

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902073415A1

Publication Date

20140130

Applicant

ANSALDOBREDA S.P.A.

Title

CONTROLLO DEL FUNZIONAMENTO DI UN SISTEMA ELETTRONICO DI
AZIONAMENTO DI UN MOTORE ELETTRICO UTILIZZATO PER LA TRAZIONE
DI UN VEICOLO

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"CONTROLLO DEL FUNZIONAMENTO DI UN SISTEMA ELETTRONICO DI AZIONAMENTO DI UN MOTORE ELETTRICO UTILIZZATO PER LA TRAZIONE DI UN VEICOLO"

di ANSALDOBREDA S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIA ARGINE, 425

NAPOLI (NA)

Inventori: NAPPO Ciro, ACCARDO Luigi, MUNGIGUERRA Vincenzo, VOCCIA Fabio, NAVARRA Guglielmo

* * *

SETTORE TECNICO DELL' INVENZIONE

La presente invenzione è relativa al controllo e alla gestione del funzionamento di un sistema elettronico di azionamento di un motore elettrico utilizzato per la trazione/propulsione di un veicolo o mezzo di trasporto (ad esempio un treno o una nave) quando si verifica una condizione cosiddetta di marcia libera o "coasting" (terminologia inglese ben nota al tecnico del settore) di detto veicolo o mezzo di trasporto, vale a dire quando, durante la marcia del veicolo o mezzo di trasporto, risulta disattivata la trazione/propulsione operata dal motore elettrico, ad esempio quando un treno in movimento si trova in una condizione di marcia a ruota libera, ovvero quando,

Lorenzo SORDINI
(Iscrizione Albo nr. 1429/B)

durante la marcia di un treno, è disabilitato l'azionamento delle ruote motrici da parte del motore elettrico.

La presente invenzione trova vantaggiosa, anche se non esclusiva, applicazione nel settore ferroviario per il controllo e la gestione del funzionamento dei sistemi elettronici di azionamento di motori elettrici sincroni e asincroni utilizzati per la trazione di veicoli ferroviari.

Inoltre, la presente invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata anche nel settore navale per il controllo e la gestione dell'azionamento di motori elettrici, ad esempio di tipo sincrono, utilizzati per la propulsione di navi.

A tal riguardo, nel seguito la descrizione farà esplicito riferimento, senza per questo perdere di generalità, al controllo e alla gestione del funzionamento di un sistema di azionamento di tipo inverter utilizzato per azionare un motore elettrico asincrono utilizzato per la trazione di un veicolo ferroviario, restando sottinteso che la presente invenzione può essere altresì utilizzata per il controllo e la gestione del funzionamento di un sistema di azionamento di tipo chopper utilizzato per azionare un motore elettrico sincrono utilizzato per la trazione di un veicolo ferroviario o, ancor più in generale, per il controllo e la gestione del funzionamento di un sistema elettronico di azionamento di un motore

elettrico sincrono o asincrono utilizzato per la trazione di un qualsiasi tipo di veicolo o mezzo di trasporto, ad esempio una nave.

STATO DELL'ARTE

Com'è noto, il consumo energetico di un veicolo ferroviario durante il normale funzionamento è strettamente legato alle condizioni operative dei componenti principali, in particolare del sistema di trazione/propulsione le cui funzionalità, caratteristiche e prestazioni sono strettamente dipendenti dai relativi algoritmi di controllo utilizzati.

Attualmente, durante una fase di marcia a ruota libera, ovvero di "coasting", di un treno la cui trazione è realizzata per mezzo di un motore elettrico asincrono azionato per mezzo di un inverter, detto motore elettrico resta comunque sottoposto ad un flusso magnetico con conseguenti perdite, dovute alla sola corrente magnetizzante, sia nell'inverter che nel motore stesso.

Tali perdite aumentano all'aumentare della velocità fino a diventare quasi il 50% delle perdite che si hanno a piena potenza per veicoli a trazione pesante.

In figura 1 viene mostrato uno schema a blocchi funzionale che rappresenta una tipica architettura di un'unità o centralina di controllo (indicata nel suo insieme con 10) del funzionamento di un inverter utilizzato

per azionare un motore elettrico asincrono utilizzato per la trazione di un treno.

In particolare, come mostrato in figura 1, l'unità di controllo 10 è progettata per ricevere in ingresso segnali e/o dati indicativi di:

- una tensione di filtro *vFIL* indicativa della tensione del filtro di ingresso;
- un riferimento di sforzo *rateRefIn* (convenientemente generato da un'unità master di controllo della marcia del treno non mostrata in figura 1 per semplicità di illustrazione);
- un peso del carrello locale del treno *loadX*;
- un peso del carrello non motorizzato del treno *loadC*;
- una frequenza di rotazione elettrica *fmot* del rotore del motore elettrico asincrono;
- un'accelerazione *dfmot* della frequenza di rotazione del rotore del motore elettrico asincrono; ed
- una velocità *carSpeed* del treno (convenientemente calcolata da un'unità di calcolo della velocità del treno non mostrata in figura 1 per semplicità di illustrazione).

Convenientemente, l'unità di controllo 10 è collegata al bus multifunzionale di veicolo ("Multifunction Vehicle Bus" - MVB) del treno per ricevere in ingresso i segnali e/o i dati indicativi del riferimento di sforzo *rateRefIn*,

del peso del carrello locale *loadX* e del peso del carrello non motorizzato *loadC*.

In particolare, l'unità di controllo 10 mostrata in figura 1 include un modulo di calcolo della coppia di riferimento 11, il quale è progettato per:

- ricevere in ingresso i segnali e/o i dati indicativi della tensione di filtro *vFIL*, del riferimento di sforzo *rateRefIn*, del peso del carrello locale *loadX*, del peso del carrello non motorizzato *loadC* e della frequenza di rotazione *fmot* del rotore del motore elettrico asincrono; e
- calcolare, sulla base dei segnali/dati ricevuti, un primo valore di riferimento *TorqueReq* della coppia motrice del motore elettrico asincrono.

Com'è noto, la frequenza di rotazione dell'asse del rotore del motore elettrico è misurata per mezzo di opportuni sensori di velocità e la coppia motrice del motore elettrico è mantenuta costante fino al raggiungimento della potenza massima. Quando la frequenza di rotazione del motore elettrico aumenta, la coppia diminuisce in modo tale da mantenere costante la potenza. Pertanto, la potenza ha un andamento crescente lineare fino alla massima potenza, poi rimane costante ed, in alcuni casi, si riduce alle frequenze più alte.

Inoltre, l'unità di controllo 10 include anche un

modulo di controllo del pattinamento ("slip") o dello slittamento ("slide") 12, il quale è progettato per:

- ricevere in ingresso i segnali e/o i dati indicativi della frequenza di rotazione f_{mot} del rotore del motore elettrico asincrono, dell'accelerazione df_{mot} della frequenza di rotazione del rotore del motore elettrico asincrono e della velocità $carSpeed$ del treno;

- ricevere dal modulo di calcolo della coppia di riferimento 11 segnali e/o dati indicativi del primo valore di riferimento $TorqueReq$ della coppia motrice del motore elettrico asincrono; e

- calcolare, sulla base dei segnali/dati ricevuti, un secondo valore di riferimento $TorqueAsk$ della coppia motrice del motore elettrico asincrono.

Inoltre, l'unità di controllo 10 include anche un modulo di calcolo del flusso di riferimento 13, il quale è progettato per:

- ricevere in ingresso i segnali e/o i dati indicativi della tensione di filtro v_{FIL} ;

- ricevere in ingresso anche segnali e/o dati indicativi di una frequenza di alimentazione f_{real} del motore elettrico asincrono; e

- calcolare, sulla base dei segnali/dati ricevuti, un valore di riferimento F_d del flusso magnetico del motore elettrico asincrono.

In particolare, il modulo di calcolo del flusso di riferimento 13, in uso, calcola un valore di riferimento per il flusso magnetico del rotore del motore elettrico che viene mantenuto fino al raggiungimento di un valore massimo di tensione ai capi del motore (modalità a sei passi ("six step mode") o a onda quadra ("square wave")). In dettaglio, nella modalità a sei passi il flusso magnetico decresce come $1/f_{real}$, dove f_{real} rappresenta, come precedentemente descritto, la frequenza fondamentale di alimentazione del motore. Se il treno parte da fermo, la coppia motrice del motore inizia ad aumentare quando il valore del flusso magnetico raggiunge il 20% di un predeterminato valore nominale. Tipicamente, il 20% del valore nominale del flusso magnetico viene raggiunto in 100 ms.

Sempre con riferimento a quanto mostrato in figura 1, l'unità di controllo 10 include anche un modulo di controllo vettoriale dell'inverter 14, il quale è progettato per:

- ricevere in ingresso, dal modulo di calcolo del flusso di riferimento 13 e dal modulo di controllo del pattinamento/slittamento 12, segnali e/o dati indicativi, rispettivamente, del valore di riferimento F_d del flusso magnetico del motore elettrico asincrono e del secondo valore di riferimento $TorqueAsk$ della coppia motrice del motore elettrico asincrono; e

- calcolare, sulla base dei segnali/dati ricevuti,
 - un valore di riferimento della componente diretta i_{Drif} della corrente di controllo dell'inverter tale da causare che il flusso magnetico del motore elettrico asincrono assuma il suddetto valore di riferimento F_d ,
 - un valore di riferimento della componente in quadratura i_{Qrif} della corrente di controllo dell'inverter tale da causare che la coppia motrice del motore elettrico asincrono assuma il suddetto secondo valore di riferimento $TorqueAsk$, ed
 - una frequenza di scorrimento ("slip frequency") f_s necessaria per ottenere la coppia motrice richiesta.

Come mostrato in figura 1, la frequenza di alimentazione f_{real} del motore asincrono è ottenuta sommando la frequenza di scorrimento f_s alla frequenza di rotazione f_{mot} del rotore.

Inoltre, l'unità di controllo 10 include anche un convertitore corrente/tensione (I/V) 15, il quale è progettato per:

- ricevere in ingresso, dal modulo di controllo vettoriale dell'inverter 14, segnali/dati indicativi dei valori di riferimento della componente diretta i_{Drif} e

della componente in quadratura i_{Qrif} della corrente di controllo dell'inverter;

- ricevere in ingresso anche i segnali e/o i dati indicativi della frequenza di alimentazione f_{real} ; e
- calcolare, sulla base dei segnali/dati ricevuti,
 - un valore di riferimento della componente diretta v_D della tensione di controllo dell'inverter, ed
 - un valore di riferimento della componente in quadratura v_Q della tensione di controllo dell'inverter.

Sempre con riferimento a quanto mostrato in figura 1, l'unità di controllo 10 include anche un modulo di calcolo dei valori di modulazione 16, il quale è progettato per:

- ricevere in ingresso i segnali e/o i dati indicativi della tensione di filtro v_{FIL} ;
- ricevere in ingresso, dal convertitore I/V 15, segnali/dati indicativi dei valori di riferimento della componente diretta v_D e della componente in quadratura v_Q della tensione di controllo dell'inverter; e
- calcolare, sulla base dei segnali/dati ricevuti, un valore dell'indice di modulazione η_a definito come il rapporto tra il valore efficace ("root mean square" - rms) della tensione di uscita dell'inverter ed il valore efficace della tensione di uscita nella modalità a sei

passi in cui η risulta uguale ad uno (i.e. $\eta=1$); detto rapporto tiene conto della tensione di filtro v_{FIL} .

