

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902106629A1

Publication Date

20140530

Applicant

AKTIEBOLAGET SKF

Title

SISTEMA DI RACCOLTA DI ENERGIA INCLUDENTE UN CONTRAPPESO ED
UN SISTEMA DI CONTROLLO DELLA POSIZIONE ANGOLARE DEL
CONTRAPPESO

Descrizione a corredo di una domanda di brevetto per invenzione industriale
dal titolo: **SISTEMA DI RACCOLTA DI ENERGIA INCLUDENTE UN
CONTRAPPESO ED UN SISTEMA DI CONTROLLO DELLA POSIZIONE
ANGOLARE DEL CONTRAPPESO.**

5 A nome: **Aktiebolaget SKF**
di nazionalità: Svedese
con sede in: 415 50 Göteborg (SVEZIA)
Inventori designati: RENGÀ Flavio; e
ROSSI Mario.

10

DESCRIZIONE

La presente invenzione è relativa ad un sistema di raccolta di energia
includente un contrappeso ed un sistema di controllo della posizione
angolare del contrappeso.

15 Come è noto, sono oggi disponibili sistemi di raccolta di energia
("energy harvesting"), i quali consentono di convertire energia meccanica in
energia elettrica, e di immagazzinare l'energia elettrica così ottenuta.

Ad esempio, l'articolo di T. T. Toh et al., "Continuously rotating
energy harvester with improved power density", Proceedings PowerMEMS
20 2008, pp. 221-224, Sendai (JP), descrive un sistema di raccolta di energia
di tipo a rotazione continua, il quale comprende un rotore, uno statore ed un
contrappeso, il quale è vincolato allo statore. Il rotore e lo statore fanno
parte di una dinamo; inoltre, il rotore è solidale con un elemento rotante, il
quale è azionato, ad esempio, da un motore esterno.

25 In uso, il motore esterno mantiene in rotazione l'elemento rotante. A

sua volta, il rotore ruota insieme all'elemento rotante, mentre il contrappeso tende a mantenere fisso lo statore, mediante applicazione di una corrispondente coppia, la quale è causata dalla forza di gravità. Si verifica dunque un moto relativo del rotore rispetto allo statore, con conseguente
5 generazione di potenza elettrica all'interno della dinamo. Tale potenza elettrica viene trasferita ad un carico, quale ad esempio una batteria.

Più in particolare, il trasferimento di potenza elettrica comporta il passaggio di corrente all'interno del rotore, la quale a sua volta causa l'applicazione, sullo statore, di una coppia motrice. Ciò premesso, durante la
10 rotazione del rotore, lo statore assume una posizione che dista una distanza angolare θ , misurata lungo la direzione di rotazione, dalla posizione che lo stesso statore assumerebbe in assenza di rotazione del rotore, alla quale ci si riferisce anche come alla posizione di riposo. Dal momento che la distanza angolare θ è non nulla, la coppia gravitazionale agente sullo statore
15 equilibra la coppia motrice, in maniera tale per cui lo statore tende appunto a rimanere immobile.

In maggior dettaglio, il trasferimento di potenza avviene solo se la velocità di rotazione dell'elemento rotante non supera una velocità angolare critica, oltre la quale la coppia gravitazionale non è più in grado di
20 contrastare la coppia motrice, e lo statore inizia a ruotare insieme al rotore. In pratica, la coppia gravitazionale assume un valore massimo quando la distanza angolare θ del contrappeso dalla posizione di riposo è pari a 90° ; coppie motrici superiori a tale valore massimo comportano distanze angolari θ superiori a 90° , le quali corrispondono a valori via via inferiori di coppia
25 gravitazionale. Pertanto, quando la distanza angolare θ del contrappeso

supera una distanza critica θ_c pari a 90° , il sistema di recupero di energia entra in una condizione di instabilità, in cui il contrappeso tende a ruotare con la stessa velocità angolare del rotore, ed il trasferimento di potenza è sostanzialmente nullo, a causa dell'annullamento del moto relativo tra
5 statore e rotore.

Al fine di ottimizzare il trasferimento di potenza elettrica, tra la dinamo ed il carico è presente un cosiddetto circuito di inseguimento di punto di massima potenza ("maximum power point tracking", MPPT).

Il circuito MPPT assolve la funzione di adattare l'impedenza di
10 ingresso del carico all'impedenza di uscita della dinamo, al fine di massimizzare il trasferimento di potenza. In pratica, il circuito MPPT adatta l'impedenza del carico all'impedenza dell'armatura del rotore.

In maggior dettaglio, il circuito MPPT comprende un cosiddetto circuito a commutazione ("switching"), il quale viene comandato mediante
15 impiego di un segnale a modulazione di larghezza di impulso ("pulse-width-modulated", PWM), generato dallo stesso circuito MPPT. L'adattamento di impedenza viene conseguito mediante variazione del duty cycle di tale segnale a modulazione di larghezza di impulso.

Ancora in maggior dettaglio, il circuito a commutazione ha un
20 ingresso elettrico, il quale è collegato ai capi di un'armatura del rotore. Sull'ingresso elettrico del circuito a commutazione sono dunque presenti una corrente di ingresso ed una tensione di ingresso, erogati dalla dinamo. Il circuito MPPT varia il duty cycle del segnale a modulazione di larghezza di impulso in funzione della corrente di ingresso e della tensione di ingresso,
25 modulando corrispondentemente il trasferimento di potenza elettrica dalla

dinamo al carico.

Il circuito MPPT consente dunque di massimizzare il trasferimento di energia al carico, tuttavia il suo funzionamento comporta la possibilità che il sistema di recupero di energia possa entrare in condizioni di instabilità.

5 Infatti, come precedentemente accennato, l'applicazione di un carico alla dinamo comporta un'azione frenante, la quale è tanto maggiore, tanto più è elevata la corrente che circola nell'armatura del rotore. Pertanto, è possibile che il circuito MPPT, nel cercare di trasferire il massimo della potenza elettrica disponibile a capi della dinamo, causi un'azione frenante tale da far
10 ruotare il contrappeso di un angolo superiore alla distanza critica θ_c . In tal caso, il sistema di recupero di energia entra in condizioni di instabilità. Per prevenire tale eventualità, è necessario far ruotare l'elemento rotante ad una velocità angolare sensibilmente inferiore alla velocità angolare critica, nonché evitare che l'elemento rotante sia soggetto ad accelerazioni lineari, cioè trasli, tali accelerazioni lineari potendo contribuire al raggiungimento
15 delle condizioni di instabilità. In altre parole, occorre introdurre dei vincoli all'utilizzo del sistema di raccolta di energia.

Scopo della presente invenzione è dunque fornire un sistema di raccolta di energia che risolva almeno in parte gli inconvenienti dell'arte
20 nota.

Secondo la presente invenzione viene fornito un sistema di raccolta di energia, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Per una migliore comprensione dell'invenzione, ne vengono ora descritte forme di realizzazione, a puro titolo di esempio non limitativo e con
25 riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 mostra uno schema a blocchi di una forma di realizzazione del presente sistema di raccolta di energia;

- la figura 2 mostra un circuito elettrico equivalente di una porzione del sistema di raccolta di energia mostrato in figura 1;

5 - la figura 3 mostra schematicamente una vista prospettica di un assile ferroviario e di un sistema di riferimento ad esso solidale;

- la figure 4a-4c e 6 mostrano le disposizioni reciproche di differenti grandezze vettoriali, all'interno del sistema di riferimento mostrato in figura 3, nonché corrispondenti regioni di instabilità;

10 - le figure 5 e 7 mostrano schemi a blocchi di porzioni del sistema di raccolta di energia mostrato in figura 1; e

- le figure 8 e 9 mostrano schemi a blocchi di porzioni di ulteriori forme di realizzazione del presente sistema di raccolta di energia.

La figura 1 mostra un sistema di raccolta di energia 1, il quale è
15 accoppiato ad un elemento rototraslante. A titolo puramente esemplificativo, e senza alcuna perdita di generalità, la presente descrizione fa riferimento al caso in cui l'elemento rototraslante è formato da un assile di un treno, indicato con 2 e atto a ruotare attorno ad un asse di rotazione H. Tuttavia, il presente sistema di raccolta di energia 1 può essere impiegato anche al di
20 fuori del campo ferroviario, mediante accoppiamento con elementi rototraslanti di tipo differente, quali ad esempio assali di automobili. Inoltre, il presente sistema di raccolta di energia può essere accoppiato ad un elemento rotante, anziché ad un elemento rototraslante. A tal proposito, ancora a titolo puramente esemplificativo, il presente sistema di raccolta di
25 energia può essere accoppiato ad un elemento rotante di un cosiddetto

nastro trasportatore.

Ciò premesso, il sistema di raccolta di energia 1 comprende un contenitore 4, il quale è solidale con l'assile 2, in modo da essere trascinato in rotazione da quest'ultimo. Inoltre, il sistema di raccolta di energia 1 comprende una dinamo 6, di tipo di per sé noto ed includente uno statore 8 ed un rotore 10. Lo statore 8 è solidale con il contenitore 4, dunque ruota insieme all'assile 2, attorno all'asse di rotazione H. In modo di per sé noto, il rotore 10 è accoppiato allo statore 8 mediante interposizione, ad esempio, di cuscinetti a sfera, oppure di bronzine (non mostrate).

Il sistema di raccolta di energia 1 comprende inoltre un contrappeso 12, il quale è solidale con il rotore 10, ed il cui baricentro dista una distanza radiale non nulla dall'asse di rotazione H.

In pratica, il contrappeso 12 tende a mantenere il rotore 10 fisso rispetto allo statore 8, cioè ad impedire che il rotore 10 ruoti insieme allo statore 8. Pertanto, dato ad esempio un sistema di riferimento inerziale xyz avente asse y parallelo all'asse di rotazione H ed asse x parallelo alla direzione di traslazione dell'assile 2, lo statore 8 ruota attorno ad una direzione parallela all'asse y, mentre il contrappeso 12 tende a fare in modo che il rotore 10 assuma una posizione fissa rispetto allo statore 8. A titolo puramente esemplificativo, il sistema di riferimento inerziale xyz è il sistema di riferimento della linea ferroviaria su cui l'assile 2 rototrasla.

