



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

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102019000001507
Data Deposito	01/02/2019
Data Pubblicazione	01/08/2020

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	P	29	02

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	P	29	024

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	P	27	08

Titolo

Procedimento di controllo di motori elettrici, corrispondenti circuito e prodotto informatico

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale intitolata:

"Procedimento di controllo di motori elettrici, corrispondenti circuito e prodotto informatico"

a nome di: STMicroelectronics S.r.l., di nazionalità italiana, via C. Olivetti 2 - 20864 Agrate Brianza (MB) - Italia

Inventori designati: Andrea SPAMPINATO, Gianluigi FORTE

Depositata il: 1 febbraio, 2019

* * *

TESTO DELLA DESCRIZIONE

Campo Tecnico

Le forme di attuazione della presente descrizione si riferiscono a soluzioni riguardanti tecniche per controllare un motore elettrico multifase che esegue un rilevamento di un sovraccarico, comprendente il controllo della corrente nel motore elettrico multifase controllando una tensione applicata.

La presente descrizione in particolare si riferisce a tecniche per il rilevamento di un sovraccarico durante il funzionamento del motore elettrico multifase e per il rilevamento di una corrente massima.

Sfondo

Una varietà di prodotti può comportare applicazioni di controllo del motore multifase, in particolare trifase, ad es. per applicazioni di controllo della posizione e/o di controllo della velocità.

Elettrodomestici quali lavatrici, asciugatori, frigoriferi, automazione industriale e domestica, il settore automobilistico e i dispositivi medici possono

essere esemplificativi di tali prodotti.

I motori elettrici solitamente consentono di essere sovraccaricati ma di rimanere in un intervallo definito, in termini di limiti e durata di corrente. Solitamente, maggiore è la corrente di sovraccarico, minore è la durata del sovraccarico.

L'intervallo operativo dei motori elettrici tende a diminuire con il suo invecchiamento, di conseguenza può essere molto utile rilevare tale intervallo operativo al fine di evitare di danneggiarlo durante il normale funzionamento, il che è sempre una condizione indesiderata in qualsiasi campo di applicazione.

In figura 1 è mostrato un sistema di motore elettrico 10 comprendente un motore elettrico a induzione multifase, specificatamente trifase 11 che è controllato da un invertitore trifase 12. Una tensione di alimentazione V_{rete} o $mains$, AC a 50/60Hz è presa dalla rete elettrica 13 ed alimentata ad un raddrizzatore 14, convertendo il segnale a Corrente Alternata o AC in un segnale a Corrente Diretta o DC. Una tensione DC V_{DC} è formata su un condensatore di filtro 15, accoppiato in parallelo sui terminali di uscita del raddrizzatore 14, ed è alimentata all'invertitore trifase 12, che a sua volta genera le tensioni di fase v_a , v_b , v_c , controllando il motore elettrico trifase 11.

Considerando la PWM (Modulazione a Larghezza di Impulso) come logica di commutazione dell'invertitore 12, le tensioni di uscita, cioè tensioni di fase, v_a , v_b , v_c degli invertitori hanno una forma d'onda AC e contengono varie armoniche. Sono presenti entrambe l'armonica fondamentale e l'armonica ad alta frequenza utilizzate per eseguire la modulazione PWM. Il filtro di uscita in questo caso è rappresentato dallo stesso motore elettrico 11 e

successivamente le tensioni di fase viste dal motore elettrico 11 sono le seguenti:

$$\begin{aligned}v_a &= m_a \frac{v_{DC}}{2} \sin(\omega t) \\v_b &= m_a \frac{v_{DC}}{2} \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\v_c &= m_a \frac{v_{DC}}{2} \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi)\end{aligned}\tag{1}$$

dove m_a indica il Coefficiente di Modulazione di Ampiezza ($0 \leq m_a \leq 1$), e determina il valore massimo per il ciclo di funzionamento D.

La potenza di uscita è regolata cambiando il coefficiente di modulazione di ampiezza m_a .

Solitamente il valore del coefficiente di modulazione di ampiezza m_a è deciso da un controllore di corrente di fase del motore che sceglie il coefficiente di modulazione corretto ma secondo il punto di lavorazione obiettivo, cioè velocità di rotore e coppia di carico, del motore elettrico 11.