In particolare, il valore dell'indice di modulazione η viene calcolato dal modulo di calcolo dei valori di modulazione 16 in accordo con la seguente equazione:

$$\eta = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\sqrt{vD^2 + vQ^2}}{v_{FIL}}.$$

Infine, l'unità di controllo 10 include anche un modulatore 17, il quale è progettato per:

- ricevere in ingresso i segnali e/o i dati indicativi della frequenza di alimentazione f_{real} ;
- ricevere in ingresso, dal modulo di calcolo dei valori di modulazione 16, il valore dell'indice di modulazione η ; e
- generare, sulla base dei segnali/dati ricevuti, tre comandi di fase $phaseA$, $phaseB$ e $phaseC$ per azionare opportunamente l'inverter, ovvero tali da causare che detto inverter azioni il motore elettrico asincrono trifase in maniera tale da far sì che il flusso magnetico di detto motore assuma il valore di riferimento F_d e la coppia motrice di detto motore assuma il secondo valore di riferimento $TorqueAsk$.

Attualmente, nella maggior parte dei casi, quando l'unità di controllo 10 riceve un comando di coasting dal sistema di controllo e monitoraggio del treno ("Train Control and Monitoring System"), la curva dello sforzo

Lorenzo SORDINI
(Iscrizione Albo nr. 1429/B)

viene portata a zero seguendo una rampa che limita il jerk massimo per il comfort dei passeggeri, laddove il jerk è la derivata dell'accelerazione. In questa fase la corrente di riferimento scende fino al valore della sola corrente di magnetizzazione; a questo punto la corrente di riferimento resta costante fino a che l'unità di controllo 10 non riceve un altro comando dall'unità master di controllo della marcia del treno. In altre parole, l'inverter resta acceso per tutto il tempo che permane la condizione di coasting.

In particolare, le operazioni appena descritte vengono implementate dall'unità di controllo 10 per mezzo di una opportuna logica software. A tal riguardo, in figura 2 viene mostrato un diagramma di flusso che rappresenta un esempio di logica software di controllo del funzionamento dell'inverter (indicata nel suo complesso con 20) tramite la quale, anche in presenza di una condizione di coasting del treno, l'inverter rimane sempre acceso.

In dettaglio, come mostrato in figura 2, implementando la logica di controllo 20, l'unità di controllo 10 in uso esegue le seguenti operazioni:

- calcola un valore F_{doq} del flusso magnetico di onda quadra del motore elettrico asincrono sulla base dei segnali e/o i dati indicativi della tensione di filtro v_{FIL} e della frequenza di alimentazione f_{real} del motore

asincrono (blocco 21);

- calcola un valore target di riferimento $FdRif$ del flusso magnetico del motore elettrico asincrono sulla base del valore $Fdoq$ del flusso magnetico di onda quadra e di un predeterminato valore nominale $FdNom$ del flusso magnetico (blocco 22);

- controlla il funzionamento dell'inverter in modo tale da far sì che il motore elettrico sia sottoposto a flussaggio magnetico, ovvero in modo tale che l'intensità del flusso magnetico del motore elettrico aumenti, e contemporaneamente calcola un valore attuale Fd del flusso magnetico del motore elettrico in funzione del valore target di riferimento $FdRif$ (blocco 23);

- verifica se il valore attuale Fd del flusso magnetico è maggiore del 20% del valore target di riferimento $FdRif$ (blocco 24);

- se il valore attuale Fd del flusso magnetico è maggiore del 20% del valore target di riferimento $FdRif$, genera un comando di sblocco della rampa di coppia motrice del motore elettrico (blocco 25), ovvero tale da far sì che la coppia motrice del motore inizi ad aumentare; mentre,

- se il valore attuale Fd del flusso magnetico non è maggiore del 20% del valore target di riferimento $FdRif$, continua a controllare il funzionamento dell'inverter in modo tale da far sì che il motore elettrico continui ad

essere sottoposto a flussaggio magnetico e contemporaneamente continua a calcolare il valore attuale Fd del flusso magnetico del motore elettrico (blocco 23).

Più dettagliatamente, l'unità di controllo 10 fa assumere al valore target di riferimento $FdRif$ del flusso (blocco 22):

- il valore $Fdoq$ del flusso di onda quadra se quest'ultimo è minore del valore nominale $FdNom$ del flusso (i.e., $FdRif=Fdoq$ se $Fdoq < FdNom$); oppure
- il valore nominale $FdNom$ se il valore $Fdoq$ del flusso di onda quadra è maggiore di detto valore nominale $FdNom$ (i.e., $FdRif= FdNom$ se $Fdoq > FdNom$).

Come precedentemente descritto, tramite l'uso della logica 20 l'inverter rimane sempre acceso anche in presenza di una condizione di coasting del treno. Pertanto, tramite l'uso della logica di controllo 20, il motore elettrico resta sempre sottoposto ad un flusso magnetico con conseguenti perdite, dovute alla sola corrente magnetizzante, sia nell'inverter che nel motore stesso.

A tal riguardo, in figura 3 viene mostrato un grafico che è stato ottenuto dalla Richiedente tramite test sperimentali e che rappresenta l'andamento temporale delle grandezze caratteristiche di un motore elettrico asincrono di un treno azionato per mezzo di un inverter controllato con la logica 20 al verificarsi di una condizione di

coasting del treno.

In particolare, la figura 3 mostra l'andamento temporale:

- della corrente assorbita dalla linea i_{Lin} ;
- della tensione di filtro v_{FIL} ;
- della corrente assorbita dal motore I_{mot} ;
- della velocità del treno $speed$;
- della coppia motrice del motore $Coppia$; e
- della corrente di riferimento I_{Rif} calcolata dall'unità di controllo 10.

Dal grafico di figura 3 si può notare come, durante il coasting del treno, la coppia motrice del motore $Coppia$ ha un valore nullo, mentre la corrente assorbita dalla linea i_{Lin} , la corrente di riferimento I_{Rif} e la corrente di motore I_{mot} hanno valori non nulli. In altre parole, con la logica di controllo 20, il motore consuma energia anche quando non genera coppia motrice.

Una logica di controllo più evoluta prevede, durante il coasting, lo spegnimento dell'inverter ed una sua disabilitazione per 1s. A tal riguardo, in figura 4 viene mostrato un diagramma di flusso che rappresenta un esempio di logica software di controllo del funzionamento dell'inverter (indicata nel suo complesso con 40) tramite la quale, in presenza di una condizione di coasting del treno, l'inverter viene spento e disabilitato per 1s.

In particolare, come mostrato in figura 4, implementando la logica di controllo 40, l'unità di controllo 10 in uso esegue tutte le operazioni della logica 20 precedentemente descritte (a tal riguardo, si segnala che i blocchi 41, 42, 43, 44 e 45 della logica 40 mostrati in figura 4 corrispondono ai blocchi 21-25 della logica 20 mostrati in figura 2), le quali, pertanto, non verranno descritte di nuovo rimanendo valido quanto descritto in precedenza al riguardo.

Inoltre, implementando la logica di controllo 40, l'unità di controllo 10 in uso esegue anche le seguenti ulteriori operazioni:

- verifica, sulla base di comandi/segnali/dati ricevuti che sono indicativi di una condizione attuale di marcia del treno, se il treno si trova in una condizione di coasting (blocco 46);

- se il treno non si trova in una condizione di coasting, controlla il funzionamento dell'inverter in modo tale da far sì che il motore elettrico continui ad essere sottoposto a flussaggio magnetico e contemporaneamente calcola il valore attuale Fd del flusso magnetico del motore elettrico (blocco 43); mentre,

- se il treno si trova in una condizione di coasting, genera un comando di spegnimento dell'inverter e di disabilitazione dello stesso per 1s (blocco 47).

A tal riguardo, in figura 5 viene mostrato un grafico che è stato ottenuto dalla Richiedente tramite test sperimentali e che rappresenta l'andamento temporale delle grandezze caratteristiche di un motore elettrico asincrono di un treno azionato per mezzo di un inverter controllato con la logica 40 al verificarsi di una condizione di coasting del treno.

In particolare, la figura 5 mostra l'andamento temporale:

- della corrente assorbita dalla linea i_{Lin} ;
- della corrente di motore I_{mot} ;
- della velocità del treno $speed$;
- della coppia motrice del motore $Coppia$; e
- della corrente di riferimento I_{Rif} .

Dal grafico di figura 5 si può notare come, durante il coasting del treno, la coppia motrice del motore $Coppia$, la corrente assorbita dalla linea i_{Lin} , la corrente di riferimento I_{Rif} e la corrente di motore I_{mot} hanno valori nulli. In altre parole, con la logica di controllo 40, il motore non consuma energia quando non genera coppia motrice.

Però, la logica di controllo 40, pur riducendo le perdite nell'inverter e nel motore dovute alla corrente magnetizzante, presenta la limitazione della disabilitazione dell'inverter per 1s. Tale limitazione

risulta essere molto gravosa poiché può comportare un ritardo nell'azionamento del motore. Ad esempio, se l'unità di controllo 10 riceve un comando di frenatura durante il periodo di disabilitazione dell'inverter, risulta necessario utilizzare la frenatura meccanica, ovvero risulta necessario azionare il sistema frenante pneumatico o idraulico, il che causa un incremento dello spazio di arresto del treno ed un consumo anomalo delle pastiglie dei freni, nonché possibili problemi di comfort per i passeggeri. Pertanto, a causa dei suddetti svantaggi, la logica di controllo 40 non viene utilizzata frequentemente. In particolare, la logica di controllo 40, proprio a causa dei suddetti svantaggi, non può essere applicata ai veicoli tramviari e metropolitani.

OGGETTO E RIASSUNTO DELL'INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è, quindi, quello di fornire una logica di controllo e gestione del funzionamento di un sistema elettronico di azionamento di un motore elettrico utilizzato per la trazione/propulsione di un veicolo o mezzo di trasporto, in particolare di un treno, che sia in grado di alleviare, almeno in parte, i suddetti svantaggi.

Il suddetto scopo è raggiunto dalla presente invenzione in quanto essa è relativa ad un'unità di controllo, secondo quanto definito nelle rivendicazioni allegate.

In particolare, la presente invenzione concerne un'unità di controllo per un sistema di trazione/propulsione di un veicolo o mezzo di trasporto, il quale sistema di trazione/propulsione comprende un motore elettrico azionabile da un sistema elettronico di azionamento.