In maggior dettaglio, il rotore 10 comprende un primo ed un secondo avvolgimento 13a, 13b, mentre lo statore 8 comprende un primo ed un secondo polo magnetico 14a, 14b, tra loro opposti. Inoltre, lo statore 8 comprende un circuito elettrico di statore 16, il quale a sua volta include

spazzole 17 atte a contattare contatti striscianti (non mostrati) disposti sul rotore 10 e collegati elettricamente al primo ed al secondo avvolgimento 13a, 13b. In uso, quando si verifica un moto rotatorio relativo tra lo statore 8 ed il rotore 10, in uscita dal circuito di statore 16 è presente una tensione V_g , sostanzialmente continua.

Il sistema di raccolta di energia 1 comprende inoltre una batteria 20, un primo stadio di trasferimento di potenza 22 ed una unità di controllo 24. In particolare, il primo stadio di trasferimento di potenza 22 è collegato all'uscita del circuito elettrico di statore 16; inoltre, sia la batteria 20 che l'unità di controllo 24 sono collegati al primo stadio di trasferimento di potenza 22.

In dettaglio, la batteria 20 è collegata al circuito elettrico di statore 16 mediante interposizione del primo stadio di trasferimento di potenza 22. Pertanto, è possibile fare riferimento allo schema elettrico equivalente mostrato in figura 2, in cui la dinamo 6 è modellata come un generatore di tensione G avente una resistenza di uscita R_{out} , mentre la batteria 20 è modellata come una resistenza di carico R_{batt} .

Il primo stadio di trasferimento di potenza 22, descritto in maggior dettaglio in seguito, dispone di un primo ed un secondo terminale di ingresso, i quali sono rispettivamente collegati al terminale di uscita del circuito elettrico di statore 16 e a massa, nonché di un terminale di uscita, il quale è collegato al terminale di ingresso della batteria 20. Inoltre, il primo stadio di trasferimento di potenza 22 dispone di un terminale di controllo N_{cl} , il quale è collegato all'unità di controllo 24 (collegamento non mostrato). A titolo puramente esemplificativo, nel seguito della presente descrizione si

assume che nella forma di realizzazione mostrata in figura 1 il primo stadio di trasferimento di potenza 22 sia formato da un convertitore a commutazione di tipo noto, quale ad esempio un convertitore cosiddetto "buck-boost" di tipo non invertente, la cui commutazione tra lo stato "on" e lo stato "off" è comandata mediante applicazione, sul terminale di controllo N_{c1} , di un primo segnale di comando $c_1(t)$, generato dall'unità di controllo 24 e descritto in seguito.

Il sistema di raccolta di energia 1 comprende inoltre uno stadio rilevatore 29, collegato all'uscita del circuito elettrico di statore 16 e atto a fornire un segnale di corrente $i_g(t)$ ed un segnale di tensione $v_g(t)$, indicativi rispettivamente di una corrente I_g e della tensione V_g presenti sull'uscita del circuito elettrico di statore 16. L'unità di controllo 24 è collegata anche allo stadio rilevatore 29, in modo da ricevere il segnale di corrente $i_g(t)$ ed il segnale di tensione $v_g(t)$.

Il sistema di raccolta di energia 1 comprende inoltre un accelerometro 30, di tipo biassiale, ed un codificatore ottico 32, i quali sono collegati all'unità di controllo 24.

L'accelerometro 30 è solidale con il contenitore 4 ed è disposto lungo l'asse di rotazione H. Più in particolare, dato un sistema di riferimento locale uw (figura 3), solidale con l'assile 2 e formato da un asse u e da un asse w tra loro ortogonali e giacenti in un piano perpendicolare all'asse di rotazione H, ed assumendo che l'accelerometro 30 sia disposto nell'origine di tale sistema di riferimento, l'accelerometro 30 rileva le accelerazioni dirette parallelamente all'asse w , oppure all'asse u . L'accelerometro genera dunque, in modo di per sé noto, un segnale di accelerazione $\vec{a}(t)$, di tipo

elettrico ed indicativo delle componenti di accelerazione dirette parallelamente all'asse w ed all'asse u . Il segnale di accelerazione $\vec{a}(t)$ è dunque indicativo di una accelerazione misurata $\vec{a}$, la quale è una grandezza vettoriale.

5 Il codificatore ottico 32 è di tipo di per sé noto e comprende un elemento mobile 34, solidale con il rotore 10, ed un rilevatore ottico 36, solidale con lo statore 30 e comprendente, ad esempio, una sorgente ottica ed un fotodiodo (non mostrati). In modo di per sé noto, il codificatore ottico 32 funge da sensore di posizione angolare. Pertanto, il rilevatore ottico 36
10 genera un segnale di posizione $\vec{\varepsilon}(t)$, il quale è di tipo elettrico ed è indicativo della posizione angolare del rotore 10, e dunque del contrappeso 12, rispetto allo statore 8. Il segnale di posizione $\vec{\varepsilon}(t)$ è dunque indicativo di una posizione misurata $\vec{\varepsilon}$, la quale è una grandezza vettoriale e definisce, istante per istante, la posizione angolare del contrappeso 12 rispetto
15 all'origine del sistema di riferimento locale uw , e dunque rispetto all'assile 2. A titolo puramente esemplificativo, si assume inoltre che la posizione misurata $\vec{\varepsilon}$ abbia modulo unitario.

In maggior dettaglio, le caratteristiche dell'accelerazione misurata $\vec{a}$ e della posizione misurata $\vec{\varepsilon}$, e dunque, indirettamente, dei segnali di
20 accelerazione $\vec{a}(t)$ e di posizione $\vec{\varepsilon}(t)$, sono descritte nel seguito, con riferimento alle figure 4a-4c.

In dettaglio, la figura 4a si riferisce ad un istante appartenente ad un intervallo di tempo in cui lo statore 8 ruota con una velocità angolare ω costante. In tali condizioni, l'accelerazione misurata $\vec{a}$ coincide con
25 l'accelerazione di gravità $\vec{g}$ e ruota attorno all'origine del sistema di

riferimento locale uw con velocità angolare pari alla velocità angolare ω dell'assile 2. Anche la posizione misurata $\vec{e}$ ruota attorno all'origine del sistema di riferimento locale uw con velocità angolare pari alla velocità angolare ω ; inoltre, la posizione misurata $\vec{e}$ è sfasata di un angolo di sfasamento α rispetto all'accelerazione misurata $\vec{a}$.

La figura 4b si riferisce ad un istante appartenente ad un intervallo di tempo in cui lo statore 8 è fermo. In tal caso, l'accelerazione misurata $\vec{a}$ coincide con l'accelerazione di gravità $\vec{g}$ ed è fissa rispetto all'origine del sistema di riferimento locale uw . Anche la posizione misurata $\vec{e}$ è fissa rispetto al sistema di riferimento locale uw e giace lungo la medesima retta lungo la quale giace l'accelerazione misurata $\vec{a}$.

La figura 4c si riferisce ad un istante appartenente ad un intervallo di tempo in cui lo statore 8 è in rotazione attorno all'asse di rotazione H , ed inoltre è soggetto ad una accelerazione lineare $\vec{d}$, causata da una traslazione dell'assile 2 lungo una direzione parallela all'asse x del sistema di riferimento inerziale xyz . In tal caso, l'accelerazione misurata $\vec{a}$ è pari alla somma vettoriale dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$ e dell'accelerazione lineare $\vec{d}$, queste ultime formando tra loro un angolo retto, dal momento che l'accelerazione di gravità $\vec{g}$ è parallela all'asse z del sistema di riferimento inerziale xyz . Inoltre, la posizione misurata $\vec{e}$ è sfasata rispetto all'accelerazione misurata $\vec{a}$.

Ciò premesso, come mostrato in figura 5, l'unità di controllo 24 riceve i segnali di posizione $\vec{e}(t)$ e di accelerazione $\vec{a}(t)$, e quindi dispone della posizione misurata $\vec{e}$ ed dell'accelerazione misurata $\vec{a}$. Inoltre, l'unità di controllo 24 comprende uno stadio di filtraggio 50 atto a determinare una

accelerazione filtrata $\vec{f}$, a partire dall'accelerazione misurata $\vec{a}$, mediante rimozione di eventuali contributi di disturbo ad alta frequenza, causati ad esempio da vibrazioni cui è soggetto l'assile 2. La determinazione dell'accelerazione filtrata $\vec{f}$ comporta la generazione di un corrispondente
5 segnale elettrico, ad esempio di tipo analogico o digitale, al quale ci si riferisce come al segnale di accelerazione filtrata $\vec{f}(t)$.

L'unità di controllo 24 comprende inoltre uno stadio di determinazione di velocità 52, collegato allo stadio di filtraggio 50 e atto a generare, sulla base del segnale di accelerazione filtrata $\vec{f}(t)$, un segnale di
10 velocità angolare $\vec{\omega}(t)$, indicativo della velocità angolare ω dell'assile 2, intesa come modulo e verso. Ad esempio, il verso della velocità angolare ω dell'assile 2 può essere determinato sulla base del verso di rotazione dell'accelerazione misurata $\vec{a}$ attorno all'origine del sistema di riferimento locale uw , in quanto coincidente con quest'ultimo.

15 L'unità di controllo 24 comprende inoltre uno stadio di determinazione di direzione di gravità 54, collegato allo stadio di filtraggio 50 ed allo stadio di determinazione di velocità 52, e atto a generare, sulla base del segnale di accelerazione filtrata $\vec{f}(t)$ e del segnale di velocità angolare $\vec{\omega}(t)$, un segnale di direzione di gravità $\vec{g}(t)$, il quale è indicativo
20 della direzione dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$, tale direzione essendo riferita al sistema di riferimento locale uw .

Ad esempio, come mostrato in figura 6, la determinazione della direzione dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$ può avvenire sulla base del fatto che, all'interno del sistema di riferimento locale uw , l'accelerazione di gravità
25 $\vec{g}$ è un vettore avente modulo pari a $9,81 \text{ m/s}^2$. Inoltre, nell'ipotesi in cui

l'assile 2 sia soggetto ad accelerazioni lineari dirette parallelamente all'asse x, il vettore dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$ forma un angolo retto con la retta passante per il vertice del vettore dell'accelerazione filtrata $\vec{f}$ e tangente alla circonferenza di raggio pari al modulo dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$, il
5 vertice del vettore dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$ giacendo appunto nel punto di tangenza.

