



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

DOMANDA NUMERO	101999900777901
Data Deposito	29/07/1999
Data Pubblicazione	29/01/2001

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	P		
Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	K		

Titolo

SISTEMA E METODO DI CONTROLLO PER AZIONAMENTI ELETTRICI CON MOTORE ASINCRONO.

Descrizione a corredo di una domanda di brevetto per invenzione industriale dal titolo: SISTEMA E METODO DI CONTROLLO PER AZIONAMENTI ELETTRICI CON MOTORE ASINCRONO.

5 A nome: UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA  
di nazionalità italiana  
con sede in: CATANIA

Inventori designati: CONSOLI Alfio;  
SCARCELLA Giuseppe; e

10

TESTA Antonio

99A 000669

Depositata il 29 Luglio 1999 N.

#### DESCRIZIONE

Formano oggetto della presente invenzione un sistema ed un metodo di controllo per azionamenti  
15 "sensorless" con motore asincrono.

Attualmente, gli azionamenti elettrici con motore asincrono a campo orientato sono largamente utilizzati in varie applicazioni industriali, nelle macchine utensili, pompe, nastri trasportatori ed  
20 altro, ove stanno progressivamente soppiantando i tradizionali azionamenti elettrici in corrente continua, grazie anche alla maggiore robustezza, alla ridotta manutenzione ed ai costi di produzione inferiori.

25 Il principio del controllo ad orientamento di

campo si basa sulla regolazione indipendente delle componenti del vettore di corrente statorica definite rispetto ad un sistema di riferimento sincrono col flusso rotorico. La posizione  
5 istantanea del flusso rotorico, necessaria per il controllo ad orientamento di campo, può essere misurata utilizzando sensori di flusso ad effetto Hall. Tali sensori, tuttavia, non forniscono nella pratica la necessaria precisione; inoltre, la loro  
10 installazione è spesso problematica, per cui si preferisce ricostruire la posizione del flusso di rotore in modo indiretto, mediante il calcolo delle equazioni di un modello matematico del motore.

Quest'ultima tecnica è oggi di gran lunga la  
15 più usata, pur se richiede l'utilizzo di un trasduttore di posizione angolare dell'asse con una risoluzione pari ad almeno 8 bit e nonostante il fatto che i risultati ottenuti risultino estremamente sensibili alle variazioni della  
20 resistenza di rotore con la temperatura.

La sensibilità alle variazioni parametriche e la necessità di introdurre un sensore di posizione relativamente costoso hanno dato, in effetti, impulso allo sviluppo di altre tecniche, denominate  
25 di tipo "sensorless", in grado di ricostruire la

posizione del flusso di rotore senza utilizzare un trasduttore di posizione.

Queste tecniche di controllo a campo orientato si basano su principi diversi, e le più note ricalcano la tecnica del controllo ad orientamento di campo diretto, in cui la posizione del flusso di rotore viene ottenuta dalla misura della forza elettromotrice di reazione d'indotto.

Le tecniche basate su tale principio possono essere implementate semplicemente ed a basso costo, tuttavia non funzionano a velocità rotoriche basse o nulle.

Tecniche di tipo "sensorless" più sofisticate, che si basano sull'iniezione di opportuni segnali di riferimento e sulla misurazione delle armoniche di corrente ad alta frequenza permettono di ridurre notevolmente la minima velocità consentita dal controllo, tuttavia anch'esse risultano estremamente costose e non risolvono completamente il problema del controllo ad orientamento di campo a velocità molto basse o nulle.

A tale proposito, si badi che il controllo di un azionamento a velocità molto bassa o nulla è richiesto molto spesso e, in particolare, è utile nelle applicazioni di trazione elettrica, nella

robotica, in molte macchine utensili della nuova  
generazione e, in generale, in tutte quelle  
applicazioni ove sia necessario equilibrare un  
carico da fermo o sia necessario riportare  
5 l'utensile in una determinata posizione.

