere associato un controllo della potenza meccanica all'albero del rotore per mezzo del controllo di passo delle pale.

10 Questo controllo, detto anche "controllo aerodinamico della pala", si ottiene facendo ruotare la pala rispetto alla direzione prevalente del vento lungo il suo asse baricentrico "radius" (controllo di PITCH), regolando in questo modo la "portanza" e, conseguentemente, la velocità di trascinamento e la coppia all'asse.

Tale sistema di controllo può essere attuato per mezzo di un sistema biella manovella con attuazione
15 elettromeccanica di movimento, che consente alla pala di essere attiva e di ruotare sul suo asse,

Secondo un modo di realizzazione preferenziale, il sistema del controllo di passo delle pale comprende un attuatore lineare elettromeccanico (200), un sistema biella manovella (210,220) installato su una ralla (230) e sistemi di scorrimento e stabilizzazione sui cuscinetti lineari.

La parte elettronica del sistema di controllo di passo comprende convenientemente un sensore
20 lineare magnetostrittivo in corrente (240), direttamente collegato allo stelo dell'attuatore elettrico (200), configurato in maniera da muoversi lungo il suo asse insieme all'attuatore, in modo che queste variazioni di posizione generino delle variazioni di corrente. Il microprocessore legge e converte in valori di posizione angolare dette variazioni di corrente, così identificando la posizione dell'angolo di esposizione al vento delle pale. Un sensore di prossimità (250) monitora l'elettromagnete di
25 giunzione tra attuatore e gruppo di attuazione del passo delle pale. In caso di sgancio

dell'elettromagnete non richiesto dal sistema di controllo, attiva il motore del pitch in modo che tenti il riaggancio. Se ciò avviene con successo entro un massimo di sei tentativi, il sistema riprende il funzionamento normalmente, diversamente viene attivata la procedura di parcheggio ed attivato il segnale di allarme per richiesta intervento tecnico. Un sensore su ruota fonica (260) rileva in continuo il numero di giri del rotore e, in caso la velocità di rotazione assuma valori oltre i valori impostati, il microprocessore aziona il motore elettrico (200) che comanda l'attuatore elettromeccanico di passo.

In fase di normale funzionamento il controllo di passo lineare delle pale consente di mantenere la coppia massima costante al mozzo e la velocità di rotazione del rotore sul suo asse entro un definito intervallo anche all'aumentare della velocità del vento rispetto alla nominale. A titolo puramente esemplificativo e non limitativo per aerogeneratori di dimensioni inferiori ai 200kW tra 75 e 85 RPM). La presenza del controllo di passo delle pale permette di regolare la potenza all'asse dell'aerogeneratore e la velocità di rotazione, migliorando lo sfruttamento del vento a velocità minori della nominale e consentendo di mantenere la potenza al valore di targa del generatore all'aumentare della velocità del vento.

Si può quindi evitare di incorrere in problemi di eccessiva velocità e si riducono i carichi agenti sull'aerogeneratore. Da ultimo il range di velocità di funzionamento ammissibili aumenta con la presenza del controllo di passo. estrarre potenza maggiore senza incorrere in problemi di sovra velocità e moderando le componenti di stress del sistema.

Convenientemente all'aerogeneratore secondo la presente invenzione possono essere associate pale che presentano profili aerodinamici differenziati lungo l'asse della pala stessa, dall'attacco al rotore fino alla punta.

Secondo un modo di realizzazione preferenziale, scegliendo i profili da utilizzare nell'insieme dei profili NACA a quattro cifre, possono essere utilizzati 5 diversi profili NACA tra l'attacco della pala al

rotore e la punta della stessa. Inoltre l'utilizzo di un Winglet sul bordo di uscita della pala consente di ridurre il rumore aerodinamico prodotto dall'aerogeneratore.

Come è noto, una volta che la geometria dei profili utilizzati per la realizzazione della pala sia nota, variando l'angolo α tra la corda della pala e la direzione del vento relativo si ottiene una variazione della portanza e della sua componente utile ai fini della generazione di coppia all'albero del rotore, 5
cioè quella in direzione tangenziale rispetto alla velocità di rotazione della pala.

Per questo motivo il controllo attivo passo precedentemente descritto può convenientemente essere attuato secondo la logica seguente.