In dettaglio, l'unità elettronica di controllo secondo la presente invenzione è progettata per ricevere segnali e/o dati e/o comandi indicativi di condizioni operative del veicolo o mezzo di trasporto e del sistema di trazione/propulsione, ed è configurata per:

- determinare, sulla base dei segnali e/o dati e/o comandi ricevuti, il verificarsi di una condizione di marcia libera del veicolo o mezzo di trasporto;
- se determina il verificarsi di una condizione di marcia libera del veicolo o mezzo di trasporto,
 - controllare il funzionamento del sistema elettronico di azionamento in modo tale da far sì che il motore elettrico sia sottoposto a deflussaggio magnetico,
 - monitorare, durante il deflussaggio magnetico del motore elettrico, il flusso magnetico del motore elettrico, e,
 - se, durante il deflussaggio magnetico del motore elettrico, determina che il flusso

magnetico del motore elettrico è sceso al di sotto di una soglia di flusso magnetico, generare un primo comando tale da causare lo spegnimento del sistema elettronico di azionamento.

Preferibilmente, l'unità elettronica di controllo è configurata anche per:

- determinare, sulla base dei segnali e/o dati e/o comandi ricevuti, il verificarsi di una condizione di uscita dalla condizione di marcia libera del veicolo o mezzo di trasporto;

- se determina il verificarsi di una condizione di uscita dalla condizione di marcia libera del veicolo o mezzo di trasporto e determina anche che il sistema elettronico di azionamento è acceso, generare un secondo comando tale da causare che la coppia motrice del motore elettrico inizi ad aumentare;

- se determina il verificarsi di una condizione di uscita dalla condizione di marcia libera del veicolo o mezzo di trasporto e determina anche che il sistema elettronico di azionamento è spento,

- generare un terzo comando tale da causare l'accensione del sistema elettronico di azionamento,

- controllare il funzionamento del sistema

elettronico di azionamento in modo tale da farsi sì che il motore elettrico sia sottoposto a flussaggio magnetico,

- monitorare, durante il flussaggio magnetico del motore elettrico, il flusso magnetico del motore elettrico, e,
- se, durante il flussaggio magnetico del motore elettrico, determina che il flusso magnetico del motore elettrico ha superato la soglia di flusso magnetico, generare il secondo comando.

Convenientemente, l'unità elettronica di controllo è configurata per:

- determinare che il sistema elettronico di azionamento è acceso se determina che il flusso magnetico del motore elettrico supera la soglia di flusso magnetico; e

- determinare che il sistema elettronico di azionamento è spento se determina che il flusso magnetico del motore elettrico è inferiore alla soglia di flusso magnetico.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

Per una migliore comprensione della presente invenzione, alcune forme preferite di realizzazione, fornite a puro titolo di esempio esplicativo e non limitativo, verranno ora illustrate con riferimento ai

disegni allegati (non in scala), in cui:

- la Figura 1 illustra schematicamente una tipica architettura di un'unità di controllo del funzionamento di un inverter che pilota un motore elettrico asincrono utilizzato per la trazione di un treno;

- la Figura 2 illustra schematicamente una prima logica di controllo del funzionamento di un inverter utilizzato per azionare un motore elettrico asincrono utilizzato per la trazione di un treno secondo l'arte nota;

- la Figura 3 mostra un grafico temporale di grandezze caratteristiche di un motore elettrico asincrono di un treno azionato per mezzo di un inverter controllato con la logica di figura 2;

- la Figura 4 illustra schematicamente una seconda logica di controllo del funzionamento di un inverter utilizzato per azionare un motore elettrico asincrono utilizzato per la trazione di un treno secondo l'arte nota;

- la Figura 5 mostra un grafico temporale di grandezze caratteristiche di un motore elettrico asincrono di un treno azionato per mezzo di un inverter controllato con la logica di figura 4;

- la Figura 6 illustra schematicamente una logica di controllo del funzionamento di un inverter utilizzato per azionare un motore elettrico asincrono utilizzato per la trazione di un treno secondo una forma preferita di

realizzazione della presente invenzione;

- la Figura 7 mostra un grafico temporale di grandezze caratteristiche di un motore elettrico asincrono di un treno azionato per mezzo di un inverter controllato con la logica di figura 6; e

- la Figura 8 mostra l'andamento di un indice di riduzione delle prestazioni in funzione della velocità di un treno.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DI FORME PREFERITE DI REALIZZAZIONE DELL' INVENZIONE

La seguente descrizione viene fornita per permettere ad un tecnico del settore di realizzare ed usare l'invenzione. Varie modifiche alle forme di realizzazione presentate saranno immediatamente evidenti a persone esperte ed i generici principi qui divulgati potrebbero essere applicati ad altre forme realizzative ed applicazioni senza, però, per questo uscire dall'ambito di tutela della presente invenzione.

Quindi, la presente invenzione non deve essere intesa come limitata alle sole forme realizzative descritte e mostrate, ma le deve essere accordato il più ampio ambito di tutela coerentemente con i principi e le caratteristiche qui presentate e definite nelle rivendicazioni allegate. A tal riguardo, nel seguito la presente invenzione verrà descritta facendo esplicito riferimento, senza per questo

perdere di generalità, al controllo e alla gestione del funzionamento di un sistema di azionamento di tipo inverter utilizzato per azionare un motore elettrico asincrono utilizzato per la trazione di un veicolo ferroviario, restando sottinteso che la presente invenzione può essere altresì utilizzata per il controllo e la gestione del funzionamento di un sistema di azionamento di tipo chopper utilizzato per azionare un motore elettrico sincrono utilizzato per la trazione di un veicolo ferroviario o, ancor più in generale, per il controllo e la gestione del funzionamento di un sistema elettronico di azionamento di un motore elettrico sincrono o asincrono utilizzato per la trazione/propulsione di un qualsiasi tipo di veicolo o mezzo di trasporto, ad esempio una nave.

La presente invenzione, grazie ad un'opportuna modifica del software di controllo di un sistema elettronico di azionamento di un motore elettrico utilizzato per la trazione/propulsione di un veicolo o mezzo di trasporto, consente di spegnere il sistema elettronico di azionamento quando si verifica una condizione di coasting del veicolo o mezzo di trasporto e di riaccenderlo in tempi brevissimi quando viene ricevuto un comando di trazione o frenatura.

In particolare, la presente invenzione concerne una logica di controllo del funzionamento di un sistema elettronico di azionamento di un motore elettrico

utilizzato per la trazione/propulsione di un veicolo o mezzo di trasporto, la quale logica prevede di:

- controllare il deflussaggio magnetico del motore quando si verifica una condizione di coasting del veicolo o mezzo di trasporto fino a portare il flusso magnetico al di sotto del 20% del suo valore nominale; e, poi,

- spegnere il sistema elettronico di azionamento del motore.

Tale logica di controllo, oltre a consentire di ottenere un risparmio energetico, permette anche di riapplicare coppia al motore in ogni istante, sia durante il deflussaggio, sia quando il sistema elettronico di azionamento è spento, minimizzando in questo modo i tempi di ritardo.

A tal riguardo, in figura 6 viene mostrato un diagramma di flusso che rappresenta una logica software di controllo (indicata nel suo complesso con 60) del funzionamento di un inverter utilizzato per azionare un motore elettrico asincrono utilizzato per la trazione di un treno secondo una forma preferita di realizzazione della presente invenzione.

In particolare, secondo detta forma preferita di realizzazione della presente invenzione, la logica di controllo 60 viene implementata da un'unità o centralina di controllo programmata mediante un opportuno codice software

e/o firmware. L'architettura funzionale di tale unità di controllo corrisponde convenientemente a quella dell'unità di controllo 10 mostrata in figura 1 e precedentemente descritta, in cui, però, la logica software di funzionamento del modulo di calcolo del flusso di riferimento 13 risulta opportunamente modificata.

Come mostrato in figura 6, implementando la logica di controllo 60, l'unità di controllo in uso esegue tutte le operazioni della logica 20 mostrata in figura 2 e precedentemente descritta (a tal riguardo, si segnala che i blocchi 61, 62, 63, 64 e 65 della logica 60 mostrati in figura 6 corrispondono ai blocchi 21-25 della logica 20 mostrati in figura 2), le quali, pertanto, non verranno descritte di nuovo rimanendo valido quanto descritto in precedenza al riguardo.

Inoltre, implementando la logica di controllo 60, l'unità di controllo in uso esegue anche le seguenti ulteriori operazioni:

- verifica, sulla base di segnali/dati/comandi ricevuti che sono indicativi di una condizione attuale di marcia del treno, se il treno si trova in una condizione di coasting (blocco 66);

- se determina che il treno non si trova in una condizione di coasting, controlla il funzionamento dell'inverter in modo tale da far sì che il motore

elettrico risulti sottoposto a flussaggio magnetico (ovvero in modo tale che l'intensità del flusso magnetico del motore elettrico aumenti) e contemporaneamente calcola il valore attuale Fd del flusso magnetico del motore elettrico (blocco 63);

- se, invece, determina che il treno si trova in una condizione di coasting, controlla il funzionamento dell'inverter in modo tale da far sì che il motore elettrico risulti sottoposto a deflussaggio magnetico (ovvero in modo tale che l'intensità del flusso magnetico del motore elettrico diminuisca) e contemporaneamente calcola il valore attuale Fd del flusso magnetico del motore elettrico (blocco 67);

- verifica se il valore attuale Fd del flusso magnetico è minore del 20% del valore target di riferimento $FdRif$ (blocco 68);

- se determina che il valore attuale Fd del flusso magnetico è minore del 20% del valore target di riferimento $FdRif$, genera un comando di spegnimento dell'inverter (blocco 69); e,

- se, invece, determina che il valore attuale Fd del flusso magnetico non è minore del 20% del valore target di riferimento $FdRif$, continua a controllare il funzionamento dell'inverter in modo tale da far sì che il motore elettrico continui ad essere sottoposto a deflussaggio

magnetico e contemporaneamente continua a calcolare il valore attuale Fd del flusso magnetico del motore elettrico (blocco 67).

In altre parole, la logica di controllo 60 prevede di impostare a zero la corrente di riferimento dall'istante in cui lo sforzo è nullo. In questa fase, detta di deflussaggio, la corrente di riferimento segue una legge di tipo esponenziale e, quando il valore raggiunge il 20% di quello nominale, viene posta a zero. Da questo momento si ha lo spegnimento completo dell'inverter.

Una volta spento l'inverter, l'unità di controllo, quando riceve un comando di trazione o frenatura, riaccende l'inverter ed inizia la fase di flussaggio del motore. Quando il flusso raggiunge il 20% del flusso nominale (ovvero dopo circa 100ms) inizia la rampa di sforzo fino al valore nominale.

Nel caso in cui il comando venga ricevuto dall'unità di controllo prima che l'inverter sia completamente spento, la rampa di sforzo inizia immediatamente, senza alcun ritardo.

In altre parole, la logica di controllo 60 prevede di controllare la corrente motore in fase di deflussaggio fino al 20% del flusso nominale in modo che sia possibile riapplicare coppia, in caso di richiesta, istantaneamente. Senza l'uso della logica di controllo 60 non sarebbe possibile applicare coppia istantaneamente a causa della

non conoscenza della posizione del flusso rotorico, condizione che potrebbe causare una sovracorrente con relativo spegnimento dell'inverter fino al reset della protezione da parte del macchinista e/o della logica di treno.