Scopo della presente invenzione è dunque quello  
di realizzare un sistema di controllo per  
azionamenti elettrici con motore asincrono che ovvi  
agli inconvenienti sopra menzionati e, in  
10 particolare, quello di indicare un sistema di  
controllo per la realizzazione di azionamenti di  
tipo "sensorless", in grado di operare correttamente  
a velocità molto bassa o addirittura nulla.

Altro scopo della presente invenzione è quello  
15 di indicare un metodo di controllo per azionamenti  
elettrici con motore asincrono, che consenta di  
determinare la posizione del flusso al traferro e,  
di conseguenza, la posizione del flusso di rotore,  
indipendentemente dalla velocità rotorica.

20 Ulteriore scopo della presente invenzione è  
quello di realizzare un sistema di controllo per  
azionamenti elettrici con motore asincrono ed  
indicare uno schema realizzativo impiegando circuiti  
tradizionali e componenti semplici da installare e  
25 da utilizzare, il tutto a costi relativamente

contenuti, rispetto alle tecniche note, in virtù dei vantaggi conseguiti.

Questi scopi, secondo la presente invenzione, vengono raggiunti indicando un sistema di controllo  
5 per azionamenti elettrici con motore asincrono, secondo la rivendicazione 1, ed un metodo di controllo relativo, secondo la rivendicazione 2, alle quali si rimanda per brevità.

In modo vantaggioso, la tecnica proposta si  
10 basa sull'iniezione di una serie di segnali di test ad alta frequenza e sulla valutazione degli effetti di tali segnali sulle componenti omopolari della tensione di statore.

Tale particolarità permette di ovviare  
15 all'imprecisione riscontrata in altre tecniche con iniezione di segnali ad alta frequenza, dovuta ai diversi percorsi seguiti dai flussi ad alta frequenza rispetto a quelli a bassa frequenza ed alla necessità di separare le componenti di corrente  
20 ad alta ed a bassa frequenza.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi di un sistema e di un metodo per il controllo di azionamenti elettrici con motore asincrono realizzati secondo l'invenzione, risulteranno  
25 maggiormente evidenti dalla descrizione seguente,

relativa ad un esempio di realizzazione preferito ed esemplificativo, ma non limitativo, riferito ai disegni schematici allegati, in cui:

- la figura 1 mostra un diagramma cartesiano in cui è riportato l'andamento del flusso di terza armonica in funzione del flusso al traferro di un motore asincrono;

- la figura 2 è relativa ad uno schema a blocchi di un sistema di controllo per azionamenti elettrici con motore asincrono, secondo la presente invenzione.

Con riferimento alle figure menzionate, con T3 è indicata la componente di terza armonica del flusso al traferro TF, con BS è indicato il bus di alimentazione di un "inverter" PW, con ST1, ST2, ST3 sono indicati gli avvolgimenti delle tre fasi dello statore ST della macchina elettrica, con TV è indicato un trasduttore di tensione, con PA un filtro passa-alto, con PB un filtro passa-basso, con EB un filtro elimina-banda, con C un dispositivo elettronico per la stima della posizione del flusso TF, con CC un sistema di controllo della corrente, mentre con B1 e B2 sono indicate due apparecchiature atte al controllo a campo orientato della macchina elettrica in un sistema di riferimento predefinito.

I motori asincroni, nelle normali condizioni di funzionamento (flusso normale), lavorano nel ginocchio della curva B-H del materiale ferromagnetico costituente il nucleo; il nucleo  
5 ferromagnetico della macchina, inoltre, risulta maggiormente saturato nella direzione del flusso.

In conseguenza di ciò, nella macchina asincrona, che, di per sé, ha una struttura magnetica isotropa, viene indotta dalla saturazione  
10 una anisotropia locale.