Per lo stesso punto di lavorazione obiettivo l'ampiezza della corrente rimane costante ed anche il coefficiente di modulazione m_a .

La condizione di sovraccarico causa una variazione di parametri non irrilevante, dovuta principalmente ad un aumento di temperatura e, come noto, la sovratemperatura diminuisce la durata e l'efficienza del motore, considerando anche che tale tipo di variazione di parametri influisce negativamente su qualsiasi algoritmo che esegue un processo di stima utilizzando il modello matematico del motore.

Solitamente sono richiesti strumenti hardware e di misurazione aggiuntivi per monitorare la temperatura per la

gestione della sovratemperatura.

Sul campo, tuttavia, non è sempre possibile utilizzare strumenti di misurazione (cioè misuratore di potenza, amperometro) durante il normale funzionamento e sono richieste sessioni di manutenzione/misurazione dedicate che interrompono il processo.

Tecniche di stima di efficienza e di carico computerizzate sono note dal documento DETERMINING ELECTRIC MOTOR LOAD AND EFFICIENCY - Motor Challenge" disponibile all'URL

<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>.

Le soluzioni note si riferiscono solitamente ai motori ad induzione alimentati direttamente dalla rete elettrica, di conseguenza i procedimenti di rilevamento di sovraccarico si basano sul monitoraggio della corrente di linea poiché in quel caso la tensione è fissa e la corrente aumenta con le perdite di potenza.

Sintesi

Considerando i suddetti, è uno scopo della presente descrizione fornire soluzioni che superano uno o più dei suddetti svantaggi.

Secondo una o più forme di attuazione, uno o più dei suddetti scopi è conseguito per mezzo di un procedimento di rilevamento di sovraccarico avente le caratteristiche specificatamente esposte nelle rivendicazioni che seguono. Le forme di attuazione riguardano inoltre un procedimento e prodotto informatico relativi.

Le rivendicazioni sono una parte integrale dell'insegnamento tecnico della descrizione qui fornita.

Come menzionato prima, la presente descrizione si

riferisce ad un procedimento di controllo di un motore elettrico multifase comprendente la rilevazione di una condizione di sovraccarico di detto motore elettrico multifase, detto controllo comprendendo la regolazione di una corrente che fluisce nel motore elettrico multifase controllando una tensione multifase applicata al motore attraverso un invertitore di modalità di commutazione pilotato da un segnale modulato di controllo, in particolare un segnale a larghezza di impulso modulato, in cui il procedimento comprende il monitoraggio di un aumento termico del valore di una resistenza di statore del motore elettrico multifase durante una condizione di stato stabile di detto motore elettrico multifase in cui la corrente che fluisce in detto motore elettrico ha fase costante, in particolare a carico costante, e a velocità costante di detto motore elettrico.

In forme di attuazione variabili, il monitoraggio di un aumento termico del valore di una resistenza di statore comprende monitorare un indice di modulazione della tensione applicata al motore elettrico multifase.

In forme di attuazione variabili, il monitoraggio di un aumento termico del valore di una resistenza di statore comprende monitorare un ciclo di funzionamento della tensione applicata al motore elettrico multifase.

In forme di attuazione variabili, il monitoraggio di un aumento termico del valore di una resistenza di statore comprende stimare la resistenza con un algoritmo autocommissionato.

In forme di attuazione variabili, il monitoraggio di un aumento termico del valore di una resistenza di statore comprende calcolare/stimare la potenza del motore utilizzando le tensioni di fase e correnti.

In forme di attuazione variabili, detto monitoraggio di un indice di modulazione comprende

rilevare durante il funzionamento del motore una condizione di stato stabile del motore elettrico,

monitorare l'indice di modulazione,

verificare se un aumento monotono dell'indice di modulazione si verifica mentre il motore è in condizione di stato stabile per entrare in uno stato di rilevamento di sovraccarico.

In forme di attuazione variabili, detto procedimento comprende rilevare una condizione di stato stabile del motore in funzione della velocità e coppia del motore.

In forme di attuazione variabili, detto procedimento comprende, dopo detto passo di verifica, misurare il valore di resistenza dello statore.