Pertanto, data l'accelerazione filtrata $\vec{f}$, è possibile determinare i due punti di tangenza delle due rette passanti per il vertice del vettore dell'accelerazione filtrata $\vec{f}$ e tangenti alla circonferenza di raggio pari al
10 modulo dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$. Per ciascun punto di tangenza, si determina un corrispondente vettore preliminare (indicati con $\vec{g}_1$ e $\vec{g}_2$ in figura 6), il cui vertice giace nel punto di tangenza stesso. L'accelerazione di gravità $\vec{g}$ è pari ad uno dei due vettori preliminari $\vec{g}_1$, $\vec{g}_2$; tale indeterminazione può essere risolta, ad esempio, implementando una
15 procedura a passi temporali discreti descritta nel seguito. In particolare, per descrivere tale procedura esemplificativa, si fa riferimento alle grandezze $\vec{f}_i$, $\vec{g}_i$, $\vec{g}_{1i}$, $\vec{g}_{2i}$, le quali indicano i valori assunti al passo i-esimo, rispettivamente, dall'accelerazione filtrata $\vec{f}$, dall'accelerazione di gravità $\vec{g}$ e dai vettori preliminari $\vec{g}_1$, $\vec{g}_2$; inoltre, con il termine valore si intende il
20 modulo e la fase della corrispondente grandezza vettoriale, dunque tale termine sottintende il riferimento ad un vettore.

In dettaglio, è possibile rilevare il valore $\vec{f}_0$ dell'accelerazione filtrata $\vec{f}$ in un istante t_0 in cui l'assile 2 è fermo (e quindi si ha $\vec{f}_0 = \vec{g}_{10} = \vec{g}_{20} = \vec{g}_0$), e dunque l'indeterminazione non sussiste; in tal modo, si
25 determina il corrispondente valore $\vec{g}_0$ dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$.

In un successivo istante t_1 , in seguito all'accelerazione dell'assile 2, il vettore dell'accelerazione filtrata $\vec{f}$ assume un valore $\vec{f}_1$ e ruota i) in senso orario, oppure ii) in senso antiorario rispetto al valore $\vec{g}_0$. Nell'istante t_1 i vettori preliminari $\vec{g}_1$, $\vec{g}_2$ assumono rispettivamente i valori $\vec{g}_{11}$ e $\vec{g}_{21}$. E' dunque possibile determinare il valore $\vec{g}_1$ dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$ all'istante t_1 , il quale è pari, alternativamente, al vettore, tra i valori $\vec{g}_{11}$ e $\vec{g}_{21}$, disposto in senso antiorario (nel caso i), oppure in senso orario (nel caso ii), rispetto al valore $\vec{f}_1$.

Successivamente, nell' i -esimo istante t_i , l'indeterminazione può essere risolta utilizzando il valore $\vec{g}_{i-1}$ relativo all'istante precedente (t_{i-1}). In particolare, se il valore $\vec{f}_i$ dell'accelerazione filtrata $\vec{f}$ relativo all'istante t_i è sfasato i) in anticipo, oppure ii) in ritardo rispetto al valore $\vec{g}_{i-1}$, il valore $\vec{g}_i$ dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$ all'istante t_i è pari, alternativamente, al vettore, tra i valori $\vec{g}_{1i}$ e $\vec{g}_{2i}$, disposto in ritardo (nel caso i), oppure in anticipo (nel caso ii), rispetto al valore $\vec{f}_i$, l'anticipo ed il ritardo essendo definiti in funzione della direzione di rotazione dell'accelerazione filtrata $\vec{f}$.

Si noti inoltre che, nel caso particolare in cui l'assile 2 risulti in rotazione a velocità costante, l'indeterminazione non sussiste, dal momento che vale la relazione $\vec{f} = \vec{g}_1 = \vec{g}_2 = \vec{g}$. Si noti inoltre che sono comunque possibili forme di realizzazione in cui la determinazione dell'accelerazione di gravità $\vec{g}$ viene eseguita in modo differente, ad esempio in modo non ricorsivo, dunque in modo indipendente dai valori assunti in istanti di tempo precedenti, oppure mediante determinazione di grandezze relative al sistema di riferimento inerziale xyz.

L'unità di controllo 24 comprende inoltre uno stadio di determinazione di disturbo 56, il quale riceve in ingresso il segnale di accelerazione $\vec{a}(t)$ ed è inoltre collegato all'uscita dello stadio di determinazione di direzione di gravità 54. Lo stadio di determinazione di disturbo 56 genera un segnale di disturbo $\vec{d}(t)$, indicativo di eventuali accelerazioni lineari cui è soggetto l'assile 2. A tal fine, lo stadio di determinazione di disturbo 56 calcola la differenza vettoriale tra l'accelerazione filtrata $\vec{f}$ e l'accelerazione di gravità $\vec{g}$.

L'unità di controllo 24 comprende inoltre uno stadio di determinazione di posizioni limite 58, il quale riceve in ingresso il segnale di accelerazione $\vec{a}(t)$ ed il segnale di direzione di gravità $\vec{g}(t)$. Lo stadio di determinazione di posizioni limite 58 genera un segnale di posizioni limite $\vec{e}_{\text{lim}}(t)$, il quale è indicativo di una coppia di posizioni (angolari) limite $\vec{e}_{\text{lim}-1}$, $\vec{e}_{\text{lim}-2}$ (figure 4a-4c) del contrappeso 12, oltre le quali il sistema di raccolta di energia 1 entra in condizioni di instabilità. In particolare, le posizioni limite $\vec{e}_{\text{lim}-1}$, $\vec{e}_{\text{lim}-2}$ sono riferite al sistema di riferimento locale uw e delimitano una regione angolare di instabilità R-I tale per cui, qualora il contrappeso 12 si trovi all'interno di essa, il sistema di raccolta energia 1 è in condizioni di instabilità, e dunque il rotore 10 non è più stabile rispetto allo statore 8, e pertanto, in assenza di correttivi, il contrappeso 12 tende a ruotare in modo sincrono con lo statore 8.

In dettaglio, la regione angolare di instabilità R-I è formata dall'unione di una prima ed una seconda regione angolare, mostrate rispettivamente in tratteggio e puntinata nelle figure 4a-4c. A sua volta, la prima regione angolare è ampia 180° ed è delimitata da una retta passante

per l'origine del sistema di riferimento locale uw e ortogonale all'accelerazione di gravità $\vec{g}$, la prima regione angolare non contenendo l'accelerazione di gravità $\vec{g}$. Similmente, la seconda regione angolare è ampia 180° ed è delimitata da una retta passante per l'origine del sistema di riferimento locale uw e ortogonale all'accelerazione misurata $\vec{a}$, la seconda regione angolare non contenendo l'accelerazione misurata $\vec{a}$.

L'unità di controllo 24 comprende inoltre un'unità di pilotaggio 60, la quale riceve in ingresso il segnale di accelerazione $\vec{a}(t)$, il segnale di disturbo $\vec{d}(t)$, il segnale di direzione di gravità $\vec{g}(t)$, il segnale di posizioni limite $\vec{e}_{lim}(t)$, il segnale di posizione $\vec{e}(t)$ ed il segnale di velocità angolare $\vec{\omega}(t)$. Inoltre, l'unità di pilotaggio 60 riceve in ingresso il segnale di corrente $i_g(t)$ ed il segnale di tensione $v_g(t)$.

Come precedentemente accennato, l'unità di pilotaggio 60 genera il summenzionato primo segnale di comando $c_1(t)$, il quale viene applicato sul terminale di controllo N_{c1} del primo stadio di trasferimento di potenza 22. A titolo puramente esemplificativo, il primo segnale di comando $c_1(t)$ può essere del tipo a modulazione di larghezza di impulso, dunque può avere frequenza fissa e duty cycle variabile. In tal caso, dato un periodo del primo segnale di comando $c_1(t)$, il rapporto tra le durate dei due corrispondenti sottointervalli di tempo in cui il primo stadio di trasferimento di potenza 22 opera rispettivamente nello stato "on", oppure "off", è pari al duty cycle del primo segnale di comando $c_1(t)$. Pertanto, una variazione del duty cycle del primo segnale di comando $c_1(t)$ comporta una variazione dell'entità del trasferimento di potenza elettrica dal circuito elettrico di statore 16 alla batteria 20.

Ciò premesso, come mostrato in figura 7, l'unità di pilotaggio 60 comprende uno stadio di previsione 62, il quale riceve in ingresso il segnale di accelerazione $\vec{a}(t)$ ed il segnale di posizione $\vec{e}(t)$, sulla cui base genera un segnale di previsione $\vec{e}^*(t + \Delta)$. In particolare, dato un generico istante t , a cui si riferiscono i valori del segnale di accelerazione $\vec{a}(t)$ e del segnale di posizione $\vec{e}(t)$, il segnale di previsione $\vec{e}^*(t + \Delta)$ è indicativo di una stima $\vec{e}^*$ della posizione assunta dal contrappeso 12 all'istante $t + \Delta$, con Δ pari a un numero reale positivo qualsiasi. In seguito ci si riferisce alla stima $\vec{e}^*$ come alla posizione prevista.

L'unità di pilotaggio 60 comprende inoltre uno stadio di confronto 64, il quale riceve in ingresso il segnale di previsione $\vec{e}^*(t + \Delta)$ ed il segnale di posizioni limite $\vec{e}_{lim}(t)$, compara il segnale di previsione $\vec{e}^*(t + \Delta)$ ed il segnale di posizioni limite $\vec{e}_{lim}(t)$ e genera un segnale di instabilità $k(t)$, il quale è indicativo della relazione presente tra la posizione prevista $\vec{e}^*$ e la coppia di posizioni limite $\vec{e}_{lim-1}, \vec{e}_{lim-2}$. Il segnale di instabilità $k(t)$ è dunque indicativo, ad esempio, di un eventuale ingresso, da parte della posizione prevista $\vec{e}^*$, all'interno della regione angolare di instabilità R-I.

L'unità di pilotaggio 60 comprende inoltre uno stadio di comando 66, il quale riceve in ingresso il segnale di corrente $i_g(t)$, il segnale di tensione $v_g(t)$ ed il segnale di instabilità $k(t)$. Inoltre, lo stadio di comando 66 conosce, oltre al momento di inerzia del rotore 10 ed alle caratteristiche della dinamo 6, il momento di inerzia del contrappeso 12 rispetto all'asse di rotazione H, quest'ultimo essendo funzione della massa, della forma e della disposizione rispetto all'asse di rotazione H del contrappeso 12.