La disposizione spaziale del flusso al traferro TF, a causa del fenomeno della saturazione, risulta essere non perfettamente sinusoidale, e con un contenuto armonico caratterizzato dalla presenza di  
15 tutte le armoniche dispari ed omopolari, ma dominato dalla componente T3 di terza armonica. La terza armonica T3 del flusso al traferro TF induce nelle tre fasi F1, F2, F3 degli avvolgimenti statorici ST1, ST2, ST3 tre tensioni di terza armonica V31,  
20 V32, V33, in fase tra loro, che formano una terna di tensioni omopolari.

L'andamento del flusso di terza armonica T3 in funzione del flusso principale TF può essere determinato sperimentalmente ed è non lineare, come  
25 rappresentato in figura 1.

Se alla tensione trifase di statore VS si sovrappone una terna di tensioni VM trifase simmetrica diretta o inversa ad alta frequenza, si genererà un campo magnetico rotante ad alta  
5 frequenza, che si compone con il campo magnetico principale.

Il campo ad alta frequenza produrrà una variazione del livello di saturazione del nucleo ferromagnetico in funzione della posizione assunta  
10 durante il suo moto; in particolare, esso produrrà un incremento della saturazione quando risulterà allineato ed in fase con il campo principale, produrrà effetto nullo quando sarà in quadratura con il campo principale, ed infine una diminuzione del  
15 livello di saturazione quando sarà allineato in controfase al campo principale.

A causa della variazione nella saturazione, dovuta all'interazione del campo principale con il campo ad alta frequenza, la componente omopolare del  
20 flusso al traferro TF, normalmente caratterizzata dalla presenza della componente di terza armonica T3, conterrà anche un'armonica ad alta frequenza proporzionale alla differenza di velocità tra il campo magnetico rotante principale ed il campo ad  
25 alta frequenza. La non linearità della relazione tra

il flusso al traferro e la sua componente di terza armonica contribuisce ad esaltare il fenomeno, rendendo significativa l'armonica ad alta frequenza del flusso e tale da indurre una componente di  
5 tensione ad alta frequenza sovrapposta alla terna di tensioni di terza armonica V31, V32, V33.

Tali risultati si ottengono anche iniettando una terna simmetrica diretta o inversa di correnti ad alta frequenza ovvero iniettando una corrente ad  
10 alta frequenza IA lungo la direzione del flusso al traferro TF.

Essendo la macchina un sistema a tre fili nel quale non possono circolare correnti omopolari, la terna di tensioni di terza armonica V31, V32, V33 e  
15 le componenti armoniche ad alta frequenza sono direttamente prelevabili ai morsetti N dello statore ST senza alcun errore di fase, eventualmente dovuto alle cadute di tensione sulle resistenze e sulle induttanze di dispersione di statore nel circuito  
20 equivalente di sequenza omopolare.

La tensione omopolare complessiva, dunque, può essere ricavata eseguendo la somma istantanea delle tre tensioni di fase della macchina.

In alternativa, è possibile prelevare la  
25 tensione tra il centro stella N degli avvolgimenti

statorici ST1, ST2, ST3 (che deve essere sempre  
accessibile) ed il punto centrale O dei condensatori  
C1, C2 del bus BS in corrente continua, che alimenta  
l'"inverter" PW a modulazione di larghezza di  
5 impulso.

La componente di terza armonica della tensione  
omopolare VSM, in uscita dal trasduttore di tensione  
TV, viene eliminata mediante un filtro passa alto  
PA, mentre, tramite un filtro passa-basso PB,  
10 vengono cancellate ulteriori armoniche, quali quelle  
generate dall'"inverter" PW, le armoniche di cava  
rotoriche ed i disturbi ad alta frequenza.

La posizione del flusso al traferro TF viene  
ricavata misurando, tramite un'apparecchiatura  
15 elettronica di calcolo C, i punti di massimo, minimo  
e zero della componente superstite ad alta  
frequenza.

Il metodo di controllo secondo l'invenzione si  
presta ad una semplice ed economica implementazione  
20 sperimentale quale quella illustrata nello schema a  
blocchi di figura 2.