In forme di attuazione variabili, detto procedimento comprende

a) regolare la corrente DC nel motore mentre si è in una condizione di stasi;

b) rilevare una condizione di stato stabile del motore;

c) monitorare un ciclo di funzionamento di una tensione applicata al lato alto di un primo ramo (leg) di un invertitore di modalità di commutazione, mantenendo al contempo aperti i commutatori degli altri rami ad eccezione di uno dei commutatori di lato basso di detti altri rami, che è mantenuto chiuso,

d) verificare se un aumento monotono del ciclo di funzionamento si verifica mentre il motore è in condizione di stato stabile per entrare in uno stato di sovraccarico,

e) se il motore non è in una condizione stabile ripetere i passi a-d aumentando la corrente di una quantità

fissa;

f) acquisire come corrente massima l'ultimo valore di corrente prima della verifica della condizione d).

La presente descrizione si riferisce anche ad un dispositivo di pilotaggio per motori elettrici multifase comprendente un avvolgimento dello statore che comprende un modulo configurato per rilevare una condizione di sovraccarico di detto motore elettrico multifase e almeno un modulo configurato che regola una corrente che fluisce nel motore elettrico multifase controllando una tensione applicata,

in cui detto modulo di rilevamento è configurato per monitorare un aumento termico del valore di una resistenza di statore dell'avvolgimento dello statore del motore elettrico multifase durante una condizione di stato stabile di detto motore elettrico multifase in cui la corrente che fluisce in detto motore elettrico ha fase costante, in particolare a carico costante, e la velocità costante del motore.

In forme di attuazione variabili detto dispositivo comprende

un modulo di rilevamento di stato stabile configurato per rilevare durante il funzionamento del motore una condizione di stato stabile del motore elettrico in funzione della coppia e velocità di detto motore,

un modulo di monitoraggio configurato per monitorare l'indice di modulazione e per verificare se un aumento monotono dell'indice di modulazione si verifica mentre il motore è indicato in condizione di stato stabile tramite modulo di rilevamento di stato stabile per entrare in uno stato di rilevamento di sovraccarico, e in particolare anche per misurare un valore di resistenza dello statore.

In forme di attuazione variabili detto dispositivo comprende

un modulo configurato per

a) regolare la corrente DC nel motore mentre si è in una condizione di stasi;

un modulo di rilevamento di stato stabile configurato per

b) rilevare durante il funzionamento del motore una condizione di stato stabile del motore elettrico in funzione della coppia e velocità di detto motore,

detto dispositivo essendo configurato per

c) monitorare un ciclo di funzionamento di una tensione applicata al lato alto di un primo ramo di un invertitore di modalità di commutazione, mantenendo al contempo aperti i commutatori degli altri rami ad eccezione di uno dei commutatori di lato basso di detti altri rami, che è mantenuto chiuso,

d) verificare se un aumento monotonicamente del ciclo di funzionamento si verifica mentre il motore è in condizione di stato stabile per entrare in uno stato di sovraccarico,

e) se il motore non è in una condizione stabile ripetere i passi a-d aumentando la corrente di una quantità fissa;

d) se il motore è in una condizione stabile acquisire come corrente massima l'ultimo valore di corrente prima della verifica della condizione d).

In forme di attuazione variabili detto dispositivo comprende

un motore elettrico multifase accoppiato con un dispositivo di pilotaggio secondo qualsiasi delle forme di attuazione precedenti.

La presente descrizione si riferisce anche ad un

prodotto informatico direttamente caricabile nella memoria interna di un computer digitale, comprendente porzioni di codice software per eseguire i passi del procedimento secondo qualsiasi delle forme di attuazione precedenti.

Breve descrizione delle figure

Le forme di attuazione della presente descrizione verranno ora descritte facendo riferimento ai disegni annessi, che sono forniti puramente a titolo di esempio non limitativo e in cui:

- Figura 1 è già stata descritta in precedenza;
- Figura 2 è un diagramma schematico di una forma di attuazione di un circuito che implementa la soluzione qui descritta;
- Figura 3 è un diagramma di flusso di operazioni di una forma di attuazione della soluzione qui descritta;
- Figura 4 è un diagramma schematico di una forma di attuazione variabile di un circuito che implementa la soluzione qui descritta;
- Figura 5 è un diagramma di flusso di operazioni di un'ulteriore forma di attuazione della soluzione qui descritta;

Descrizione Dettagliata

Nella seguente descrizione, sono forniti numerosi dettagli specifici per fornire una comprensione esauriente di forme di attuazione. Le forme di attuazione si possono mettere in pratica senza uno o vari dettagli specifici, o con altri procedimenti, componenti, materiali, ecc. In altri casi, strutture, materiali, o operazioni ben noti non sono mostrati o descritti nel dettaglio per evitare di rendere poco chiari gli aspetti delle forme di attuazione.