Lo stadio di comando 66 genera il primo segnale di comando $c_1(t)$, in

modo da massimizzare il trasferimento di potenza elettrica dal circuito elettrico di statore 16 alla batteria 20, prevenendo al contempo l'insorgere di condizioni di instabilità. In altre parole, il primo segnale di comando $c_1(t)$ è tale da massimizzare il trasferimento di potenza elettrica tra il circuito elettrico di statore 16 e la batteria 20, dato il vincolo di prevenire l'insorgere di condizioni di instabilità.

A titolo puramente esemplificativo, assumendo ad esempio che la posizione prevista $\bar{\varepsilon}^*$ sia ad una distanza di sicurezza (ad esempio, pari a 10°) dalla regione di instabilità R-I, il primo segnale di comando $c_1(t)$ è generato in modo uguale a quanto avviene in circuiti MPPT di tipo noto, cioè in modo da massimizzare il prodotto tra la corrente I_g e la tensione V_g presenti sull'uscita del circuito elettrico di statore 16. A tal fine, a titolo puramente esemplificativo, lo stadio di comando 66 può variare nel tempo il duty cycle del primo segnale di comando $c_1(t)$ e rilevare il corrispondente andamento della potenza elettrica disponibile in uscita dal circuito elettrico di statore 16 (pari al prodotto della corrente I_g e della tensione V_g), in modo da identificare il valore di duty cycle che corrisponde al massimo di tale potenza elettrica. In alternativa, ed ancora a titolo puramente esemplificativo, è possibile che lo stadio di comando 66 determini una corrente di riferimento I_{ref} , pari al rapporto tra la tensione V_g ed il doppio della resistenza di uscita (nota) del circuito elettrico di statore 16, tale corrente di riferimento I_{ref} essendo ottenibile nel caso di perfetto adattamento del carico. Inoltre, lo stadio di comando 66 può confrontare la corrente I_g con la corrente di riferimento I_{ref} , generando un segnale di errore che viene fornito in ingresso ad uno stadio di controllo di tipo cosiddetto proporzionale ed integrativo, il

quale a sua volta genera il primo segnale di comando $c_1(t)$. In tal modo, lo stadio di comando 66 implementa un controllo ad anello chiuso del duty cycle del primo segnale di comando $c_1(t)$, e quindi del trasferimento della potenza, tale controllo essendo impostato in modo da massimizzare il trasferimento di potenza.

Ancora a titolo puramente esemplificativo, assumendo invece che la posizione prevista $\bar{\epsilon}^*$ disti dalla regione angolare di instabilità R-I una distanza inferiore alla distanza di sicurezza, il primo segnale di comando $c_1(t)$ è tale da imporre la corrente I_g e la tensione V_g in modo da limitare la potenza trasferita rispetto al corrispondente massimo assoluto ottenibile, in maniera da prevenire l'instabilità. In altre parole, dato un primo duty cycle limite DC1, ad esempio determinato in uno dei modi descritti in precedenza ed al quale corrisponde il massimo assoluto del trasferimento di potenza elettrica, ed un secondo duty cycle limite DC2, determinato in modo di per sé noto sulla base di equazioni elettromeccaniche che comandano il moto del contrappeso 12, ed al quale corrisponde l'avvicinarsi della posizione prevista $\bar{\epsilon}^*$ alla regione angolare di instabilità R-I a meno di una distanza inferiore alla distanza di sicurezza, il primo segnale di comando $c_1(t)$ ha un duty cycle pari a DC1, se $DC2 > DC1$, oppure pari a DC2, se $DC2 < DC1$, nell'ipotesi in cui il convertitore buck-boost trasferisca potenza in modo proporzionale al duty cycle del primo segnale di comando $c_1(t)$. Ancora in altre parole, il primo segnale di comando $c_1(t)$ è tale da garantire un massimo relativo della potenza trasferita, vincolato al mantenimento delle condizioni di stabilità.

Sono comunque possibili forme di realizzazione di tipo differente, ad

esempio in cui la distanza di sicurezza è nulla. Parimenti, sono possibili forme di realizzazione in cui lo stadio di previsione 62 è assente, e lo stadio di confronto 64 riceve in ingresso, oltre al segnale di posizioni limite $\bar{\varepsilon}_{\text{lim}}(t)$, il segnale di posizione $\bar{\varepsilon}(t)$. In tal caso, il segnale di instabilità $k(t)$ è
5 indicativo della relazione presente tra la posizione misurata $\bar{\varepsilon}$ e la coppia di posizioni limite $\bar{\varepsilon}_{\text{lim}-1}, \bar{\varepsilon}_{\text{lim}-2}$.

In pratica, indipendentemente dai dettagli implementativi, l'unità di controllo 24 elabora il segnale di accelerazione $\bar{a}(t)$ ed il segnale di posizione $\bar{\varepsilon}(t)$, al fine di determinare, istante per istante, la regione
10 angolare di instabilità R-I e la posizione istantanea del contrappeso 12 rispetto alla regione angolare di instabilità R-I. In tal modo, l'unità di controllo 24 può implementare uno o più algoritmi di controllo della posizione angolare del contrappeso 12, pur senza conoscere la posizione angolare dello statore 8 rispetto al sistema di riferimento inerziale xyz, dal
15 momento che lo statore 8 è trascinato in rotazione dall'assile 2.

Secondo una differente forma di realizzazione, mostrata in figura 8, il sistema di raccolta di energia 1 comprende inoltre un secondo stadio di trasferimento di potenza 80, uno stadio di comando motore 82 ed un interruttore 84.

20 In particolare, lo stadio di comando motore 82 è interposto tra il secondo stadio di trasferimento di potenza 80 e l'interruttore 84, ai quali è collegato. Inoltre, l'interruttore 84 è collegato al primo stadio di trasferimento di potenza 22 ed al circuito elettrico di statore 16. Più in particolare, l'interruttore 84 è atto a collegare il circuito elettrico di statore
25 16, alternativamente, al primo stadio di trasferimento di potenza 22, oppure

allo stadio di comando motore 82.

A titolo puramente esemplificativo, il secondo stadio di trasferimento di potenza 80 ha un terminale di controllo N_{c2} ed è formato da un convertitore a commutazione di tipo noto, quale ad esempio un convertitore
5 cosidetto "buck-boost" di tipo non invertente, la cui commutazione tra lo stato "on" e lo stato "off" è comandata mediante applicazione, sul terminale di controllo N_{c2} , di un secondo segnale di comando $c_2(t)$, il quale è generato dall'unità di controllo 24.

Più in particolare, secondo tale forma di realizzazione, l'unità di
10 pilotaggio 60 genera, oltre al primo segnale di comando $c_1(t)$, il secondo segnale di comando $c_2(t)$, nonché un terzo segnale di comando $c_3(t)$, il quale controlla l'interruttore 84. Anche il secondo ed il terzo segnale di comando $c_2(t)$, $c_3(t)$ sono generati sulla base del segnale di accelerazione $\bar{a}(t)$, del segnale di posizione $\bar{x}(t)$, del segnale di posizioni limite $\bar{x}_{lim}(t)$, del segnale
15 di corrente $i_g(t)$ e del segnale di tensione $v_g(t)$. In pratica, quando l'unità di pilotaggio 60 genera il terzo segnale di comando $c_3(t)$ in modo che l'interruttore 84 colleghi il circuito elettrico di statore 16 al primo stadio di trasferimento di potenza 22, tale forma di realizzazione opera allo stesso modo della forma di realizzazione mostrata in figura 1. Invece, quando il
20 terzo segnale di comando $c_3(t)$ è tale per cui l'interruttore 84 collega il circuito elettrico di statore 16 allo stadio di comando motore 82, si verifica un trasferimento di potenza elettrica dalla batteria 20 al circuito elettrico di statore 16, in maniera tale per cui la dinamo 6 opera come un motore elettrico, l'entità di tale trasferimento essendo controllata (modulata) dal
25 secondo segnale di comando $c_2(t)$, ad esempio in modo analogo a quanto

descritto a proposito del primo stadio di trasferimento di potenza 22 e del primo segnale di comando $c_1(t)$. Inoltre, in modo di per sé noto, lo stadio di comando motore 82 comanda lo statore 8 della dinamo 6 in maniera tale da garantire il corretto funzionamento della dinamo 6 come un motore elettrico. Ad esempio, lo stadio di comando di motore 82 può essere formato da un cosiddetto circuito di pilotaggio di potenza, atto ad applicare al circuito elettrico di statore 16 una tensione di pilotaggio con polarità opportuna.

L'unità di pilotaggio 60 è dunque in grado di modulare, mediante variazione del duty cycle del secondo segnale di comando $c_2(t)$, il trasferimento di potenza elettrica dalla batteria 20 al circuito elettrico di statore 16. Pertanto, nel caso in cui il contrappeso 12 entri nella regione angolare di instabilità R-I, l'unità di pilotaggio 60 è in grado di riportare il sistema di raccolta di energia 1 in condizioni di stabilità, mediante trasferimento di potenza dalla batteria 20 alla dinamo 6.

Sono inoltre possibili forme di realizzazione del tipo mostrato in figura 9, in cui il sistema di raccolta di energia 1 comprende un dispositivo di trasmissione 18, il quale è interposto, in modo di per sé noto, tra un albero di rotore 90, solidale con il primo ed il secondo avvolgimento 13a, 13b del rotore 10, ed un albero esterno 92. In maggior dettaglio, il contrappeso 12 è solidale con l'albero esterno 92; inoltre, il dispositivo di trasmissione 18 accoppia in rotazione l'albero di rotore 90 e l'albero esterno 92, ed ha un rapporto di trasmissione controllabile elettronicamente.

Secondo tale forma di realizzazione, l'unità di pilotaggio 60 genera un quarto segnale di comando $c_4(t)$, in aggiunta ai summenzionati primo, secondo e terzo segnale di comando $c_1(t)$, $c_2(t)$ e $c_3(t)$.

Il quarto segnale di comando $c_4(t)$ controlla il rapporto di trasmissione del dispositivo di trasmissione 18 e rappresenta, quando l'interruttore 84 collega il circuito elettrico statore 16 al primo stadio di trasferimento di potenza 22, un ulteriore grado di libertà per controllare l'entità del trasferimento di potenza elettrica al carico, oltre al summenzionato primo segnale di comando $c_1(t)$. Infatti, la potenza disponibile presso lo statore 8 è proporzionale al quadrato della velocità angolare con cui l'albero di rotore 90 ruota rispetto allo statore 8. Pertanto, variando ad esempio il rapporto di trasmissione in modo che la velocità angolare dell'albero di rotore 90 aumenti rispetto alla velocità angolare dell'albero esterno 92, aumenta la potenza elettrica disponibile in uscita dal circuito elettrico di statore 16. Tuttavia, ciò comporta un'azione frenante che concorre a portare il contrappeso 12 verso la regione angolare di instabilità R-I.