L'iniezione della terna di tensioni VHF ad alta  
frequenza, la rilevazione della componente omopolare  
VSM dalle tensioni di statore V31, V32, V33, il  
25 filtraggio delle armoniche ad alta frequenza, la

rilevazione, tramite il dispositivo di calcolo C, dei punti di massimo, di minimo e di zero, possono essere realizzati mediante circuiteria analogica a basso costo e vari schemi di realizzazione sono  
5 possibili, tra cui quello di figura 2, che rappresenta una forma di realizzazione esemplificativa, ma non limitativa del sistema secondo l'invenzione, ove sono rappresentati anche i blocchi B1, B2, che effettuano il controllo a campo  
10 orientato del motore in un sistema di riferimento predefinito.

In particolare, la tensione omopolare VA viene determinata misurando tramite il trasduttore TV la tensione VS1 tra il centro stella N degli  
15 avvolgimenti statorici ST1, ST2, ST3 ed il punto centrale O dei condensatori C1, C2 del bus BS in corrente continua dell'"inverter" PW.

Il segnale VSM ottenuto viene filtrato ed amplificato per ottenere un buon rapporto  
20 segnale/rumore, mentre il filtro elimina-banda EB, connesso al blocco B1, che, a sua volta, riceve in ingresso la posizione del flusso al traferro TF e la corrente di statore IA, viene utilizzato per eliminare le componenti ad alta frequenza  
25 nell'anello di retroazione delle correnti.

D'altra parte, tale anello di retroazione risulta costituito da un dispositivo di controllo della corrente CC, connesso in serie al blocco B2, che riceve in ingresso un segnale di corrente I2  
5 pari alla differenza fra la corrente di riferimento I1 e la corrente di reazione IR in uscita dal filtro EB.

Il dispositivo controllore di corrente CC genera un segnale di riferimento della tensione VQ  
10 rispetto al sistema di riferimento rotante. Il blocco di elaborazione B2 opera una trasformazione dal sistema di riferimento rotante ad uno su assi fissi, in modo da generare la tensione statorica di riferimento VA. Quest'ultima viene successivamente  
15 sommata alla componente in alta frequenza VHF e, quindi, inviata all'"inverter" PW.

Dalla descrizione effettuata risultano chiare le caratteristiche del sistema e del metodo di controllo per azionamenti elettrici con motore  
20 asincrono, che sono oggetto della presente invenzione, così come chiari ne risultano i vantaggi.

E' evidente, inoltre, che numerose varianti possono essere apportate al sistema di controllo,  
25 secondo la presente invenzione, senza per questo

uscire dai principi di novità insiti nell'idea inventiva, così come è chiaro che, nella pratica attuazione dell'invenzione, i materiali, le forme e le dimensioni dei dettagli illustrati potranno essere qualsiasi a seconda delle esigenze e gli stessi potranno essere sostituiti con altri tecnicamente equivalenti.

## RIVENDICAZIONI

1. Sistema di controllo per azionamenti elettrici con motore asincrono, caratterizzato dal fatto di impiegare un campo magnetico rotante ad alta frequenza per produrre una variazione di livello della saturazione di un nucleo ferromagnetico, in funzione di una serie di posizioni relative assunte da detto campo magnetico rotante e da un campo magnetico principale.
2. Metodo di controllo implementabile su un sistema come alla rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di comprendere almeno una delle seguenti fasi, prese singolarmente o in combinazione fra loro:
- sovrapposizione di una terna di tensioni (VM) trifase simmetrica diretta o inversa ad alta frequenza ad una tensione trifase di statore (VS) di una macchina elettrica, in modo tale che una componente omopolare (T) di flusso al traferro (TF), e di conseguenza una componente omopolare di tensione (VSM), comprendano, oltre ad una componente di terza armonica (T3), un'armonica a frequenza proporzionale alla differenza tra un primo valore di pulsazione di detta terna di tensioni trifase (VM) ed un secondo valore di pulsazione di detta tensione