Il riferimento per tutta questa descrizione ad "una forma di attuazione" significa che una particolare caratteristica, struttura, o peculiarità descritta in abbinamento alla forma di attuazione è compresa in almeno una forma di attuazione. Di conseguenza, gli aspetti della frase "in una forma di attuazione" in vari posti per tutta questa descrizione non fanno tutti necessariamente riferimento alla stessa forma di attuazione. Inoltre le particolari caratteristiche, strutture, o peculiarità si possono combinare in qualsiasi maniera appropriata in una o più forme di attuazione.

Le intestazioni qui fornite sono solo per comodità e non interpretano l'ambito o significato delle forme di attuazione.

La soluzione qui descritta esegue sostanzialmente il rilevamento di una condizione di sovraccarico di corrente in un motore elettrico multifase, monitorando un aumento termico del valore di una resistenza di statore del motore elettrico, dovuto all'effetto di Joule, in particolare durante la condizione di stato stabile, in particolare a fase di corrente costante, in particolare a carico costante o valore di corrente RMS costante, e a velocità costante del motore elettrico.

La corrente che fluisce attraverso un conduttore genera sempre calore che è scambiato con l'ambiente sino a che non vi sia una differenza tra la temperatura del conduttore e la temperatura dell'ambiente.

L'avvolgimento dello statore di un motore elettrico, che presenta una resistenza che è disposta in serie rispetto alla corrente che si immette nel motore, è progettato per supportare una corrente massima che può essere superiore di quella stimata o nominale, alla quale

opera normalmente il motore elettrico. Questa corrente massima, indicata sovente come I_{max} nei dati di motore, si ottiene progettando l'avvolgimento dello statore come sovradimensionato.

Quando la corrente che fluisce attraverso l'avvolgimento dello statore è superiore a tale corrente massima, l'avvolgimento dello statore non è in grado di scambiare tutto il calore prodotto con l'ambiente, successivamente si riscalda e la resistenza del conduttore (cioè rame) aumenta secondo la seguente legge:

$$R_t = R_{20} (1 + \alpha_{20}(t-20)) \quad (1)$$

dove t indica l'effettiva temperatura del conduttore, R_t indica la resistenza alla temperatura t , R_{20} è la resistenza ad una temperatura di riferimento di 20°C e α_{20} è la resistenza del coefficiente di temperatura per il materiale conduttore a 20°C .

Più specificatamente, durante il funzionamento nella condizione di stato stabile di un motore elettrico, dove un circuito di controllo del motore controlla la tensione applicata al motore elettrico al fine di mantenere una data corrente obiettivo, possono solitamente capitare due situazioni:

- la corrente obiettivo non è superiore alla corrente nominale e successivamente la temperatura dell'avvolgimento dello statore non aumenta poiché tutto il calore prodotto è scambiato con l'ambiente;

- la corrente obiettivo è superiore alla corrente nominale e successivamente la temperatura dell'avvolgimento dello statore aumenta poiché non tutto il calore prodotto è scambiato con l'ambiente. Ciò causa un aumento di resistenza dell'avvolgimento dello statore e di conseguenza aumenta la potenza immessa. L'ampiezza della corrente DC

nel motore è mantenuta costante tramite il circuito di controllo del motore, come conseguenza la tensione applicata al motore è aumentata per coprire le perdite.

Il monitoraggio della tendenza del valore di resistenza dell'avvolgimento dello statore stimato ad un punto di lavorazione determinato, specificatamente l'ampiezza costante della corrente di fase e la velocità costante del motore elettrico, è di conseguenza eseguito al fine di rilevare un aumento non irrilevante, ad es. tramite una percentuale definita, di questa resistenza originata da una corrente superiore alla corrente nominale.

La stima o rilevamento della resistenza dell'avvolgimento dello statore si può eseguire preferibilmente monitorando il valore di un coefficiente di modulazione della tensione applicata al motore elettrico, come meglio descritto nel dettaglio di seguito, e successivamente l'ampiezza della tensione di fase di riferimento.