Similmente, quando l'interruttore 84 collega il circuito elettrico di statore 16 allo stadio di comando di motore 82, il quarto segnale di comando $c_4(t)$ rappresenta un ulteriore grado di libertà per controllare l'entità del trasferimento di potenza elettrica dal carico, oltre al summenzionato secondo segnale di comando $c_2(t)$.

Ciò premesso, il primo ed il quarto segnale di comando $c_1(t)$ e $c_4(t)$ sono generati in modo da massimizzare la velocità dell'albero di rotore 90 ed evitare che il contrappeso 12 entri nella regione angolare di instabilità R-I, mentre il secondo ed il quarto segnale di comando $c_2(t)$ e $c_4(t)$ sono generati, alla bisogna, in modo da ripristinare le condizioni di stabilità.

In pratica, la forma di realizzazione mostrata in figura 9 dispone di

più gradi di libertà, su cui è possibile agire per modulare il trasferimento di potenza al carico e/o per ripristinare condizioni di stabilità.

Sono comunque possibili forme di realizzazione in cui la modulazione del trasferimento di potenza da/verso il carico è effettuata solo mediante variazione del rapporto di trasmissione, nel qual caso il primo ed il secondo segnale di comando $c_1(t)$ e $c_2(t)$ non vengono generati, ed il primo ed il secondo stadio di trasferimento di potenza 22, 80 si modificano di conseguenza. Ad esempio, ciascuno tra il primo ed il secondo stadio di trasferimento di potenza 22, 80 è un circuito MPPT di tipo noto, dunque configurato per estrarre la massima potenza disponibile al rispettivo ingresso.

Sono inoltre possibili forme di realizzazione del tipo mostrato in figura 1, e comprendenti il dispositivo di trasmissione 18; in tal caso, i gradi di libertà disponibili per modulare il trasferimento di potenza al carico sono dati dal primo e dal quarto segnale di comando $c_1(t)$ e $c_4(t)$. Anche in tal caso, inoltre, il trasferimento di potenza elettrica verso il carico può essere modulato solamente mediante variazione del rapporto di trasmissione, nel qual caso il primo segnale di comando $c_1(t)$ non viene generato, ed il primo stadio di trasferimento di potenza 22 si modifica di conseguenza. In tal caso, il primo stadio di trasferimento di potenza 22 è ad esempio un circuito MPPT di tipo noto, atto ad estrarre la massima potenza disponibile in uscita dal circuito elettrico di statore 16. I vantaggi che il presente sistema di raccolta di energia consente di ottenere emergono chiaramente dalla descrizione precedente.

In particolare, l'accelerometro, il codificatore ottico, il primo ed il

secondo (se presente) stadio di trasferimento di potenza, l'unità di controllo e, se presente, il dispositivo di trasmissione formano un sistema di controllo della posizione angolare del contrappeso. Pertanto, il presente dispositivo di raccolta di energia consente di monitorare sostanzialmente in tempo reale la
5 posizione angolare del contrappeso, e di modulare il trasferimento della carica elettrica dalla dinamo al carico, in funzione della posizione angolare del contrappeso. In tal modo, è possibile massimizzare il trasferimento di potenza elettrica al carico, senza rischiare di pilotare il sistema di raccolta di energia in condizioni di instabilità. Inoltre, il presente sistema di raccolta di
10 energia consente, una volta instauratesi condizioni di instabilità, di ripristinare condizioni di funzionamento ottimale.

Risulta infine evidente che al presente sistema di raccolta di energia possono essere apportate modifiche e varianti, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione, definito dalle rivendicazioni allegate.

15 Ad esempio, in luogo del codificatore ottico 32, è possibile utilizzare un codificatore di tipo differente, quale ad esempio un codificatore magnetico o capacitivo.

Sempre a titolo esemplificativo, sebbene gli esempi descritti facciano riferimento ad una dinamo, è possibile impiegare, invece della dinamo, un
20 alternatore, quale ad esempio un alternatore "brush-less"; in generale, può dunque essere impiegata una qualsiasi macchina elettrica rotante ad induzione. In particolare, nel caso di un alternatore brush-less, lo stadio di comando motore 82 si modifica di conseguenza; in tal caso, infatti, lo stadio di comando motore 82 è atto a generare tre tensioni sfasate di 120° e
25 sincrone rispetto alla posizione del rotore 10, in modo da comandare

opportunamente tre avvolgimenti presenti all'interno del circuito elettrico di statore.

E' inoltre possibile vincolare il rotore al contenitore, e dunque renderlo solidale con l'assile; in tal caso, lo statore della dinamo è mobile
5 rispetto all'assile, ed il contrappeso è solidale allo statore, anziché al rotore.

Inoltre, il primo ed il secondo stadio di trasferimento di potenza 22, 80 possono essere di tipo differente rispetto a quanto descritto. Similmente, tali primo e secondo stadio di trasferimento di potenza 22, 80 possono essere controllati mediante impiego di segnali di tipo differente rispetto ai
10 segnali a modulazione di larghezza di impulso.

Relativamente all'unità di controllo 24, lo stadio di filtraggio 50 può essere assente, nel qual caso le elaborazioni sono eseguite a partire dall'accelerazione misurata $\vec{a}$, anziché dell'accelerazione filtrata $\vec{f}$. Inoltre, in modo di per sé noto, l'unità di controllo 24 può calcolare ulteriori
15 grandezze rispetto a quelle descritte, oppure può determinare le grandezze precedentemente citate (ad esempio, l'accelerazione di gravità $\vec{g}$) in modo differente rispetto a quanto descritto.

In aggiunta, è possibile che l'unità di controllo 24 implementi un algoritmo di controllo della posizione del contrappeso differente rispetto a
20 quanto descritto. Si noti inoltre che, nell'ipotesi di vincolare il sistema di raccolta di energia ad un elemento rotante, anziché rototraslante, lo stadio di determinazione di direzione di gravità 54 può essere assente, dal momento che l'accelerazione di gravità $\vec{g}$ giace lungo la medesima retta su cui giace l'accelerazione misurata $\vec{a}$.

25 Sono inoltre possibili forme di realizzazione in cui il contrappeso 12 è

accoppiato meccanicamente al rotore 10 in modo rilasciabile, nel qual caso, in presenza di condizioni di instabilità, l'unità di controllo 24 genera un segnale elettrico di controllo che causa il disaccoppiamento del contrappeso 12 dal rotore 10, al fine di ripristinare le condizioni di stabilità.

5 Infine, è possibile che il sistema di raccolta di energia 1 sia equipaggiato con ulteriori dispositivi, quali ad esempio un sensore di temperatura, oppure un'unità di comunicazione senza fili, i quali sono collegati al circuito elettrico di statore 16. Inoltre, in aggiunta all'accelerometro 30, oppure in sostituzione del medesimo, è possibile che
10 siano presenti un giroscopio o un insieme di due o più accelerometri.

RIVENDICAZIONI

1. Sistema di raccolta di energia comprendente:

- una macchina elettrica (6) includente una prima ed una seconda struttura (8,10) mobili l'una rispetto all'altra, ciascuna tra dette prima e
5 seconda struttura formando alternativamente il rotore, oppure lo statore di detta macchina elettrica, la prima struttura essendo configurata per essere vincolata ad un elemento rotante o rototraslante (2), in modo da essere trascinata in rotazione dall'elemento rotante o rototraslante;
- un contrappeso (12) accoppiato alla seconda struttura, in maniera
10 tale per cui la seconda struttura è soggetta ad una prima coppia, di tipo gravitazionale;
- una struttura di trasferimento di potenza (18,22), collegata elettricamente alla prima struttura, configurata per essere collegata ad un carico (20) e atta a trasferire potenza elettrica dalla prima struttura al
15 carico, in modo elettricamente controllabile, detto trasferimento di potenza elettrica causando l'applicazione di una seconda coppia sulla seconda struttura, il cui modulo è funzione della potenza elettrica trasferita, detta seconda coppia essendo equilibrata, quando il contrappeso è in una regione angolare di stabilità, da detta prima coppia, in modo da causare la
20 generazione di una tensione elettrica (V_g) nella prima struttura;
- un sensore di posizione angolare (32) vincolato alla prima struttura e configurato per fornire un segnale di posizione ($\bar{\epsilon}(t)$) indicativo della posizione angolare del contrappeso, detta posizione angolare essendo riferita ad un sistema di riferimento locale (u,w), solidale con la prima
25 struttura; e

- un accelerometro (30) vincolato alla prima struttura e configurato per fornire un segnale di accelerazione ($\vec{a}(t)$) indicativo di una accelerazione cui è soggetta la prima struttura, detta accelerazione essendo riferita al sistema di riferimento locale;

5 detto sistema di raccolta di energia comprendendo inoltre un'unità di controllo (24), la quale comprende:

 - un primo stadio (58) configurato per generare, sulla base del segnale di accelerazione, un segnale di posizioni limite ($\vec{x}_{lim}(t)$) indicativo di una regione angolare di instabilità (R-I), tale regione angolare di instabilità
10 essendo riferita al sistema di riferimento locale ed essendo tale per cui, quando il contrappeso è all'interno della regione angolare di instabilità, il contrappeso tende a ruotare in modo sincrono con la prima struttura; e

 - un secondo stadio (66) configurato per comandare detta struttura di trasferimento di potenza, sulla base del segnale di posizione e del segnale
15 di posizioni limite, in modo da modulare il trasferimento di potenza elettrica al carico in maniera da prevenire l'ingresso del contrappeso nella regione angolare di instabilità.

2. Sistema secondo la rivendicazione 1, in cui detto secondo stadio (66) è configurato per comandare detta struttura di trasferimento di
20 potenza (18,22) in modo da massimizzare il trasferimento di potenza elettrica al carico (20).

3. Sistema secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui la struttura di trasferimento di potenza (18,22) comprende un primo circuito di
trasferimento di potenza (22) configurato per essere collegato
25 elettricamente alla prima struttura (8) ed al carico (20) e atto a trasferire

potenza elettrica dalla prima struttura al carico, in modo controllabile elettricamente mediante un primo segnale di comando ($c_1(t)$); ed in cui detto secondo stadio (66) è configurato per generare detto primo segnale di comando, sulla base del segnale di posizione ($\vec{\varepsilon}(t)$) e del segnale di
5 posizioni limite ($\vec{\varepsilon}_{lim}(t)$).