Pertanto, le modifiche apportate secondo la presente invenzione al modulo di calcolo del flusso di riferimento consentono, nella fase di coasting, di agganciare la corrente nell'inverter immediatamente dopo lo spegnimento.

Sulla base di quanto appena descritto, la logica di controllo 60, oltre a consentire di ottenere un risparmio energetico, permette anche di riapplicare coppia al motore in ogni istante, sia durante il deflussaggio, sia ad inverter spento, minimizzando in questo modo i tempi di ritardo che in passato non permettevano di applicare la tecnica di coasting ad inverter spento ai veicoli tramviari e metropolitani.

La Richiedente ha stimato che, grazie all'utilizzo della logica di controllo 60 che permette di spegnere l'inverter durante il coasting, è possibile ottenere una riduzione dell'energia globale assorbita al pantografo pari al 5% per un servizio di trasporto regionale.

In figura 7 viene mostrato un grafico che è stato ottenuto dalla Richiedente tramite test sperimentali e che rappresenta l'andamento temporale delle grandezze

caratteristiche di un motore elettrico asincrono di un treno azionato per mezzo di un inverter controllato con la logica 60 al verificarsi di una condizione di coasting del treno.

In particolare, la figura 7 mostra l'andamento temporale:

- della corrente assorbita dalla linea i_{Lin} ;
 - della tensione di filtro v_{FIL} ;
 - della corrente di motore I_{mot} ;
 - della velocità del treno $speed$;
 - dell'accelerazione del treno $accel$;
 - della coppia motrice del motore $Coppia$;
 - della corrente di riferimento $IRif$;
 - del riferimento di sforzo $rifman$ che indica la percentuale del massimo sforzo realizzabile dall'inverter;
- e
- dello sforzo $DelivEff$ calcolato in base al peso del treno ed al riferimento di sforzo $rifman$.

Due regioni del grafico mostrate in figura 7 risultano evidenziate per mezzo di due ellissi.

In dettaglio, con riferimento all'area evidenziata a sinistra, si osserva che, ad un primo istante di tempo t_1 in cui viene ricevuto un segnale/comando di coasting, la coppia motrice del motore $Coppia$ va a zero e la corrente di riferimento $IRif$ inizia a scendere per deflussare il

motore. Inoltre, quando ad un secondo istante di tempo t_2 l'unità di controllo riceve un segnale/comando di trazione, la corrente di riferimento $IRif$ e la coppia motrice del motore *Coppia* cominciano immediatamente ad aumentare. In questo caso l'inverter non si è spento completamente perché l'unità di controllo riceve il segnale/comando di trazione prima dello spegnimento completo dell'inverter.

Inoltre, con riferimento all'area evidenziata a destra, si osserva che, quando viene ricevuto un segnale/comando di coasting, l'unità di controllo inizia a deflussare il motore fino ad azzerare la corrente magnetizzante; a questo punto, poiché permane la condizione di coasting, l'inverter si spegne completamente. Quando viene poi ricevuto un segnale/comando di trazione, l'inverter si accende istantaneamente; inizia così la fase di flussaggio del motore. Quando il flusso raggiunge il 20% di quello nominale, la coppia motrice del motore *Coppia* inizia a salire fino al valore di riferimento.

L'innovativa logica di gestione del coasting ferroviario precedentemente descritta può essere vantaggiosamente estesa anche a livello di veicolo ferroviario considerando la gestione della velocità limite a bordo treno. Infatti, in un veicolo ferroviario a trazione distribuita, ogni unità di controllo del funzionamento di un sistema elettronico di azionamento di

un motore elettrico di trazione generalmente riceve dal sistema di controllo marcia del veicolo ferroviario i comandi di trazione e frenatura, il riferimento di sforzo ed il limite di velocità. Quindi, ogni unità di controllo del funzionamento di un sistema elettronico di azionamento che opera in trazione regola lo sforzo applicato in trazione anche in funzione del limite di velocità. Tipicamente, quando la velocità del treno è superiore alla velocità limite meno 3 km/h, l'unità di controllo riduce lo sforzo percentualmente fino a 0 alla velocità limite e per velocità superiori, così come rappresentato nel grafico mostrato in figura 8 in cui *veLim* indica la velocità limite e l'indice di riduzione delle prestazioni rappresenta la percentuale di sforzo applicata rispetto alla richiesta.

Attualmente, per poter mantenere la velocità limite, vengono lasciati accesi tutti i sistemi elettronici di azionamento anche se lo sforzo richiesto totale di veicolo è inferiore a quello disponibile per un solo sistema elettronico di azionamento.

Pertanto, un ulteriore aspetto della presente invenzione nasce dall'idea avuta dalla Richiedente di sfruttare l'innovativa logica di accensione rapida di un sistema elettronico di azionamento precedentemente descritta anche per la gestione della richiesta di sforzo di veicolo durante la marcia del veicolo ferroviario

("cruising") in modo tale da mantenere accesi soltanto i sistemi elettronici di azionamento realmente necessari. A tal riguardo, si segnala che l'algoritmo è applicabile in trazione, mentre per la frenatura non può essere utilizzato al fine di non impattare sui sistemi di gestione combinata con il freno pneumatico o idraulico.

In particolare, detto ulteriore aspetto della presente invenzione concerne un sistema di controllo del funzionamento di sistemi elettronici di azionamento di motori elettrici utilizzati per la trazione di un veicolo ferroviario, il quale sistema comprende:

- per ogni sistema elettronico di azionamento, una corrispondente unità di controllo progettata per funzionare come descritto in precedenza in relazione alla gestione di una condizione di coasting secondo la presente invenzione; ed

- un'unità centrale di controllo del funzionamento del veicolo ferroviario che è collegata a tutte le suddette unità di controllo dei sistemi elettronici di azionamento ed è configurata per

- selezionare uno o più sistemi di azionamento da azionare sulla base di quantità indicative di una richiesta di sforzo calcolata come il prodotto del peso attuale del veicolo rispetto al peso massimo per il riferimento percentuale

di sforzo per lo sforzo massimo di treno per il veicolo ferroviario e di uno sforzo disponibile per ogni sistema di azionamento, che considera le limitazioni di coppia massima e potenza massima imposte al sistema elettronico di azionamento al fine di garantire il rispetto delle prestazioni termiche senza intervento di protezioni,

- inviare comandi di marcia libera alle unità di controllo dei sistemi di azionamento non selezionati, ed
- inviare comandi di trazione alle unità di controllo dei sistemi di azionamento selezionati.

In altre parole, l'unità centrale di controllo, in uso, calcola il numero di sistemi elettronici di azionamento da accendere sulla base della richiesta di sforzo e dello sforzo disponibile per ciascuno dei sistemi elettronici di azionamento. Ad esempio su un veicolo con quattro sistemi elettronici di azionamento, se viene richiesto uno sforzo inferiore al 25%, l'unità centrale di controllo richiede l'accensione di un solo sistema elettronico di azionamento, tra il 25% e il 50% di due sistemi elettronici di azionamento e così via fino a quattro sistemi elettronici di azionamento accesi quando lo sforzo richiesto è compreso

tra il 75% e il 100%.

Inoltre, secondo detto ulteriore aspetto della presente invenzione, l'unità di controllo di ogni sistema elettronico di azionamento è inoltre configurata per:

- determinare il verificarsi di una condizione di marcia libera se riceve un comando di marcia libera dall'unità centrale di controllo; e

- determinare il verificarsi di una condizione di uscita dalla condizione di marcia libera se riceve un comando di trazione dall'unità centrale di controllo.

Pertanto, in questo modo, l'unità di controllo di ogni sistema elettronico di azionamento, quando riceve un comando di marcia libera dall'unità centrale di controllo, causa un deflussaggio del rispettivo motore elettrico e, quando il valore del flusso magnetico scende al di sotto del 20% del valore di riferimento di flusso, spegne il rispettivo sistema elettronico di azionamento.

Inoltre, l'unità di controllo di ogni sistema elettronico di azionamento, quando riceve un comando di trazione dall'unità centrale di controllo, esegue una delle seguenti operazioni (già descritte dettagliatamente in precedenza):

- se il rispettivo sistema elettronico di azionamento è acceso, genera un comando per far aumentare la coppia motrice del rispettivo motore elettrico;

- se il rispettivo sistema elettronico di azionamento è spento, causa un flussaggio del rispettivo motore elettrico e, quando il valore del flusso magnetico supera il 20% del valore di riferimento di flusso, genera un comando per far aumentare la coppia motrice del rispettivo motore elettrico.

Questa soluzione, attualmente non implementata su nessun veicolo ferroviario, consente di ridurre del 3% l'assorbimento di potenza al pantografo (dati ottenuti dalla Richiedente mediante simulazioni eseguite per un veicolo di tipo metropolitano).

Tale risparmio energetico è ottenuto grazie al massivo spegnimento dei sistemi elettronici di azionamento quando non richiesti, spegnimento che permette di ridurre drasticamente le perdite sui convertitori di trazione.

L'unità centrale di controllo può inoltre comandare l'accensione ciclica dei sistemi elettronici di azionamento, riducendo in questo modo la corrente termica su tratta assorbita da ciascun sistema elettronico di azionamento ottenendo così:

- una riduzione della richiesta di potenza refrigerante che, inoltre, consente di usare sistemi di raffreddamento più piccoli; ed

- un aumento del tempo medio tra guasti ("Mean Time Between Failure" - MTBF) dei sistemi elettronici di

azionamento grazie ad una riduzione delle ore di funzionamento a parità di ore di servizio del veicolo ferroviario.

Nonostante il sistema di controllo secondo detto ulteriore aspetto della presente invenzione sia stato appena descritto in relazione al controllo di un veicolo ferroviario, tale sistema di controllo può essere vantaggiosamente utilizzato anche per il controllo di un qualsiasi tipo di veicolo o mezzo di trasporto (ad esempio una nave) che comprende una pluralità di sistemi di trazione/propulsione ciascuno dei quali include un rispettivo motore elettrico azionabile da un rispettivo sistema elettronico di azionamento.

Dalla precedente descrizione si possono immediatamente comprendere i vantaggi della presente invenzione.

In particolare, è importante sottolineare ancora una volta il fatto che la presente invenzione consente di ridurre il consumo energetico di veicoli o mezzi di trasporto, quali veicoli ferroviari e navi, dotati di sistemi di trazione/propulsione elettrici eliminando, durante le fasi di coasting di tali veicoli, le perdite nei sistemi elettronici di azionamento dei motori elettrici e nei motori stessi dovute alla corrente magnetizzante.

In dettaglio, la presente invenzione consente di ottenere i seguenti vantaggi tecnici:

- un incremento dell'efficienza operativa del sistema elettrico di trazione/propulsione dei veicoli o mezzi di trasporto;

- una riduzione dei consumi energetici, ad esempio, con riferimento al settore ferroviario, una riduzione degli assorbimenti al pantografo da parte dei veicoli ferroviari (i.e. treni, metropolitane, tram ecc.); ed

- una riduzione dell'inquinamento acustico.