In forme di attuazione variabili sono possibili altre procedure per la stima o rilevamento della resistenza dell'avvolgimento dello statore.

In forme di attuazione variabili la stima o rilevamento della resistenza dell'avvolgimento dello statore si può eseguire offline monitorando un ciclo di funzionamento della tensione applicata al motore elettrico.

In forme di attuazione variabili la stima o rilevamento della resistenza dell'avvolgimento dello statore si può eseguire utilizzando un cosiddetto algoritmo autocommissionato.

In forme di attuazione variabili la stima o rilevamento della resistenza dell'avvolgimento dello statore può comprendere la stima della potenza del motore

utilizzando i valori di tensioni di fase e correnti.

In aggiunta, la soluzione qui descritta in forme di attuazione variabili si può utilizzare per rilevare la corrente massima, cioè la corrente massima, I_{max} , che può fluire continuamente negli avvolgimenti dello statore senza danneggiare il motore elettrico.

Man mano che l'invecchiamento del motore elettrico causa una modifica delle caratteristiche elettromeccaniche del motore elettrico, quale un aumento della resistenza dell'avvolgimento dello statore che consente ancora al motore di lavorare ma con efficienza minore, la conoscenza della corrente di fase massima attuale può essere un importante indicatore di invecchiamento.

Per via di tale invecchiamento, per questa ragione, nel fornire lo stesso livello di corrente secondo la progettazione originale si possono verificare seri danni. Quando, secondo la domanda, è possibile limitare la corrente utilizzando il nuovo valore stimato, si può estendere la durata del motore. Altrimenti, si deve segnalare un guasto preventivo al fine di pianificare la sostituzione del motore.

Per monitorare il valore del coefficiente di modulazione m_a per rilevare la condizione di sovraccarico.

L'equazione che esprime la tensione di fase V_{phase} o V_{phase} , cioè le tensioni di fase, V_a , V_b , V_c , su una delle fasi a, b, c (nella seguente figura 2 indicate con i corrispondenti nodi di ingresso di fase del motore 11) del motore elettrico allo stato stabile è la seguente:

$$V_{phase} = R_s \cdot i_{phase} + \frac{d}{dt}(\varphi_{phase}) \quad (2)$$

dove R_s è la resistenza dello statore, i_{phase} la corrispondente corrente di fase e φ_{phase} il flusso

elettromagnetico della fase. Allo stato stabile il secondo termine della precedente equazione è costante, successivamente il seguente rapporto cambia solo con la resistenza dello statore R_s e può essere utilizzato per rilevare la tendenza della resistenza dello statore, R_s , utile per il rilevamento del sovraccarico.

$$V_{phase}/i_{phase} = f(R_s); \quad \frac{d}{dt}(\varphi_{phase}) = K = \text{costante}; \quad (3)$$

Poiché è noto tale secondo termine di costante K , allo stato stabile, la soluzione proposta può anche fornire la stima della resistenza dell'avvolgimento dello statore in aggiunta al suo rilevamento di tendenza:

$$R_s = \frac{i_{phase}}{V_{phase}} * (V_{phase} - K) \quad (4)$$

In figura 2 è mostrato in maggior dettaglio il sistema di motore elettrico 10 che comprende il motore elettrico a induzione trifase 11, che può essere un Motore Sincrono a Magnete Permanente o Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), o in forme di attuazione variabili può essere un tipo di motore diverso quale Motore a Riluttanza Commutata o Switched Reluctance Motor (SRM), Motore Passo-Passo o Stepper Motor, Motore DC o DC Motor, Motore a Riluttanza Sincrona o Synchronous Reluctance Motor (SynRM), ed un blocco 40 esemplificativo di ad es. un modulo di pilotaggio di motore configurato per pilotare il motore 11.

Sono note nella tecnica varie procedure di controllo del motore che si possono applicare per quello scopo: un cosiddetto controllo a orientamento di campo (FOC), un controllo sinusoidale così come un controllo di commutazione di passo possono essere esemplificativi di questi.