Il microprocessore che controlla il sistema acquisisce i dati riguardanti la velocità del vento e la 10
velocità di rotazione del rotore, che possono essere misurati rispettivamente da un anemometro a coppette e da un sensore del tipo a "ruota fonica". Sulla base di queste informazioni il sistema calcola l'angolo α tra la corda della pala e la direzione del vento relativo a varie distanze dall'asse del rotore e, conoscendo i profili aerodinamici utilizzati, calcola la portanza generata dalla pala. Se necessario provvede ad attivare l'attuatore elettromeccanico per variare l'angolo di attacco della pala e 15
regolare, conseguentemente, la potenza.

In particolare, quando questo metodo viene utilizzato in associazione a turbine di piccola taglia è necessario considerare che, alle altezze dal suolo cui tipicamente sono installati questi aerogeneratori sono presenti elevate variazioni di velocità del vento nel tempo. A titolo di esempio sono state rilevate da prove sperimentali variazioni anche di 15 m/s in soli 0,7 s, con intensità del 20
vento che si mantengono ragionevolmente costanti per periodi inferiori ai 2 secondi.

Queste raffiche sono estremamente dannose per il generatore perché porterebbero il generatore a velocità eccessive, tali da indurre sollecitazioni al limite della resistenza meccanica dello stesso, provocando inoltre lo stallo dell'aerogeneratore, con la conseguenza di non poter produrre energia in aree a forte tendenza di raffiche.

Come accennato la variazione del passo della pala è realizzata attraverso l'uso di un sistema di biella-manovella (210,220) comandato da un attuatore elettrico lineare (200) per mezzo di uno stelo (270) passante attraverso un foro praticato sull'albero dell'alternatore al gruppo rotore. Sullo stesso albero attraverso un trilobo sono collegate le bielle che trasmettono il moto alle ralle di movimento, su cui sono attaccate le pale. Il sistema di steli e cuscinetti lineari consente di stabilizzare sia le vibrazioni che i momenti generati dalla forza del vento sulle pale che tenderebbero di variare l'angolo di attacco e conseguentemente generare una perdita di potenza o un andamento irregolare del moto che causerebbe errori di lettura ai sensori del sistema di controllo.

La presenza contemporanea dei controlli elettromeccanici di imbardata e di pitch consente di implementare un algoritmo di sicurezza secondo la logica seguente.

Monitorando il valore del pitch durante il funzionamento, se il sistema rileva che, pur in presenza del comando di variazione del passo della pala questo non viene effettivamente variato, automaticamente avvia una procedura di allarme e parcheggio. Il parcheggio avviene tramite il sistema di imbardata, che posiziona la prua del generatore a 90° rispetto alla direzione prevalente del vento. Tale angolo tra la direzione del vento e la prua viene mantenuto anche al variare della direzione del vento, fino a quando l'allarme non viene disattivato ripristinando il normale funzionamento.

In caso di blackout totale, ossia quando tutti i sistemi di controllo e di moderazione della velocità di rotazione del rotore non consentono di mantenere il suo range di rotazione entro i valori nominali e quindi il rotore può andare in folle, il sistema di controllo a microprocessore attiva un sistema puramente meccanico che agisce in modo spontaneo (non alimentato elettricamente), e che attraverso l'utilizzo di molle elicoidali precomprese, porta le pale del rotore nella posizione di minima esposizione al vento, detta "a bandiera"; tale posizione consente al rotore di rallentare spontaneamente, ed entrare nel range di velocità inferiore a 20 rpm, sotto il quale l'inverter inserisce le zavorre elettriche di parcheggio.

Questo sistema viene azionato attraverso lo sgancio del magnete, al fine di garantire le normali procedure di arresto anche in assenza totale di alimentazione, è alimentato da batterie in tampone.

Un caso tipico di condizione di blackout massimo può essere la caduta repentina della rete durante una forte tempesta con venti molto alti.

5 La posizione di arresto viene mantenuta fino al riavviamento della macchina che può avvenire in modo automatico, quando il software attraverso un check di tutti i sensori (Microprocessore ok, RPM, Jaw, posizione Pitch, magnete, anemometro, banderuola, inverter ok, rete, temperatura, Blade, accelerometro bidirezionale, antiarrotolamento) rileva che tutti i parametri della macchina sono attivi, ed esegue la seguente procedura:

- 10
- Controllo di tutti i componenti elettrici;
 - Verifica che la velocità del vento sia all'interno del range di velocità ammissibili per il funzionamento;
 - In caso di assenza di anomalie, riavvio del generatore eolico;

Avendo descritto la configurazione preferenziale dei sistemi di controllo e di imbardata secondo la
15 presente invenzione, è possibile adesso descrivere il funzionamento dell'aerogeneratore dotato di detti sistemi di controllo.