4. Sistema secondo la rivendicazione 3, in cui detta unità di controllo (24) comprende inoltre un terzo stadio (50,52,54) configurato per generare un segnale di direzione di gravità ($\vec{g}(t)$) indicativo della direzione dell'accelerazione di gravità, sulla base del segnale di accelerazione ($\vec{a}(t)$),
10 detta direzione essendo riferita al sistema di riferimento locale (u,w); ed in cui detto primo stadio (58) è configurato per generare detto segnale di posizioni limite ($\vec{\varepsilon}_{lim}(t)$) anche sulla base del segnale di direzione di gravità.

5. Sistema secondo la rivendicazione 4, in cui l'unità di controllo (24) comprende inoltre:

15 - un quarto stadio (62) configurato per generare un segnale di posizione prevista ($\vec{\varepsilon}^*(t)$) indicativo di una posizione angolare prevista del contrappeso (12), sulla base dei segnali di accelerazione ($\vec{a}(t)$) e di posizione ($\vec{\varepsilon}(t)$); e

- un quinto stadio (64) configurato per generare un segnale di
20 confronto ($k(t)$) indicativo di un confronto tra la regione angolare di instabilità (R-I) e la posizione angolare prevista del contrappeso;

ed in cui detto secondo stadio (66) è configurato per generare detto primo segnale di comando ($c_1(t)$) anche sulla base di detto segnale di confronto.

25 6. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 3 a 5, in cui

detto primo stadio di trasferimento di potenza comprende un circuito a commutazione (22) configurato per operare alternativamente in un primo ed in un secondo stato, la commutazione tra il primo ed il secondo stato essendo comandata da detto primo segnale di comando ($c_1(t)$).

5 7. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 3 a 6, comprendente inoltre un secondo circuito di trasferimento di potenza (80) configurato per essere collegato elettricamente alla prima struttura (8) ed al carico (20) e controllabile elettricamente in modo da trasferire potenza elettrica dal carico alla prima struttura, in modo da riportare il contrappeso (12) nella regione angolare di stabilità, dopo che il contrappeso (12) è entrato nella regione angolare di instabilità (R-I).

8. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il contrappeso (12) è solidale con la seconda struttura (10).

15 9. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 7, comprendente inoltre un albero esterno (92), il contrappeso (12) essendo solidale con detto albero esterno, ed in cui detta struttura di trasferimento di potenza (18,22) comprende un dispositivo di trasmissione (18) interposto tra detto albero esterno e detta seconda struttura (10) ed avente un rapporto di trasmissione controllabile elettricamente, detto secondo stadio (66) essendo configurato per variare detto rapporto di trasmissione, sulla base del segnale di posizione ($\vec{\varepsilon}(t)$) e del segnale di posizioni limite ($\vec{\varepsilon}_{lim}(t)$), in modo da modulare il trasferimento di potenza elettrica al carico (20) in maniera da prevenire l'ingresso del contrappeso nella regione angolare di instabilità (R-I).

25 10. Sistema elettromeccanico comprendente il sistema di raccolta di

energia (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, e detto elemento rotante o rototraslante (2).

p.i. Aktiebolaget SKF

DOTT. MAG. ING. LUCA TEDESCHINI (939B)

CLAIMS

1. A system for harvesting energy comprising:

- an electrical machine (6) including a first and a second structures (8, 10), movable with respect to each other, each of said first and second structures alternately forming the rotor or the stator of said electrical machine, the first structure being configured to be constrained to a rotary or rotary-translating element (2), so as to be driven in rotation by the rotary or rotary-translating element;
- a counterweight (12) coupled to the second structure so that the second structure is subject to a first gravitational torque;
- a power transfer structure (18, 22), electrically connected to the first structure, configured to be connected to a load (20) and adapted to transfer electrical power from the first structure to the load, in an electrically controllable manner, said electrical power transfer causing the application of a second torque on the second structure, the module of which is a function of the electrical power transferred, said second torque being balanced, when the counterweight is in an angular stability region, by said first torque so as to cause the generation of an electrical voltage (V_g) in the first structure;
- an angular position sensor (32) constrained to the first structure and configured to provide a position signal ($\vec{\theta}(t)$) indicating the angular position of the counterweight, said angular position being referred to a local reference system (u, w) fixed to the first structure; and
- an accelerometer (30) constrained to the first structure and

configured to provide an acceleration signal ($\bar{a}(t)$) indicating an acceleration which affects the first structure, said acceleration being referred to the local reference system;

said system for harvesting energy further comprising a control unit
5 (24), which comprises:

- a first stage (58) configured to generate, based on the acceleration signal, a limit position signal ($\bar{\theta}_{\text{lim}}(t)$) indicating an angular instability region (R-I), said angular instability region being referred to the local reference system and being such that, when the counterweight is within the angular
10 instability region, the counterweight tends to rotate synchronously with the first structure; and

- a second stage (66) configured to control said power transfer structure based on the position signal and on the limit position signal, so as to modulate the transfer of electrical power to the load so as to prevent the
15 counterweight from entering into the angular instability region.

2. The system according to claim 1, wherein said second stage (66) is configured to control said power transfer structure (18, 22) so as to maximize the electrical power transfer to the load (20).

3. The system according to claim 1 or 2, wherein the power transfer
20 structure (18, 22) comprises a first power transfer circuit (22) configured to be electrically connected to the first structure (8) and to the load (20) and adapted to transfer electrical power from the first structure to the load, in an electrically controllable manner by means of a first control signal ($c1(t)$);

and wherein said second stage (66) is configured to generate said first control signal, based on the position signal ($\vec{e}(t)$) and on the limit position signal ($\vec{e}_{lim}(t)$).

4. The system according to claim 3, wherein said control unit (24) further comprises a third stage (50, 52, 54) configured to generate a gravity direction signal ($\vec{g}(t)$) indicating the gravity acceleration direction, based on the acceleration signal ($\vec{a}(t)$), said direction being referred to the local reference system (u, w); and wherein said first stage (58) is configured to generate said limit position signal ($\vec{e}_{lim}(t)$) based also on the gravity direction signal.

5. The system according to claim 4, wherein the control unit (24) further comprises:

- a fourth stage (62) configured to generate an expected position signal ($\vec{e}^*(t)$) indicating an expected angular position of the counterweight (12), based on the acceleration ($\vec{a}(t)$) and position ($\vec{e}(t)$) signals; and

- a fifth stage (64) configured to generate a comparison signal ($k(t)$) indicating a comparison between the angular instability region (R-I) and the expected angular position of the counterweight;

and wherein said second stage (66) is configured to generate said first control signal ($c_1(t)$) based also on said comparison signal.

6. The system according to any one of claims 3 to 5, wherein said first power transfer stage comprises a switching circuit (22) configured to alternately operate in a first and a second state, the switching between the

first and second states being controlled by said first control signal ($c_1(t)$).

7. The system according to any one of claims 3 to 6, further comprising a second power transfer circuit (80) configured to be electrically connected to the first structure (8) and to the load (20) and electrically
5 controllable so as to transfer electrical power from the load to the first structure, so as to return the counterweight (12) to the angular stability region, once the counterweight (12) has entered into the angular instability region (R-I).

8. The system according to any one of the preceding claims, wherein
10 the counterweight (12) is fixed to the second structure (10).

9. The system according to any one of claims 1 to 7, further comprising an outer shaft (92), the counterweight (12) being fixed to said outer shaft, and wherein said power transfer structure (18, 22) comprises a transmission device (18) interposed between said outer shaft and said
15 second structure (10) and having an electrically controllable gear ratio, said second stage (66) being configured to vary said gear ratio, based on the position signal ($\vec{\theta}(t)$) and on the limit position signal ($\vec{\theta}_{lim}(t)$), so as to modulate the electrical power transfer to the load (20) so as to prevent the counterweight from entering into the angular instability region (R-I).

20 10. An electromechanical system comprising the system (1) for harvesting energy according to any one of the preceding claims, and said rotary or rotary-translating element (2).