Il motore 11 è un motore elettrico trifase, nella

figura indicata con i corrispondenti nodi di ingresso di fase a , b , c , del motore 11, e l'invertitore di commutatore 12, che ha una struttura a ponte, di per sé nota, con commutatori lato alto e lato basso ha conseguentemente tre rami di ponte 12a, 12b, 12c, comprendenti un rispettivo commutatore lato alto, ad es. accoppiato al terminale di alimentazione di tensione, ed un commutatore lato basso, ad es. accoppiato al terminale di terra. Il raddrizzatore 14 estrae potenza dalla rete elettrica 13, qui non mostrato, fornendo la tensione DC v_{DC} sul condensatore di filtro 15, attraverso ciascun ramo 12a, 12b, 12c. Sui nodi a , b , c , rispettivamente collocati tra ciascun commutatore lato alto e commutatore lato basso dello stesso ramo, sono prese le rispettive tensioni di fase v_a , v_b , v_c che sono applicate al motore trifase 11.

L'invertitore 12 è controllato dal modulo di pilotaggio 40 secondo uno dei procedimenti di controllo sopra al fine di forzare al motore 11 la corrente richiesta secondo la condizione di carico meccanico, cioè coppia di carico T e velocità di rotore n , che si possono direttamente misurare o ottenere tramite le tensioni e correnti del motore, ad es. la forza contro elettromotrice è proporzionale alla velocità n e la coppia T è proporzionale alla quantità di corrente che fluisce attraverso il motore 11.

Un circuito logico di controllo del motore 20 è di conseguenza fornito nel modulo di pilotaggio 40 che comprende un modulatore PWM 26 per emettere un segnale di comando PWM PC agli elettrodi di controllo dei commutatori dell'invertitore 12, in particolare alle porte o gate del MOSFET che implementa tali commutatori. In forme di attuazione variabili i commutatori si possono implementare

tramite una diversa tecnica di transistore, ad es. essi possono essere transistori bipolari IGBT. Come mostrato, il circuito logico di controllo del motore 20, in un modo di per sé noto, implementa due anelli di controllo. Un primo anello prende la velocità del motore 11, o misurata o calcolata dalla contro EMF del motore 11, come velocità di retroazione n_{fdbk} , che è confrontata in un blocco di differenza 22 con una velocità di riferimento n_{ref} , che è la quantità di controllo. Il risultante errore di velocità, cioè la differenza $n_{ref}-n_{fdbk}$, è preso come ingresso in un primo modulo integrativo proporzionale (PI) 23 che emette una coppia di riferimento $T_{e.ref}$.

Un secondo anello comprende un modulo di calcolo della coppia 21, che riceve la corrente di fase i_a, i_b, i_c , presa sulle linee che applicano le tensioni di fase v_a, v_b, v_c , e calcola un valore di retroazione della coppia $T_{e.fdbk}$ della coppia del motore elettrico 11. In tale secondo anello il valore di retroazione della coppia $T_{e.fdbk}$ è confrontato in un secondo blocco di differenza 24 con la coppia di riferimento $T_{e.ref}$ e l'errore risultante, cioè la differenza $T_{e.ref}-T_{e.fdbk}$, è portata come ingresso in un secondo modulo integrativo proporzionale, che emette l'indice di modulazione m_a , che rappresenta l'ingresso del modulatore PWM 26 e controlla il ciclo di funzionamento del segnale PWM PC.

Come mostrato, è anche fornito nel sistema 10, specificatamente nel modulo di pilotaggio 40, che è preferibilmente una MCU (Unità di MicroControllore) implementata da microcontrollore o microprocessore, un modulo di rilevamento di sovraccarico 30, che comprende un sottomodulo di rilevamento di stato stabile 31, che riceve come ingresso la velocità e coppia di retroazione e che

valuta se i loro valori identificano una condizione di stato stabile. In caso affermativo un segnale di abilitazione EN emesso dal modulo di rilevamento di stato stabile 21 assume un valore, ad es. uno logico, adatto per abilitare il funzionamento di un successivo sottomodulo di rilevamento di sovraccarico 32, che riceve anche i valori dell'indice di modulazione m_a . Se, come meglio spiegato facendo riferimento al diagramma di flusso di figura 3, il sottomodulo di rilevamento di sovraccarico 32 è abilitato e rileva in tempo un aumento dei valori dell'indice di modulazione m_a , ad esempio sopra una data soglia, in particolare una percentuale di variazione quale il 25%, è emesso un segnale OS che segnala uno stato di sovraccarico. Il sottomodulo di rilevamento di sovraccarico 32 calcola e fornisce anche il valore della resistenza dell'avvolgimento dello statore R_s calcolato ad esempio tramite l'equazione (4).