Preferibilmente l'avviamento della turbina avviene in modo automatico e senza l'ausilio di avviatori, nel momento in cui i mezzi di controllo rilevano, a mezzo dei dati inviati dai sensori (Anemometro, sensore Rpm, sensore frequenza dell'alternatore) che è presente una velocità del
20 vento sufficiente a garantire che l'energia prodotta sia superiore a quella consumata dagli ausiliari della turbina. A titolo puramente esemplificativo e non limitativo, tale velocità minima del vento può essere di 2,5 m/s. La messa in esercizio automatica avviene seguendo i seguenti passaggi:

- Rilevamento condizione di avvio (velocità maggiore di velocità minima);
- Avviamento attuatore di imbardata (lettura della posizione mediata attraverso un apposito
25 algoritmo, accensione del motore di imbardata);

- Avviamento attuatori di passo (il microprocessore monitora la velocità del vento e l'accelerazione angolare del rotore e, entro i valori massimi preimpostati di velocità del vento, e rpm rotore, modifica il valore dell'angolo alfa tra le corde dei profili della pala ed il vento relativo, la fine di ottenere la massima potenza, modificando detto valore dell'angolo alfa in modo che le accelerazioni angolari del rotore siano contenute entro limiti di sicurezza)

- Connessione alla rete (lettura dei valori di tensione e frequenza dell'alternatore, inizio erogazione una volta superati i valori di autoconsumo, automantenimento dei valori massimi di erogazione)

Tale procedura è utilizzata per garantire che la fase di avviamento sia "morbida", ossia senza eccessive sollecitazioni strutturali dovute a forti accelerazioni del rotore, per effetto di raffiche e/o elevate velocità del vento, in questo modo si garantisce anche un migliore funzionamento dei controlli in retroazione.

Convenientemente il software di gestione può essere installato su mezzi di calcolo associati all'aerogeneratore, in modo da consentire sia di variare i parametri di set-up relativi al sito dove è installato il generatore eolico (angolo di errore tollerato per l'imbardata, intervallo di tempo tra controlli successivi della direzione della macchina), sia di monitorare e registrare tutti i valori letti dai sensori presenti a bordo dell'aerogeneratore, registrando anche le condizioni di allarme verificatesi.

Convenientemente all'aerogeneratore possono essere associati mezzi di comunicazione per la comunicazione remota di quanto registrato

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo di controllo dell'angolo di imbardata di un aerogeneratore comprendente
 - un motore elettrico (10);
 - almeno un riduttore di giri (30,50) per la trasmissione del moto di imbardata alla navicella dell'aerogeneratore;
 - mezzi per la rilevazione della direzione del vento, della posizione angolare della navicella e del numero di giri che la navicella ha compiuto rispetto ad una data posizione di riferimento;
 - mezzi di calcolo e controllo configurati per acquisire la direzione del vento da detti mezzi per la rilevazione della velocità del vento e per comandare detto motore elettrico
2. Aerogeneratore per la produzione di energia elettrica dal vento comprendente un dispositivo di controllo dell'imbardata secondo la rivendicazione 1 ed un dispositivo di controllo del passo delle pale, comprendente mezzi per la rilevazione dell'angolo di attacco delle pale, mezzi di calcolo, un attuatore elettromagnetico (200) ed un sistema biella-manovella (210,220), configurato per variare l'angolo di attacco delle pale rispetto alla direzione prevalente del vento.
3. Aerogeneratore per la produzione di energia elettrica dal vento secondo la rivendicazione 1 o 2 caratterizzato dal fatto che detti riduttori di giri per la trasmissione del moto di imbardata alla navicella dell'aerogeneratore comprendono un primo riduttore (50) del tipo vite senza fine – ruota dentata, collegato al motore ed a un secondo riduttore (30) del tipo vite senza fine - ruota elicoidale su ralla, fissato dal lato della ralla al basamento della navicella.
4. Metodo per il controllo della direzione di puntamento di un aerogeneratore comprendente il sistema di controllo dell'imbardata secondo una delle rivendicazioni precedenti comprendente le fasi di:

- Campionamento dei dati acquisiti da detti mezzi per la rilevazione della direzione del vento, della posizione angolare della navicella e del numero di giri che la navicella ha compiuto rispetto ad una data posizione di riferimento;
- Calcolo della direzione prevalente di provenienza del vento in un intervallo di tempo predeterminato;
- Calcolo dello scostamento angolare tra la direzione di puntamento dell'aerogeneratore e detta direzione prevalente di provenienza del vento in un intervallo di tempo predeterminato;
- Nel caso in cui detto scostamento sia maggiore di un valore di soglia predeterminato, azionamento del motore del sistema di controllo dell'imbardata per puntare la navicella dell'aerogeneratore verso detta direzione prevalente di provenienza del vento.