Inoltre, la presente invenzione, poiché, come descritto precedentemente, realizza una gestione ottimizzata dei dispositivi già esistenti sui veicoli e dei flussi energetici tra di essi mediante l'uso di innovative tecniche software di controllo, consente di ottenere prestazioni migliori senza richiedere modifiche ai veicoli e, quindi, senza l'aggravio di costi e tempi di sviluppo derivanti dall'introduzione di nuove tecnologie hardware.

E' importante sottolineare ancora una volta il fatto che la presente invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata per controllare e gestire differenti tipologie di sistemi elettronici di azionamento utilizzati per azionare differenti tipologie di motori elettrici utilizzati, a loro volta, per la trazione/propulsione di differenti tipologie di veicoli o mezzi di trasporto.

In particolare, la presente invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata per controllare e gestire il

funzionamento di:

- sistemi di azionamento di tipo inverter utilizzati per azionare motori elettrici asincroni; e
- sistemi di azionamento di tipo chopper utilizzati per azionare motori elettrici sincroni.

A tal riguardo, si segnala che l'uso della presente invenzione non risulta particolarmente vantaggiosa nel caso di motori sincroni a magneti permanenti, poiché tali motori elettrici già realizzano intrinsecamente un controllo automatico del flusso magnetico.

Peraltro, la presente invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata per controllare e gestire il funzionamento di sistemi elettronici di azionamento di motori elettrici utilizzati per la trazione di veicoli ferroviari di qualsiasi tipologia, quali treni per il transito di massa ("mass-transit trains"), a unità elettriche multiple ("Electric Multiple Unit" - EMU), a trazione pesante, ad alta velocità, a lunga percorrenza, metropolitani, regionali, tram, con o senza conducente/macchinista, ecc..

Inoltre, la presente invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata anche nel settore navale ed industriale, ad esempio per controllare e gestire il funzionamento di sistemi elettronici di azionamento di motori elettrici utilizzati per la propulsione di navi.

Infine, risulta chiaro che varie modifiche possono essere apportate alla presente invenzione, tutte rientranti nell'ambito di tutela dell'invenzione definito nelle rivendicazioni allegate.

RIVENDICAZIONI

1. Unità elettronica di controllo per un sistema di trazione/propulsione di un veicolo o mezzo di trasporto; detto sistema di trazione/propulsione comprendendo un motore elettrico azionabile da un sistema elettronico di azionamento;

l'unità elettronica di controllo essendo progettata per ricevere segnali e/o dati e/o comandi indicativi di condizioni operative del veicolo o mezzo di trasporto e del sistema di trazione/propulsione;

l'unità elettronica di controllo essendo caratterizzata dal fatto di essere configurata per:

- determinare, sulla base dei segnali e/o dati e/o comandi ricevuti, il verificarsi di una condizione di marcia libera ("coasting") del veicolo o mezzo di trasporto (blocco 66);

- se determina il verificarsi di una condizione di marcia libera del veicolo o mezzo di trasporto,

- controllare il funzionamento del sistema elettronico di azionamento in modo tale da far sì che il motore elettrico sia sottoposto a deflussaggio magnetico (blocco 67),

- monitorare, durante il deflussaggio magnetico del motore elettrico, il flusso magnetico del motore elettrico (blocco 67), e,

- se, durante il deflussaggio magnetico del motore elettrico, determina che il flusso magnetico del motore elettrico è sceso al di sotto di una soglia di flusso magnetico, generare un primo comando tale da causare lo spegnimento del sistema elettronico di azionamento (blocco 69).

2. L'unità elettronica di controllo della rivendicazione 1, configurata inoltre per:

- determinare, sulla base dei segnali e/o dati e/o comandi ricevuti, il verificarsi di una condizione di uscita dalla condizione di marcia libera del veicolo o mezzo di trasporto (blocco 66);

- se determina il verificarsi di una condizione di uscita dalla condizione di marcia libera del veicolo o mezzo di trasporto e determina anche che il sistema elettronico di azionamento è acceso, generare un secondo comando tale da causare che la coppia motrice del motore elettrico inizi ad aumentare (blocco 65);

- se determina il verificarsi di una condizione di uscita dalla condizione di marcia libera del veicolo o mezzo di trasporto e determina anche che il sistema elettronico di azionamento è spento,

- generare un terzo comando tale da causare l'accensione del sistema elettronico di

azionamento,

- controllare il funzionamento del sistema elettronico di azionamento in modo tale da far sì che il motore elettrico sia sottoposto a flussaggio magnetico (blocco 63),
- monitorare, durante il flussaggio magnetico del motore elettrico, il flusso magnetico del motore elettrico (blocco 63), e,
- se, durante il flussaggio magnetico del motore elettrico, determina che il flusso magnetico del motore elettrico ha superato la soglia di flusso magnetico, generare il secondo comando (blocco 65).

3. L'unità elettronica di controllo della rivendicazione 2, configurata inoltre per:

- determinare che il sistema elettronico di azionamento è acceso se determina che il flusso magnetico del motore elettrico supera la soglia di flusso magnetico;

e

- determinare che il sistema elettronico di azionamento è spento se determina che il flusso magnetico del motore elettrico è inferiore alla soglia di flusso magnetico.

4. L'unità elettronica di controllo secondo una qualsiasi rivendicazione precedente, configurata inoltre

per:

- calcolare un valore target di riferimento di flusso magnetico ($FdRif$) (blocco 62); e
- calcolare la soglia di flusso magnetico sulla base del valore target di riferimento di flusso magnetico ($FdRif$).

5. L'unità elettronica di controllo della rivendicazione 4, configurata inoltre per:

- calcolare un valore di flusso magnetico di onda quadra ($Fdoq$) sulla base di grandezze indicative di una tensione di alimentazione ($vFIL$) del sistema di trazione/propulsione e di una frequenza di alimentazione ($freal$) del motore elettrico (blocco 61);
- calcolare il valore target di riferimento di flusso magnetico ($FdRif$) sulla base del valore di flusso magnetico di onda quadra ($Fdoq$) e di un predeterminato valore nominale di flusso magnetico ($FdNom$) (blocco 62).

6. L'unità elettronica di controllo secondo una qualsiasi rivendicazione precedente, progettata per essere installata a bordo di un veicolo o mezzo di trasporto comprendente un sistema di trazione/propulsione che include un motore elettrico asincrono azionabile da un sistema elettronico di azionamento di tipo inverter.

7. L'unità elettronica di controllo secondo una qualsiasi rivendicazione 1-5, progettata per essere

installata a bordo di un veicolo o mezzo di trasporto comprendente un sistema di trazione/propulsione che include un motore elettrico sincrono azionabile da un sistema elettronico di azionamento di tipo chopper.

8. Sistema di controllo per un veicolo o mezzo di trasporto; detto veicolo o mezzo di trasporto comprendendo una pluralità di sistemi di trazione/propulsione ciascuno dei quali include un rispettivo motore elettrico azionabile da un rispettivo sistema elettronico di azionamento;

il sistema di controllo comprendendo:

- per ogni sistema di trazione/propulsione, una corrispondente unità elettronica di controllo progettata e configurata come l'unità elettronica di controllo rivendicata in una qualsiasi rivendicazione precedente; ed

- un'unità centrale di controllo collegata alle unità elettroniche di controllo dei sistemi di trazione/propulsione e configurata per

- selezionare uno o più sistemi di trazione/propulsione da azionare sulla base di quantità indicative di una richiesta di sforzo per il veicolo o mezzo di trasporto e di uno sforzo disponibile per ogni sistema di trazione/propulsione,
- inviare comandi di marcia libera alle unità elettroniche di controllo dei sistemi di

- trazione/propulsione non selezionati, ed
- inviare comandi di trazione/propulsione alle unità elettroniche di controllo dei sistemi di trazione/propulsione selezionati;

in cui ogni unità elettronica di controllo di un sistema di trazione/propulsione è inoltre configurata per:

- determinare il verificarsi di una condizione di marcia libera se riceve un comando di marcia libera dall'unità centrale di controllo; e

- determinare il verificarsi di una condizione di uscita dalla condizione di marcia libera se riceve un comando di trazione/propulsione dall'unità centrale di controllo.

9. Mezzo di trasporto comprendente:

- un sistema di trazione/propulsione che include un motore elettrico azionabile da un sistema elettronico di azionamento; e

- l'unità elettronica di controllo rivendicata in una qualsiasi rivendicazione 1-7.

10. Mezzo di trasporto comprendente:

- una pluralità di sistemi di trazione/propulsione ciascuno dei quali include un rispettivo motore elettrico azionabile da un rispettivo sistema elettronico di azionamento; ed

- il sistema di controllo rivendicato nella

rivendicazione 8.

11. Prodotto informatico comprendente porzioni di codice software e/o firmware che sono:

- eseguibili da mezzi di elaborazione di un'unità elettronica di controllo di un sistema di trazione/propulsione di un veicolo o mezzo di trasporto; detto sistema di trazione/propulsione comprendendo un motore elettrico azionabile da un sistema elettronico di azionamento; detta unità elettronica di controllo essendo progettata per ricevere segnali e/o dati e/o comandi indicativi di condizioni operative del veicolo o mezzo di trasporto e del sistema di trazione/propulsione; e

- tali da causare che, quando eseguite, detta unità elettronica di controllo diventi configurata come l'unità elettronica di controllo rivendicata in una qualsiasi rivendicazione 1-7.

12. Prodotto informatico comprendente prime e seconde porzioni di codice software e/o firmware;

le prime porzioni di codice software e/o firmware essendo:

- eseguibili da mezzi di elaborazione di un'unità centrale di controllo di un sistema di controllo di un veicolo o mezzo di trasporto che comprende una pluralità di sistemi di trazione/propulsione ciascuno dei quali include un rispettivo motore elettrico azionabile da un rispettivo

sistema elettronico di azionamento; detto sistema di controllo comprendendo, per ogni sistema di trazione/propulsione, una corrispondente unità elettronica di controllo collegata all'unità centrale di controllo; e

- tali da causare che, quando eseguite, detta unità centrale di controllo diventi configurata come l'unità centrale di controllo del sistema di controllo rivendicato nella rivendicazione 8;

le seconde porzioni di codice software e/o firmware essendo:

- eseguibili da mezzi di elaborazione di ciascuna unità elettronica di controllo del sistema di controllo; e

- tali da causare che, quando eseguite, le unità elettroniche di controllo diventino configurate come le unità elettroniche di controllo del sistema di controllo rivendicato nella rivendicazione 8.

p.i.: ANSALDOBREDA S.P.A.