In figura 3 è mostrato un diagramma di flusso che illustra una forma di attuazione 100 del procedimento di controllo del motore con un rilevamento di sovraccarico qui descritto, che si può implementare tramite il sistema di figura 2, che monitora un indice di modulazione.

Dopo un avvio 105 delle operazioni, il procedimento 100 fornisce in un passo 110 l'esecuzione di un rilevamento di una condizione di stato stabile del motore, cioè il rilevamento del carico e della velocità del motore 11. Come menzionato questo si può eseguire come nel sottomodulo 31 descritto facendo riferimento a figura 2, cioè prendendo i valori di velocità n e coppia T forniti al modulo di controllo 20 per il controllo del motore 11.

Successivamente è eseguito un passo di test 120, che controlla se una condizione stabile è abbinata, ad es. i

valori di coppia e velocità rientrano in un intervallo di valori o corrispondono a valori che definiscono una condizione di stato stabile. Sostanzialmente, monitorare l'errore di velocità può rappresentare un buon approccio, considerando che l'errore nel primo anello non sarà perfettamente uguale a zero ma oscillerà in una piccola banda incentrata sul valore zero. Inoltre, il monitoraggio della coppia può rappresentare un approccio valido, che si può utilizzare solo quando si implementa un controllo di coppia).

In caso negativo le operazioni 110, 120 sono ripetute, nel caso affermativo è eseguita un'operazione 130 di acquisizione dell'indice di modulazione m_a .

Se in un seguente test 140 si scopre che l'indice di modulazione m_a aumenta in modo monotonicamente e il motore 11 è ancora funzionante nello stato stabile come accertato dal test 120 (altrimenti anche il test 140 è disabilitato, ad es. tramite il segnale di abilitazione EN di figura 2 che passa allo stato logico basso) è successivamente eseguita un'operazione seguente 150 di entrata in uno stato di rilevamento di sovraccarico, ad esempio emettendo il segnale di stato di sovraccarico OS.

In figura 4 è mostrato il sistema di motore elettrico 10 in un'ulteriore configurazione di utilizzo, che corrisponde ad una condizione di funzionamento offline del motore 11. Il sistema di motore elettrico 10 è configurato in modo che il segnale di uscita, indicato in questo caso con PC', della logica di controllo del motore 20 nel modulo di pilotaggio 40, cioè l'uscita del modulo PWM 26, sia connesso solo al transistore di lato alto del primo ramo 12a comprenda solo il primo anello. Gli elettrodi di controllo dei commutatori di lato alto e lato basso del

terzo ramo 12a, ad es. i gate dei corrispondenti MOSFET, e il commutatore di lato alto del secondo ramo 12b sono mantenuti a basso livello, cioè i commutatori sono chiusi, ad esempio comandando la circuiteria della logica di controllo del motore 20 non mostrato in figura 4 per inviare tali livelli logici sulla linea già connessa agli elettrodi di controllo dei commutatori, o tramite un altro modulo di controllo. Allo stesso modo, il commutatore di lato basso del secondo ramo 12b è mantenuto aperto, inviando un livello di logica alta.

E' sottolineato che in figura 4 è indicata la stessa logica 20, come in figura 2, tuttavia, la logica di controllo si può incorporare tramite un diverso modulo di controllo e tramite diversi anelli di controllo nel modulo di pilotaggio 40. Allo stesso modo il modulo di pilotaggio 40 si può incorporare tramite un singolo microcontrollore o processore o sua funzione distribuita su una pluralità di microcontrollori o processori.

L'invertitore 12 è di conseguenza controllato al fine di forzare al motore 11 una corrente di motore I_a che fluisce attraverso due fasi, nell'esempio a e b, come mostrato dalle frecce più spesse. La logica è di lasciare aperto il ramo 12c, cioè aprire il ramo attraverso cui non fluisce la corrente DC i_a , fornire il segnale PWM PC' al commutatore di lato alto del ramo 12a, ad es. il ramo di ingresso, e chiudere il commutatore di lato basso del ramo 12b, ad es. il ramo di ritorno, attraverso cui circola a terra la corrente DC i_a .