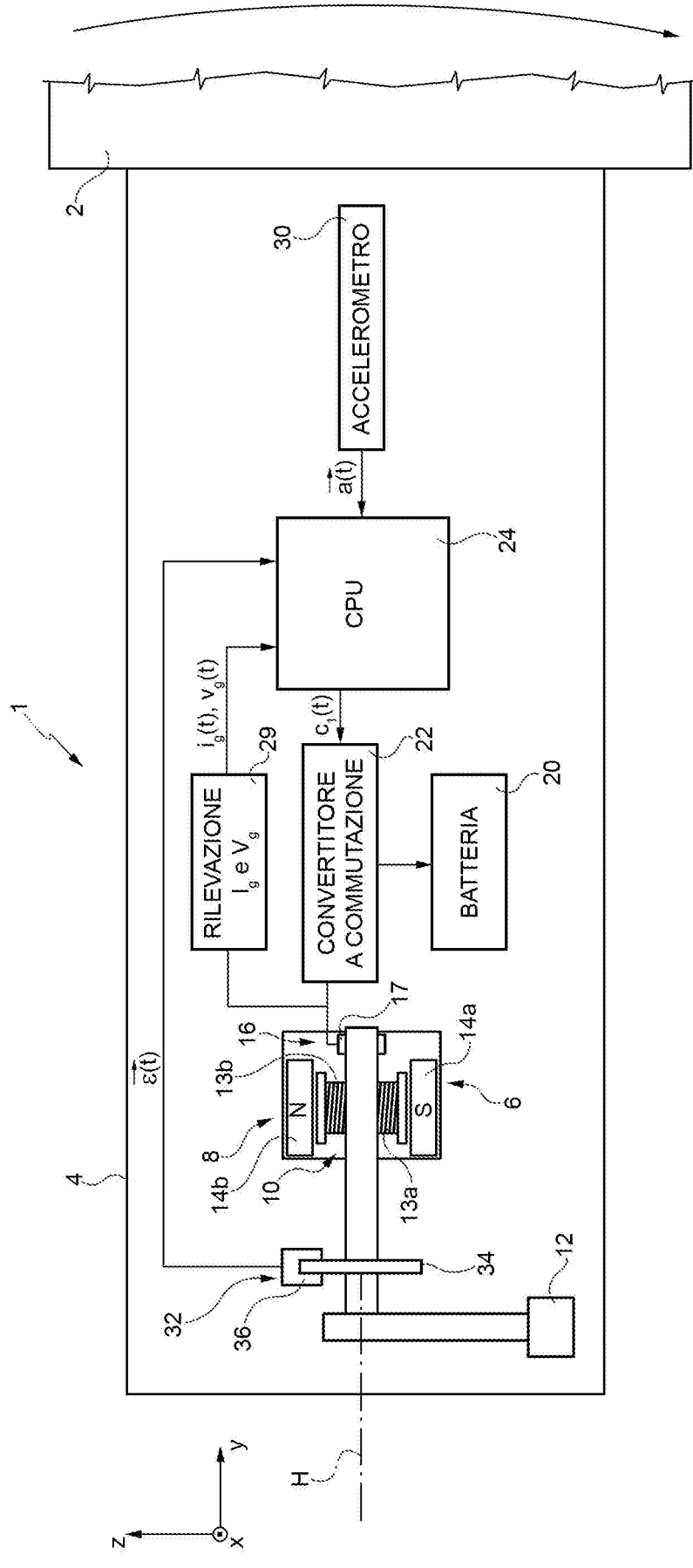


FIG. 1

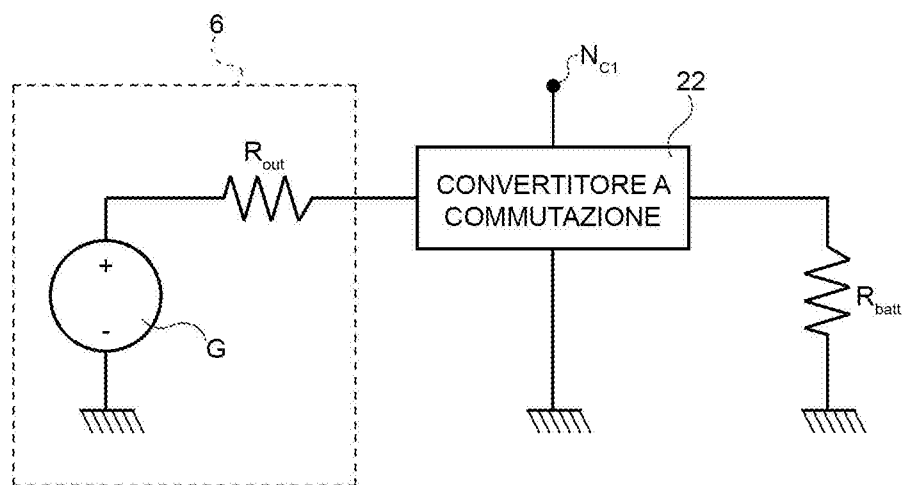


FIG. 2

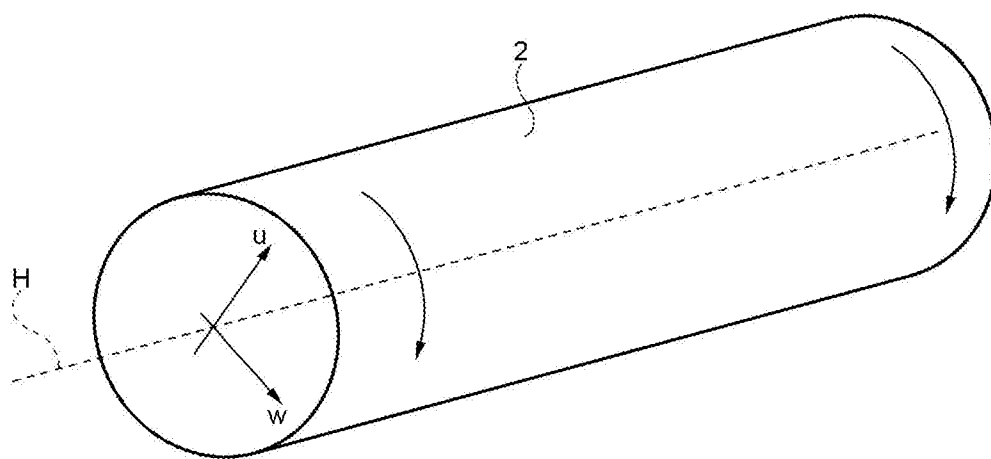


FIG. 3

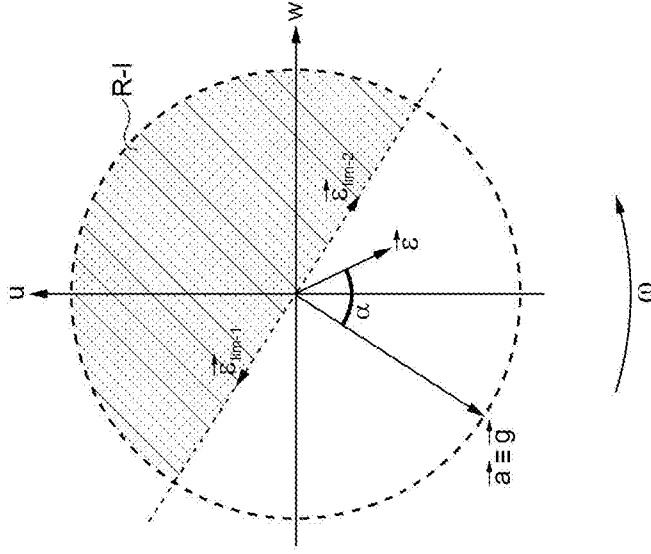


FIG. 4a

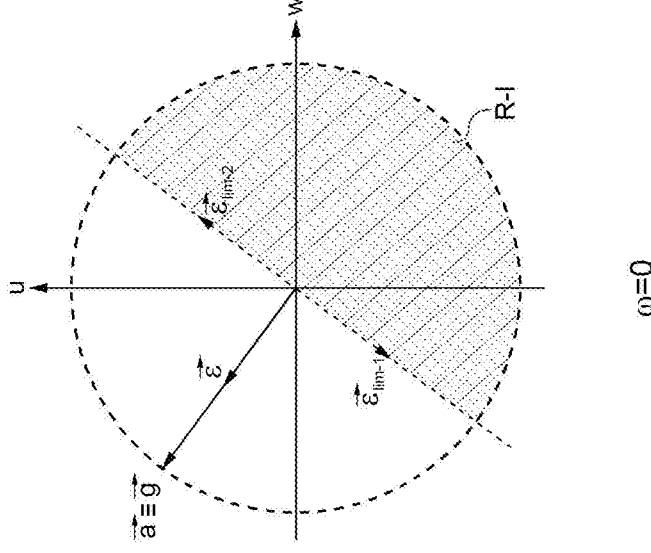


FIG. 4b

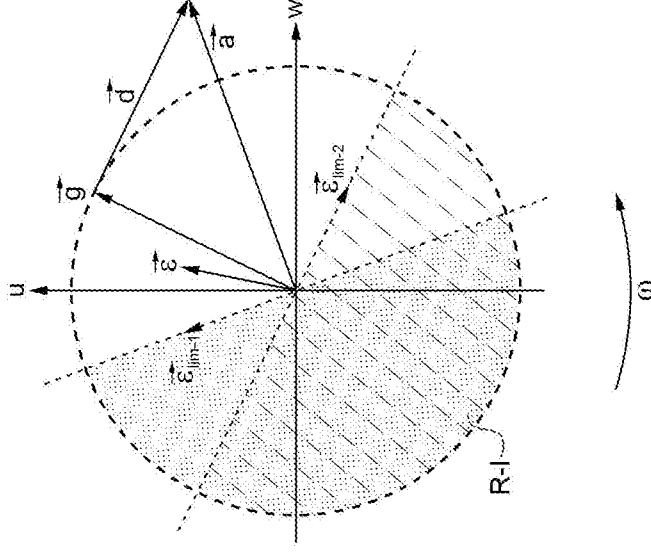