Lorenzo SORDINI

TITLE: CONTROL OF THE OPERATION OF AN ELECTRONIC SYSTEM FOR DRIVING AN ELECTRIC MOTOR USED FOR VEHICLE PROPULSION

CLAIMS

1. Electronic control unit for a traction/propulsion system of a vehicle or means of transport;

said traction/propulsion system comprising an electronic motor operable by an electronic driving system;

the electronic control unit being designed to receive signals and/or data and/or commands indicative of operating conditions of the vehicle or means of transport and of the traction/propulsion system;

the electronic control unit being characterized by being configured to:

- detect the occurrence of a coasting condition of the vehicle or means of transport on the basis of the signals and/or data and/or commands received (block 66);

- if the occurrence of a coasting condition of the vehicle or means of transport is detected,

- control the operation of the electronic driving system so as to cause the electric motor to undergo a magnetic flux reduction (block 67),

- monitor the magnetic flux of the electric motor during the magnetic flux reduction (block 67), and,

- if during the magnetic flux reduction it detects

that the magnetic flux of the electric motor has fallen below a magnetic flux threshold, generate a first command such that to cause the switching off of the electronic driving system (block 69).

2. The electronic control unit of claim 1, further configured to:

- detect the occurrence of a condition of exit from the coasting condition of the vehicle or means of transport on the basis of the signals and/or data and/or commands received (block 66);

- if the occurrence of a condition of exit from the coasting condition of the vehicle or means of transport is detected and it detects also that the electronic driving system is switched on, generate a second command such that to cause the driving torque of the electric motor to start increasing (block 65);

- if the occurrence of a condition of exit from the coasting condition of the vehicle or means of transport is detected and it detects also that the electronic driving system is switched off,

- generate a third command such that to cause the electronic driving system to be switched on,

- control the operation of the electronic driving system so as to cause the electric motor to undergo a magnetic flux increase (block 63),

- monitor the magnetic flux of the electric motor during the magnetic flux increase (block 63), and,
- if during the magnetic flux increase it detects that the magnetic flux of the electric motor has exceeded the magnetic flux threshold, generate the second command (block 65).

3. The electronic control unit of claim 2, further configured to:

- detect that the electronic driving system is switched on if it detects that the magnetic flux of the electric motor exceeds the magnetic flux threshold; and
- detect that the electronic driving system is switched off if it is detects that the magnetic flux of the electric motor is lower than the magnetic flux threshold.

4. The electronic control unit according to any preceding claim, further configured to:

- compute a magnetic flux reference target value ($FdRif$) (block 62); and
- compute the magnetic flux threshold on the basis of the magnetic flux reference target value ($FdRif$).

5. The electronic control unit of claim 4, further configured to:

- compute a square wave magnetic flux value ($Fdog$) on the basis of quantities indicative of a supply voltage ($vFIL$) of the traction/propulsion system and of a supply

frequency (f_{real}) of the electric motor (block 61); and

- compute the magnetic flux reference target value (F_{dRif}) on the basis of the square wave magnetic flux value (F_{doq}) and of a predetermined magnetic flux nominal value (F_{dNom}) (block 62).

6. The electronic control unit according to any preceding claim, designed to be installed on board a vehicle or means of transport comprising a traction/propulsion system which includes an asynchronous electric motor operable by an electronic driving system of the inverter type.

7. The electronic control unit according to any claim 1-5, designed to be installed on board a vehicle or means of transport comprising a traction/propulsion system which includes a synchronous electric motor operable by an electronic driving system of the chopper type.

8. A control system for a vehicle or means of transport; said vehicle or means of transport comprising a plurality of traction/propulsion systems, each of which includes a respective electric motor operable by a respective electronic driving system;

the control system comprising:

- for each traction/propulsion system, a corresponding electronic control unit designed and configured as the electronic control unit claimed in any preceding claim; and

- a central control unit connected to the electronic control units of the traction/propulsion systems and configured to

- select one or more traction/propulsion systems to be operated on the basis of quantities indicative of a strain demand for the vehicle or means of transport and of an available strain for each traction/propulsion system,
- send coasting commands to the electronic control units of the non-selected traction/propulsion systems, and
- send traction/propulsion commands to the electronic control units of the selected traction/propulsion systems;

wherein each electronic control unit of a traction/propulsion system is further configured to:

- detect the occurrence of a coasting condition if it receives a coasting command from the central control unit; and

- detect the occurrence of a condition of exit from the coasting condition if it receives a traction/propulsion command from the central control unit.

9. A means of transport comprising:

- a traction/propulsion system which includes an electronic motor operable by an electronic driving system;

and

- the electronic control unit claimed in any claim 1-7.

10. A means of transport comprising:

- a plurality of traction/propulsion systems, each of which includes a respective electric motor operable by a respective electronic driving system; and

- the control system claimed in claim 8.

11. A computer product comprising software and/or firmware code portions which are:

- executable by processing means of an electronic control unit of a traction/propulsion system of a vehicle or means of transport; said traction/propulsion system comprising an electric motor operable by an electronic driving system; said electronic control unit being designed to receive signals and/or data and/or commands indicative of operating conditions of the vehicle or means of transport and of the traction/propulsion system; and

- such that to cause, when executed, said electronic control unit to become configured as the electronic control unit claimed in any claim 1-7.

12. A computer product comprising first and second software and/or firmware code portions;

the first software and/or firmware code portions being:

- executable by processing means of a central control unit of a control system of a vehicle or means of transport which comprises a plurality of traction/propulsion systems, each of which include a respective electric motor operable by a respective electronic driving system; said control system comprising, for each traction/propulsion system, a corresponding electronic control unit connected to the central control unit; and

- such that to cause, when executed, said central control unit to become configured as the central control unit of the control system claimed in claim 8;

the second software and/or firmware code portions being:

- executable by processing means of each electronic control unit of the control system; and

- such that to cause, when executed, the electronic control units to become configured as the electronic control units of the control system claimed in claim 8.

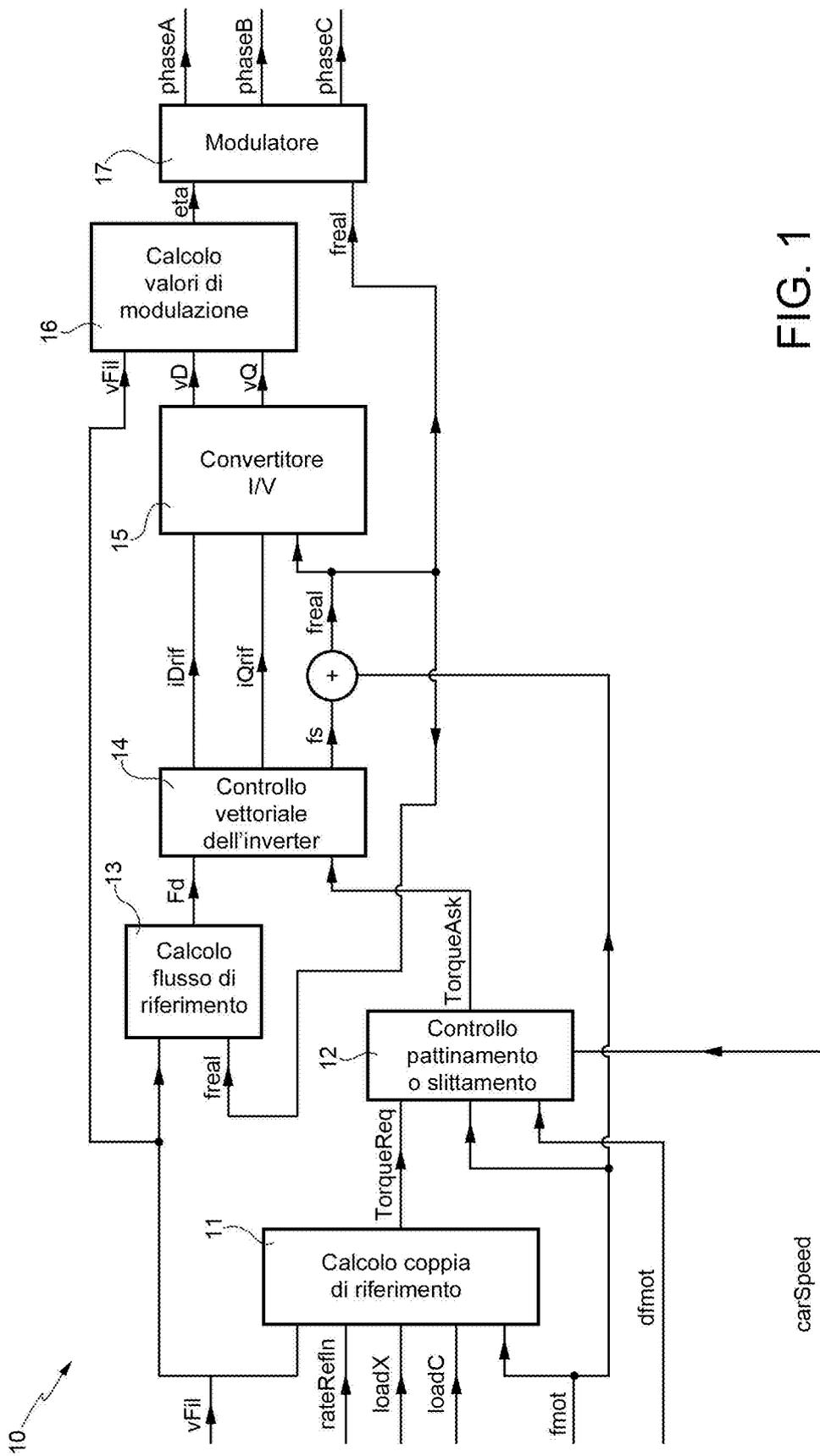


FIG. 1

p.i.: ANSALDOBREDA S.P.A.

Lorenzo SORDINI
(Iscrizione Albo nr. 1429/B)