5. Metodo per il controllo del passo della pale di un secondo una delle rivendicazioni precedenti comprendente le fasi di:

- acquisire i dati riguardanti la velocità del vento, la velocità di rotazione del rotore e l'angolo di attacco delle pale;
- calcolo dell'angolo α tra la corda della pala e la direzione del vento relativo a varie distanze dall'asse del rotore
- stima della portanza generata dalla pala sulla base di detto angolo α e della conoscenza della geometria della pala
- eventuale variazione dell'angolo di attacco della pala al fine di regolare la potenza meccanica all'albero del rotore.

6. Metodo per il controllo del funzionamento in sicurezza di un aerogeneratore secondo una delle rivendicazioni precedenti comprendente i passi di:

- Verifica della presenza del comando, inviato dal sistema di controllo del passo, di variazione dell'angolo di attacco delle pale;

- Verifica dell'effettiva variazione di detto angolo di attacco a mezzo di detti mezzi per la rilevazione di detto angolo di attacco delle pale;
- In caso di presenza del segnale di comando e di mancata attuazione di detto segnale, puntamento, a mezzo di detto sistema di controllo dell'imbardata, della navicella verso una direzione sostanzialmente ortogonale alla direzione principale di provenienza del vento.

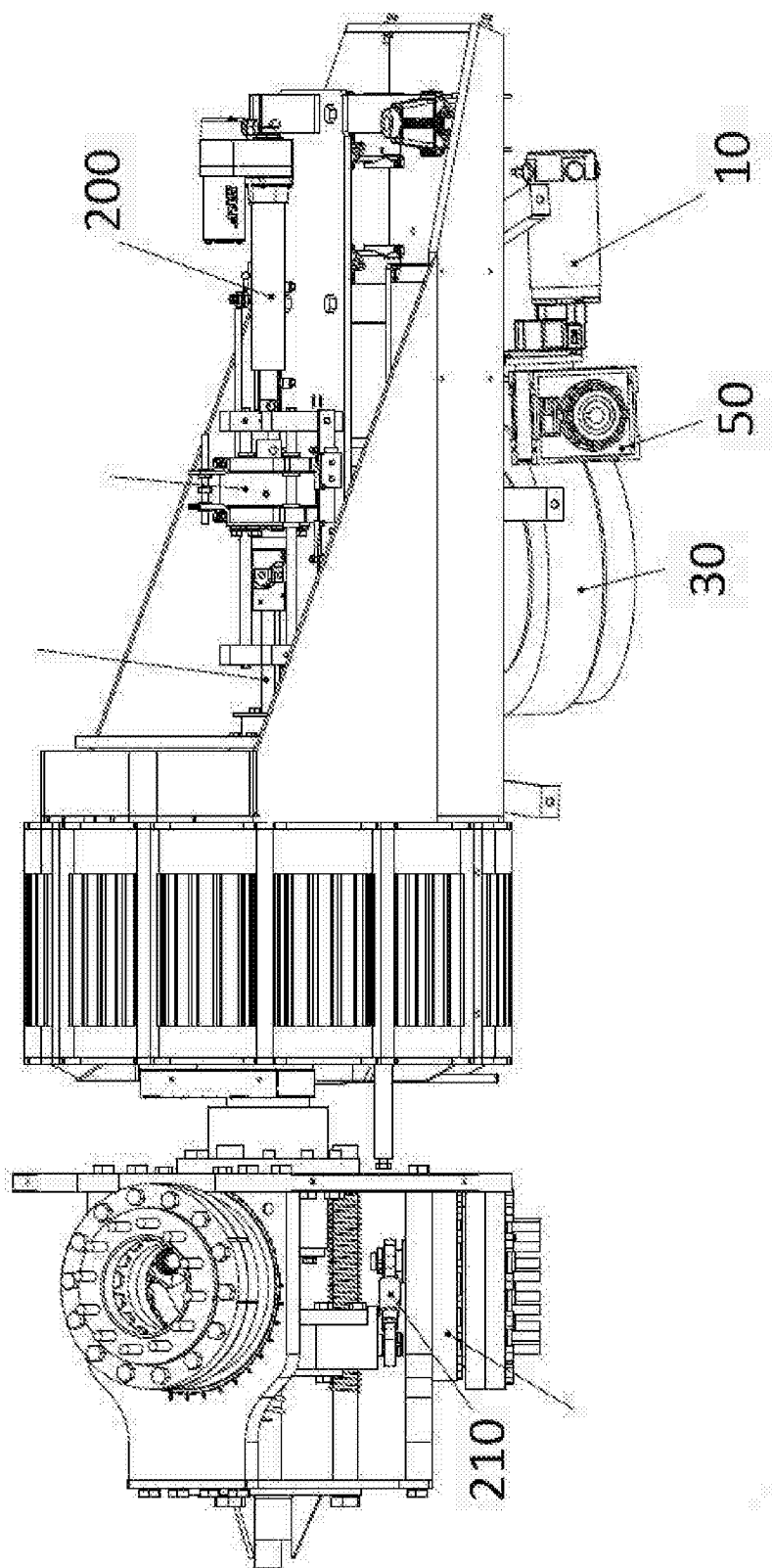


Fig. 1

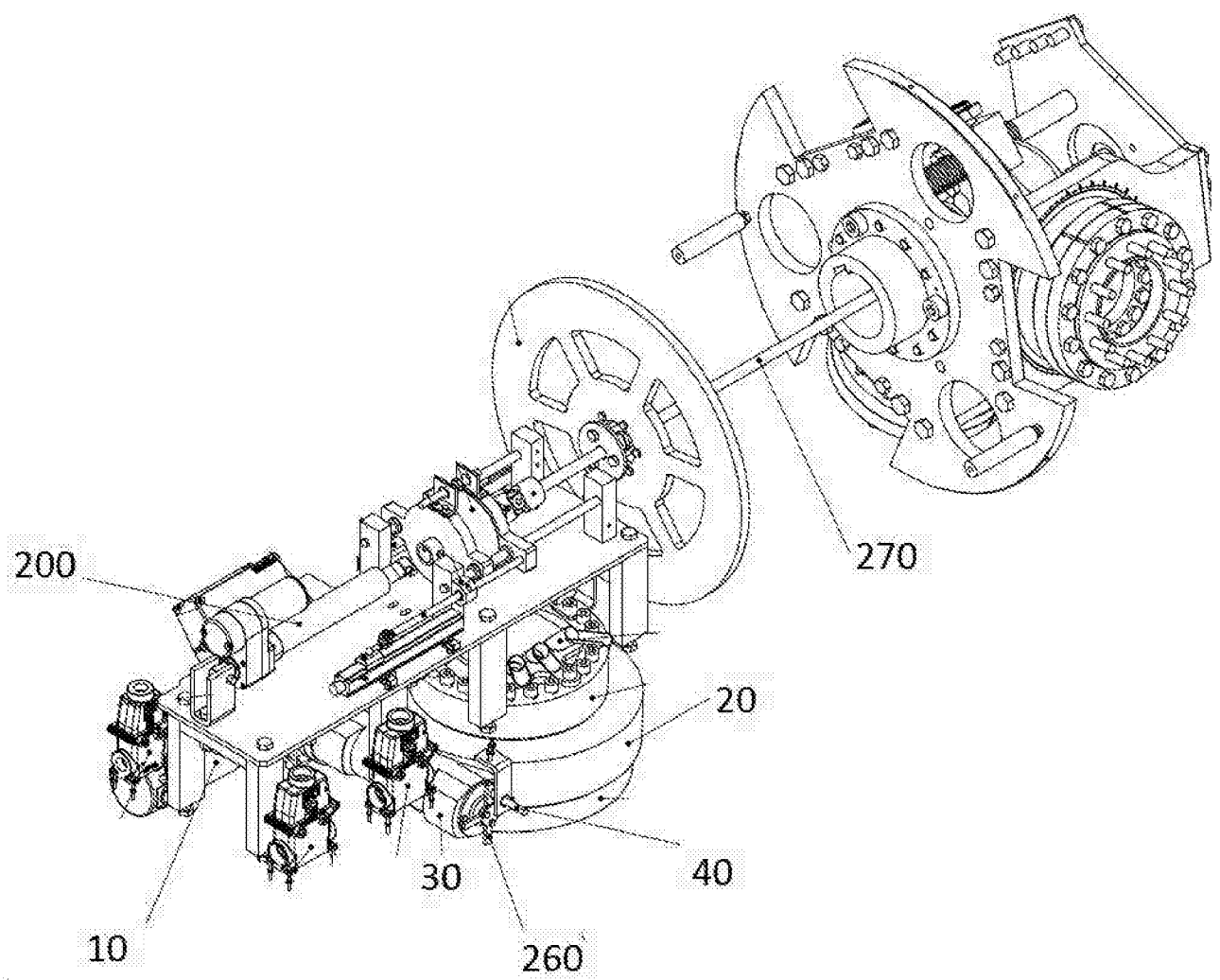


Fig. 2

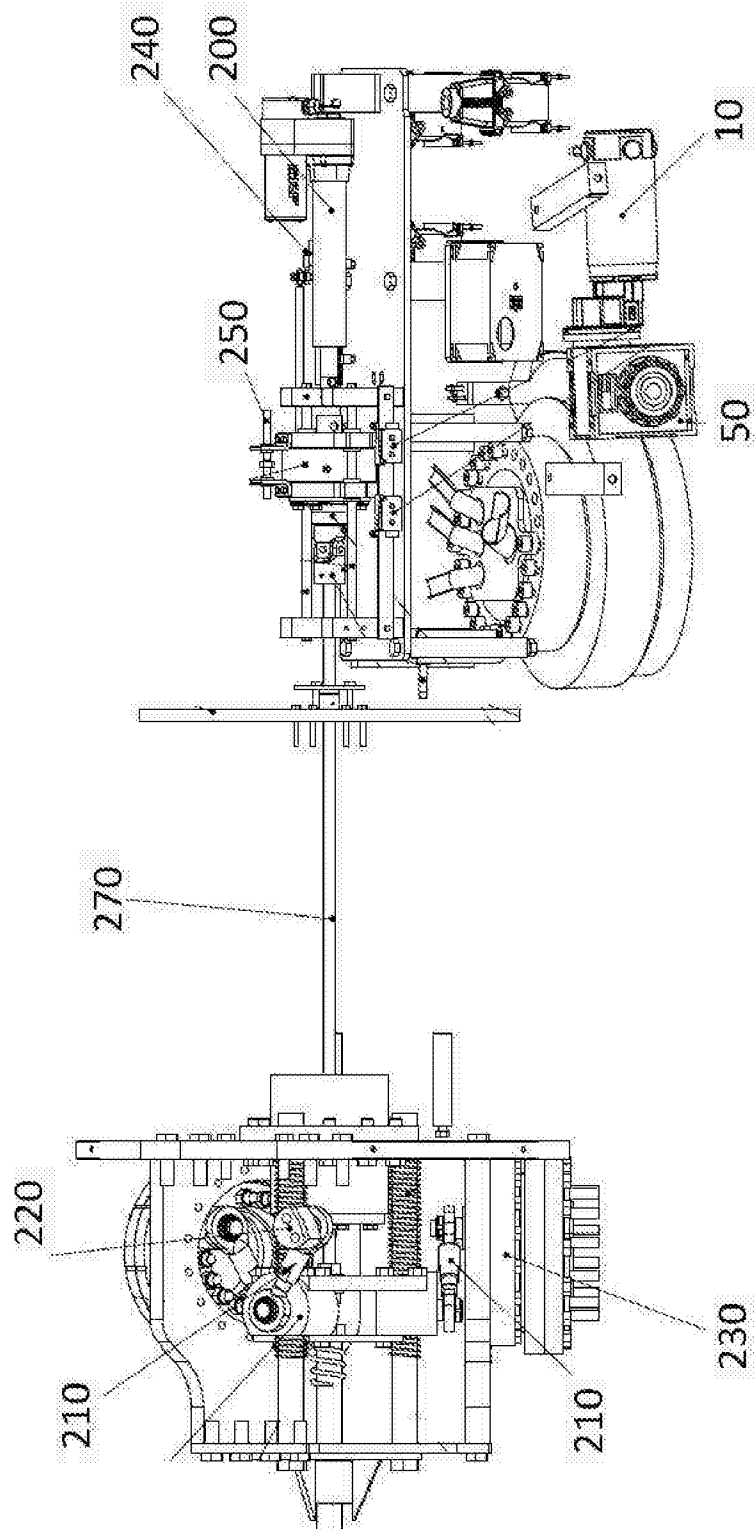


Fig. 3