trifase di statore (VS), ovvero

- iniezione di una terna simmetrica diretta o inversa di correnti ad alta frequenza (IM) o di un'unica corrente (IM) ad alta frequenza lungo la direzione di detto flusso al traferro (TF), le quali si sommano ad un valore di corrente di statore (IA) di detta macchina elettrica, in modo che detta componente omopolare (T) di flusso al traferro (TF), e di conseguenza detta componente omopolare di tensione (VSM), comprendano, oltre ad una componente di terza armonica (T3), un'armonica a frequenza proporzionale alla differenza tra un primo valore di pulsazione di detta corrente ad alta frequenza (IM) ed un secondo valore di pulsazione di detta corrente di statore (IA).

3. Metodo di controllo come alla rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che una tensione omopolare (VSM) complessiva, composta da un valore di tensione di terza armonica e da componenti armoniche ad alta frequenza, è ottenuta come media aritmetica di dette tensioni di fase (VM) verso terra.

4. Metodo di controllo come alla rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detta tensione omopolare (VSM) complessiva è ottenuta

prelevando una tensione tra un centro stella (N) di avvolgimenti statorici (ST1, ST2, ST3) ed un punto centrale (O) posto tra due elementi capacitivi (C1, C2) collegati su una linea elettrica (BS) in  
5 corrente continua, che alimenta un dispositivo elettronico di tipo "inverter" (PW).

5. Metodo di controllo come alle rivendicazioni 2, 3 e 4, caratterizzato dal fatto che detta componente di terza armonica (T3) di detta  
10 tensione omopolare (VSM) viene eliminata mediante un primo elemento di filtraggio (PA) di segnali, mentre, tramite un secondo elemento di filtraggio (PB), vengono eliminate altre armoniche ad elevata frequenza, in modo da ottenere un segnale di  
15 riferimento (VA), avente un valore di frequenza proporzionale alla differenza tra detto primo valore di pulsazione di detta terna di tensioni trifase (VM) e detto secondo valore di pulsazione di detta tensione trifase di statore (VS), detto segnale di  
20 riferimento (VA) consentendo di determinare, tramite una apparecchiatura elettronica di calcolo (C), un riferimento di posizione di detto flusso al traferro (TF).

6. Sistema e metodo di controllo come alle  
25 rivendicazioni 1 e 5, caratterizzati dal fatto che

dettata tensione omopolare (VSM) è filtrata ed amplificata, in modo da ottenere un buon rapporto segnale/rumore, mentre un filtro di tipo elimina-banda (EB), connesso ad un primo blocco di elaborazione e controllo (B1) di segnali, è  
5 utilizzato per eliminare indesiderate componenti ad alta frequenza da un anello di retroazione di segnali di corrente.

7. Sistema e metodo di controllo come alla  
10 rivendicazione 6, caratterizzati dal fatto che detto anello di retroazione comprende almeno un dispositivo di controllo (CC) di detti segnali di corrente, il quale invia un segnale di riferimento (VQ), rispetto ad assi rotanti, ad un secondo blocco  
15 (B2) di elaborazione e controllo, in modo da generare detto un valore di tensione di riferimento (VA), rispetto ad un sistema ad assi fissi, il quale viene successivamente sommato ad una componente ad alta frequenza (VHF) e quindi inviato a detto  
20 dispositivo elettronico di tipo "inverter" (PW).

8. Sistema e metodo di controllo come alla rivendicazione 7, caratterizzati dal fatto che a detti segnali e valori di riferimento (VQ, VA) di detto dispositivo di controllo (CC) viene sommata  
25 una componente in alta frequenza (VHF).

9. Sistema e metodo di controllo per azionamenti elettrici con motore asincrono come sostanzialmente descritti ed illustrati e per gli scopi specificati.

5 p.i. UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA

**I MANDATARI**

(Giorgio Lotti)

(firma per se e per gli altri)