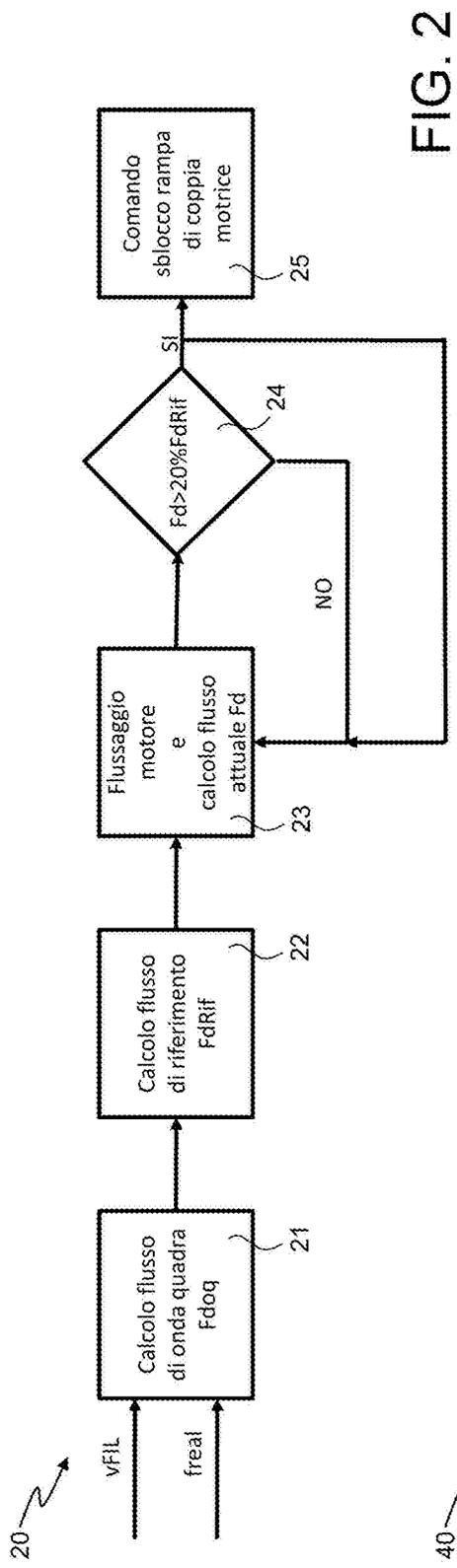


FIG. 2

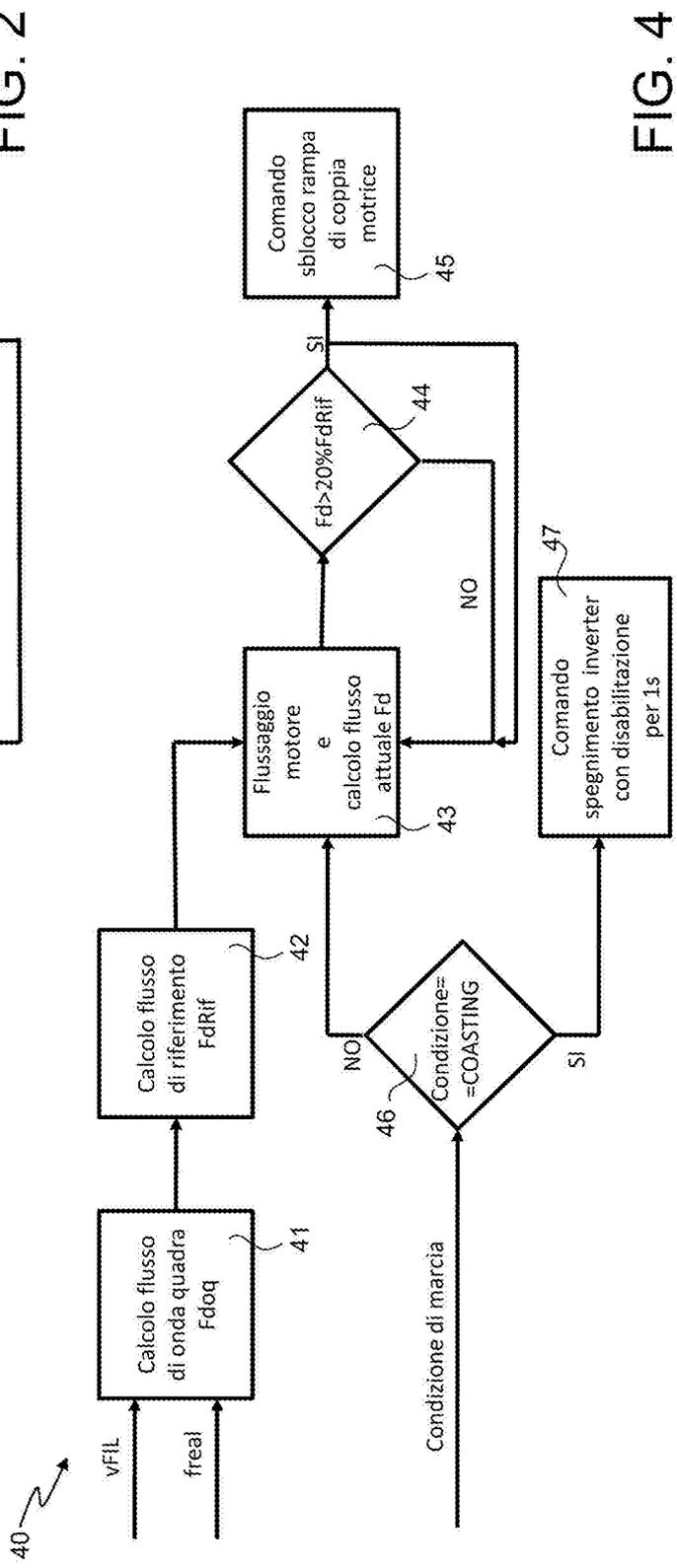


FIG. 4

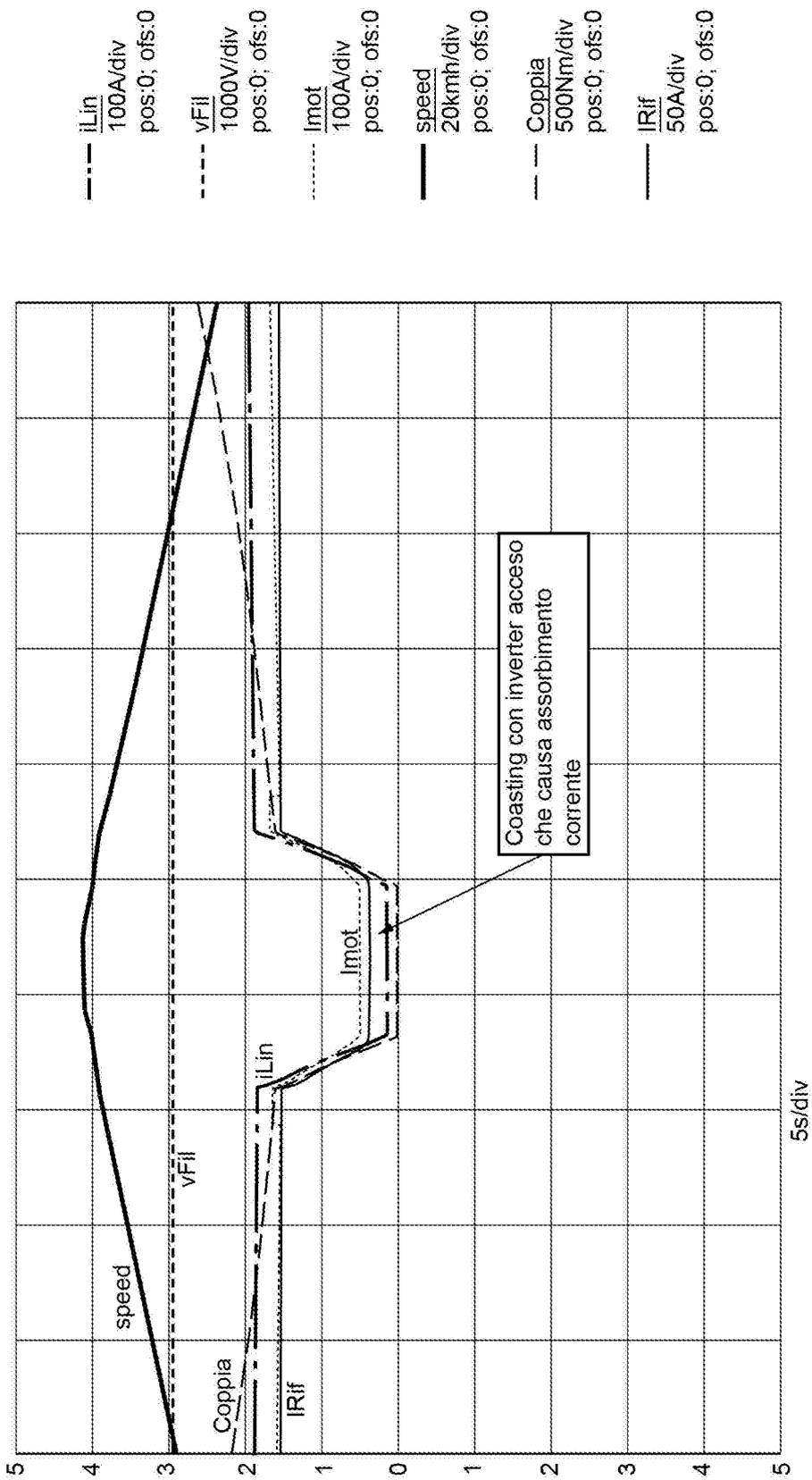


FIG. 3

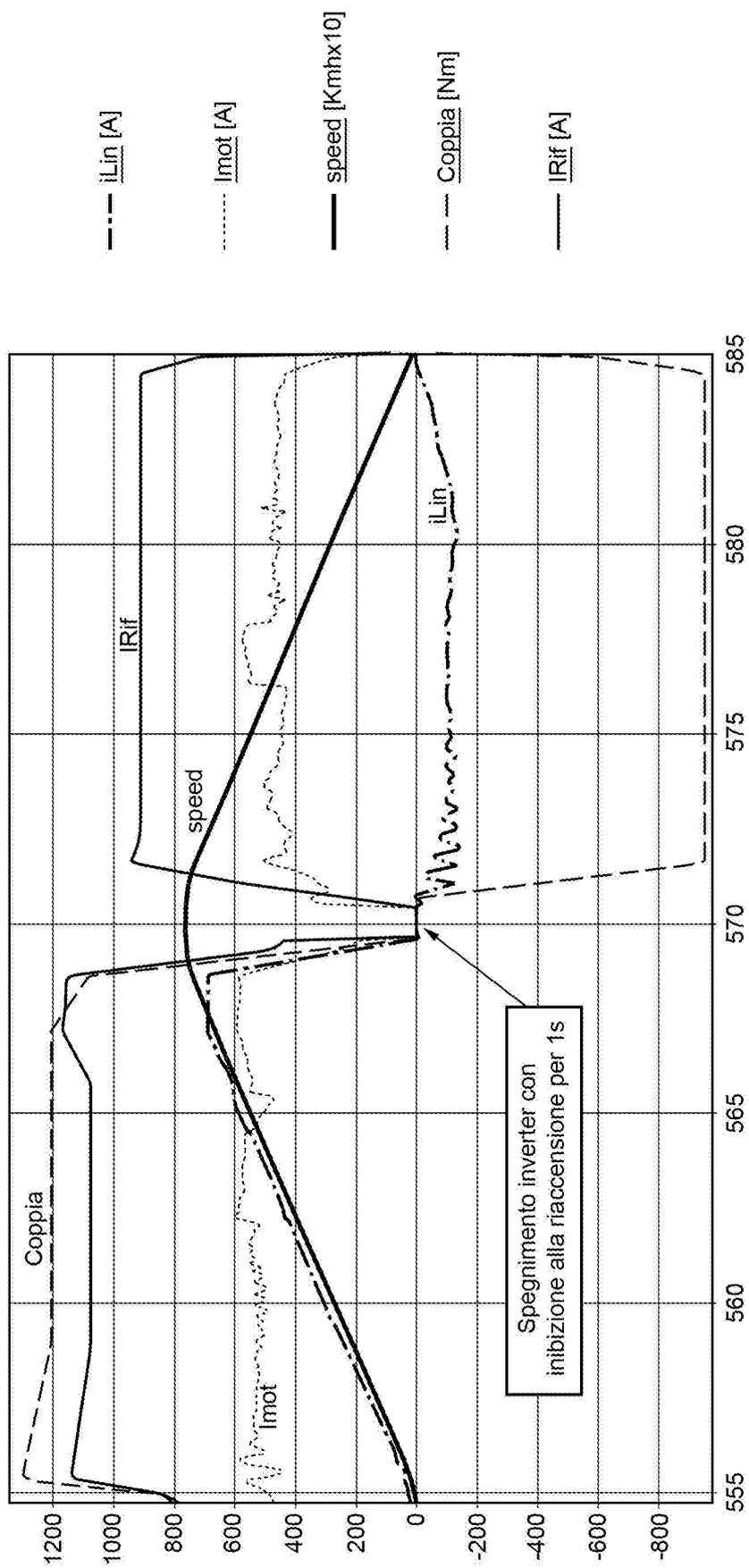


FIG. 5

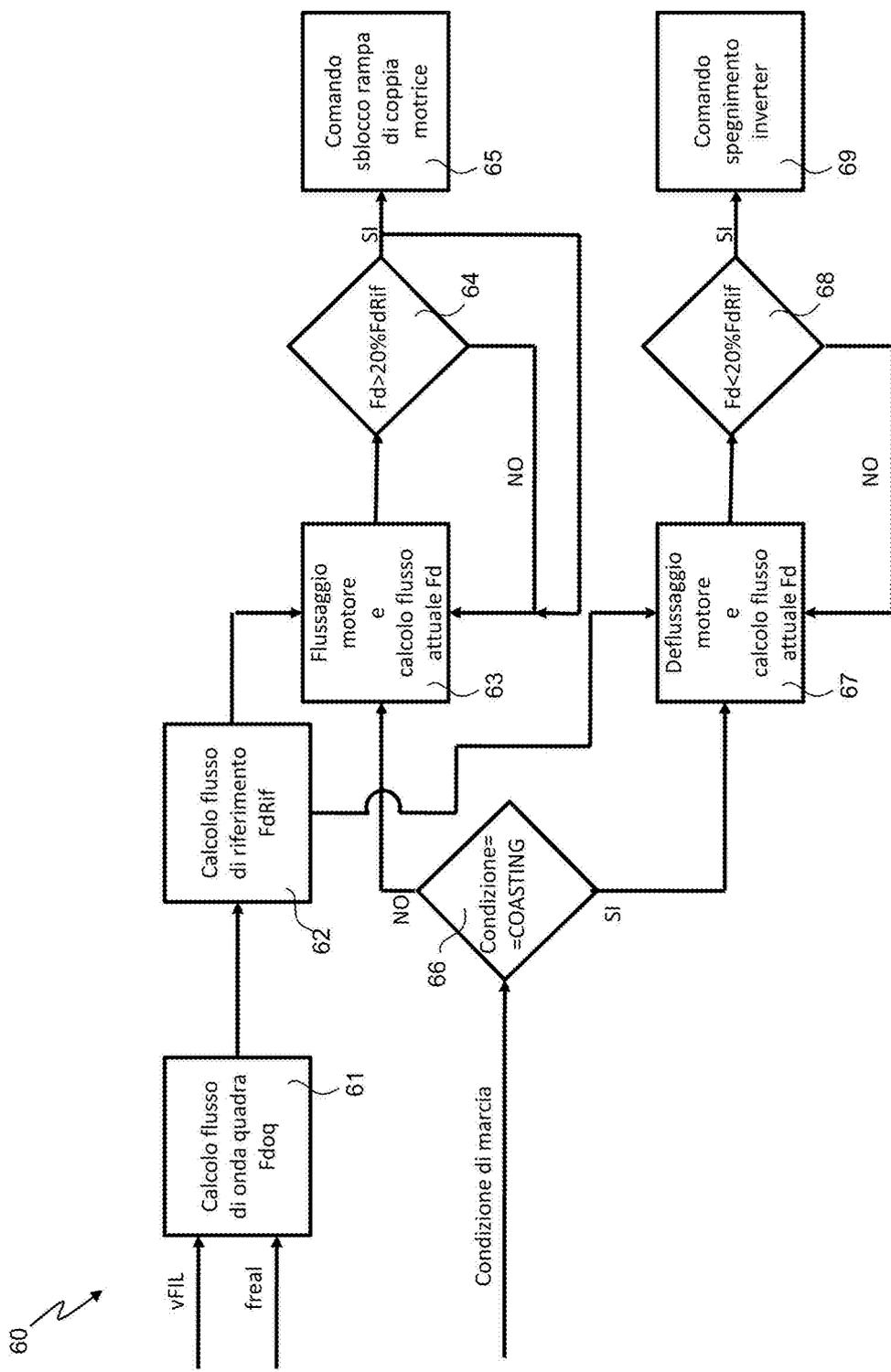


FIG. 6

p.i.: ANSALDOBREDA S.P.A.

Lorenzo SORDINI
(Iscrizione Albo nr. 1429/B)

- iLin
100A/div
pos:-2; ofs:0
- vFil
100V/div
pos:-4; ofs:0
- Imot
200A/div
pos:0; ofs:0
- speed