FIG. 4c

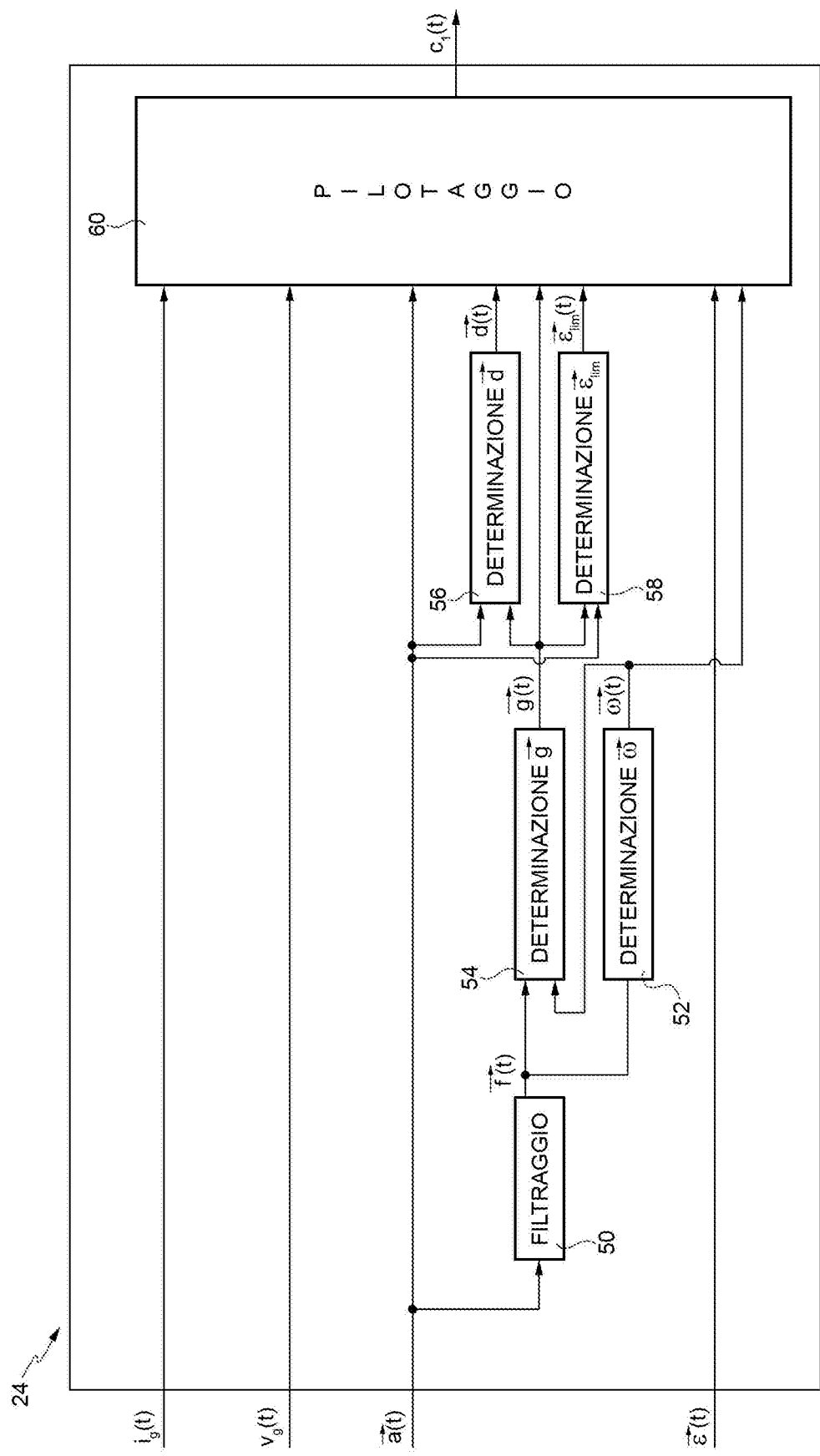


FIG. 5

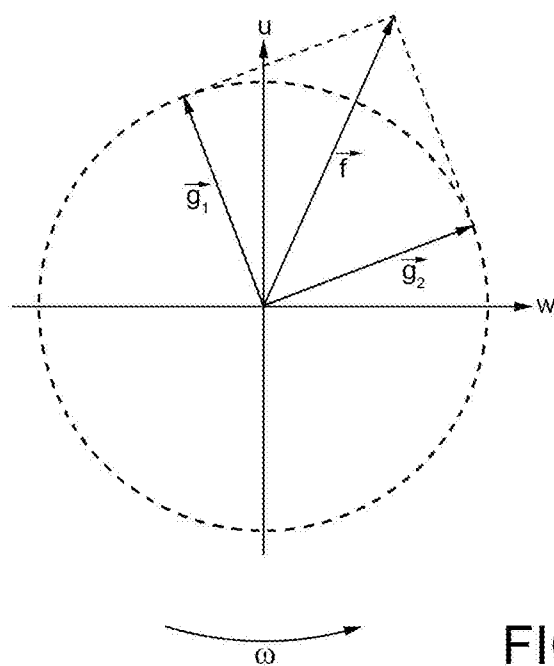


FIG. 6

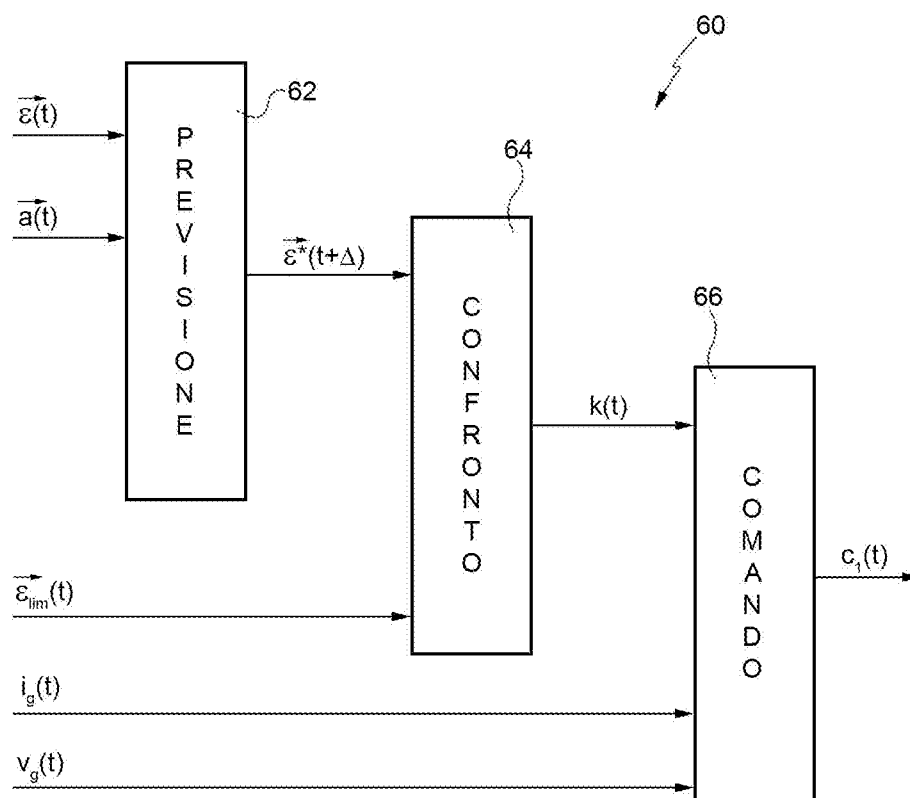


FIG. 7

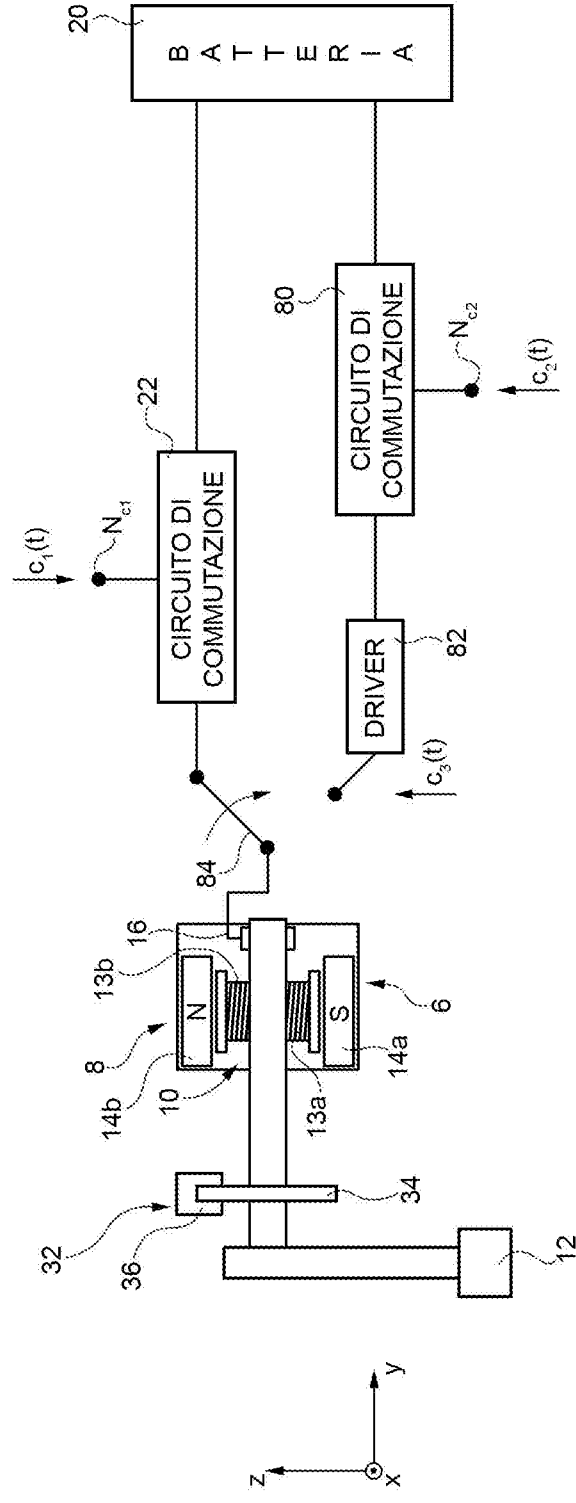


FIG. 8

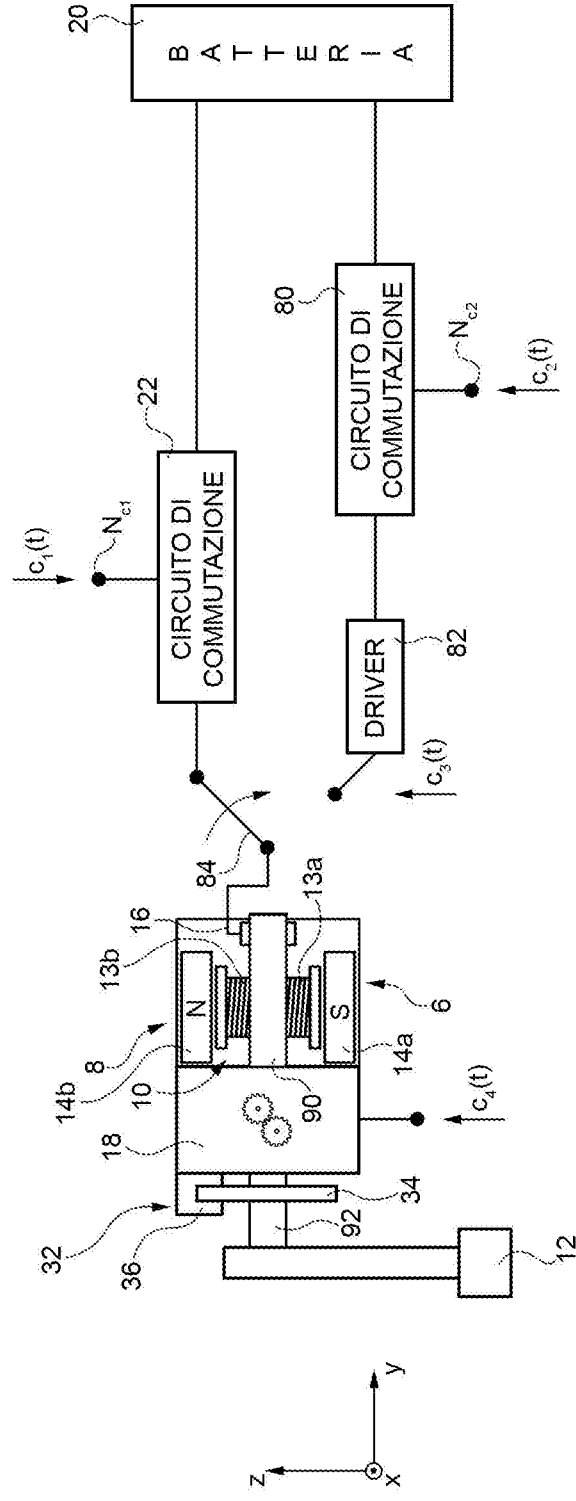


FIG. 9