10kmh/div
pos:-4; ofs:0
- Coppia
200Nm/div
pos:0; ofs:0
- IRif
100A/div
pos:0; ofs:0
- rifman
50/div
pos:-4; ofs:0
- accel
0,5/div
pos:0; ofs:0
- DelivEff
10kN/div
pos:0; ofs:0

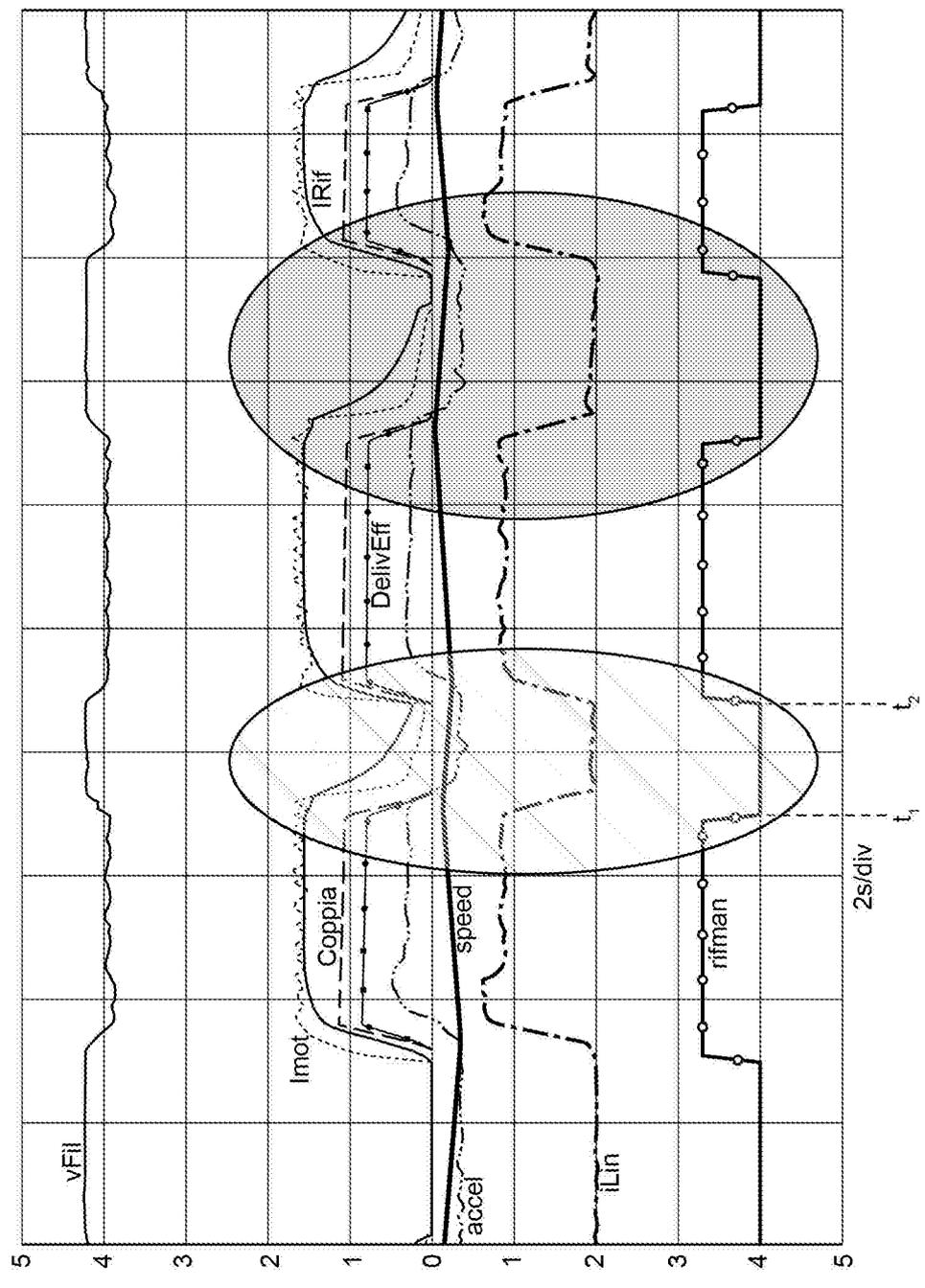


FIG. 7

p.i.: ANSALDOBREDA S.P.A.

Lorenzo SORDINI
(Iscrizione Albo nr. 1429/B)

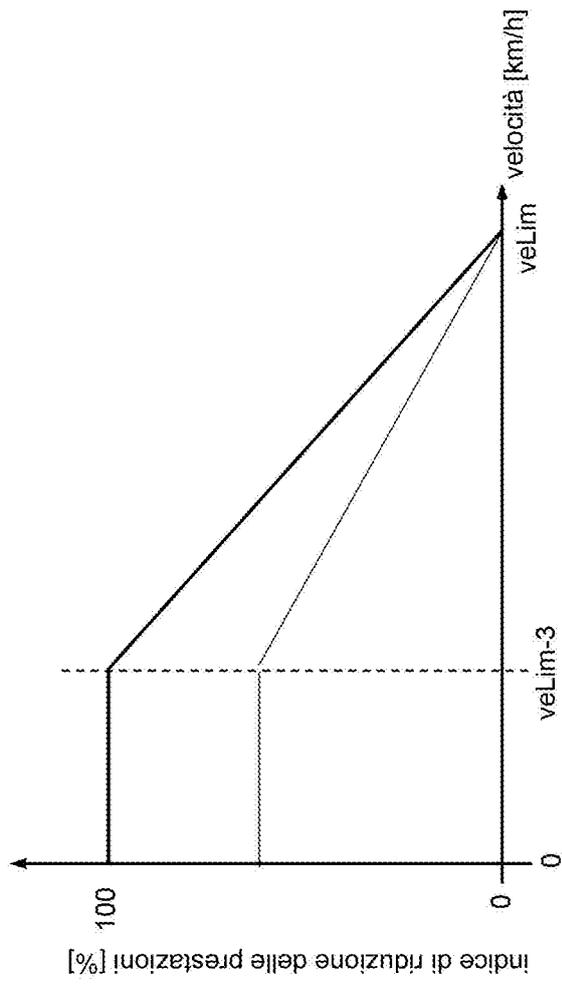


FIG. 8

p.i.: ANSALDOBREDA S.P.A.

Lorenzo SORDINI
 (Iscrizione Albo nr. 1429/B)