La corrente del motore I_a è presa sulla a e portata come corrente del motore di retroazione $I_{a,fdk}$ alla logica di controllo del motore 20, in cui opera solo il secondo anello. Al blocco di differenza 24 è anche portato un

valore di corrente del motore di riferimento $I_{a, \text{ref}}$ e il modulo integrale proporzionale 25 alimenta il valore del ciclo di funzionamento D che comanda la tensione di fase $v_a = D \cdot v_{dc}$ applicata al primo ramo 12a, D essendo compreso tra 0 e 1.

In figura 5 è mostrato un diagramma di flusso che illustra una forma di attuazione alternativa 200 del procedimento di controllo del motore con un rilevamento del sovraccarico qui descritto, che è eseguito offline e comprende operazioni per il rilevamento della corrente massima, che si possono implementare tramite il sistema 10 nella configurazione di figura 4.

Dopo un avvio 205 delle operazioni, il procedimento 200 fornisce in un passo 210 l'esecuzione di una regolazione della corrente del motore I_a mostrata in figura 4, utilizzando la configurazione della figura 4 del sistema 10 e del controllo 20, mentre il motore è in stasi, poiché la corrente DC, come mostrato in figura 4 fluisce in due avvolgimenti e il motore non può ruotare).

Successivamente in un passo 220 è fornito il rilevamento di una condizione di stato stabile del motore, ad esempio tramite il modulo 31 di figura 2. Preferibilmente per rilevare la condizione di stato stabile è monitorata la corrente di fase, che è una quantità la cui misura è generalmente disponibile in motori multifase. in ogni caso misurata.)

Successivamente è eseguito un test 230, che controlla se è abbinata una condizione stabile.

In caso negativo le operazioni 220, 230 sono ripetute, nel caso affermativo è eseguita un'operazione 240 di acquisizione del valore del ciclo di funzionamento D della sola tensione di fase v_a .

In un successivo test 250 si verifica se si scopre che il ciclo di funzionamento D aumenta in modo monotonicamente e che la corrente DC forzata, cioè la sola corrente del motore i_a , è ancora costante.

In caso negativo, il controllo ritorna al passo 210 dove l'ampiezza della corrente di fase è aumentata di una quantità fissa, cioè la corrente di riferimento $I_{a.ref}$ è aumentata di una quantità fissa.

Nel caso affermativo, cioè si scopre che il ciclo di funzionamento D aumenta in modo monotonicamente e che la corrente DC forzata i_a è ancora costante, si esegue successivamente una successiva operazione 260 di entrata in uno stato di rilevamento di sovraccarico, ad esempio emettendo il segnale di stato di sovraccarico OS, ed acquisendo come corrente massima I_{max} l'ultimo valore preso dalla corrente DC i_a prima della verifica della condizione 250.

Le soluzioni qui descritte hanno di conseguenza significativi vantaggi rispetto alle soluzioni note.

La soluzione descritta consente di rilevare la condizione di sovraccarico del motore, durante il normale funzionamento a carico e velocità costanti.

La soluzione descritta consente il rilevamento della corrente di fase massima del motore che può fluire continuamente nell'avvolgimento dello statore, permettendo così di eseguire una caratterizzazione del motore in considerazione dell'invecchiamento del motore.

La soluzione descritta consente in generale di ottimizzare la tecnica di controllo mantenendo l'efficienza nominale secondo la variazione dei parametri del motore, impedendo un serio danno al motore, rilevando un eccessivo declassamento del motore e pianificando una sostituzione

secondo la domanda.

Più specificatamente, la soluzione descritta consente di ridurre i costi poiché non è richiesto il rilevamento termico e sono utilizzati i sensori di corrente e tensione (tensione di collegamento DC o trifase del motore) richiesti per il controllo del motore.

Tutti i calcoli e misurazioni richiesti sono eseguiti utilizzando la stessa MCU utilizzata per controllo del motore.

Naturalmente, senza pregiudizio per il principio dell'invenzione, i dettagli di costruzione e le forme di attuazione possono ampiamente variare rispetto a ciò che è stato qui descritto ed illustrato a titolo puramente di esempio, senza così discostarsi dall'ambito della presente invenzione, come definito dalle successive rivendicazioni.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento di controllo (100, 200) di un motore elettrico multifase (11) comprendente un avvolgimento dello statore che comprende rilevare (100, 200) una condizione di sovraccarico (OS) di detto motore elettrico multifase (11), detto controllo (100, 200) comprendendo regolare una corrente che fluisce (i_a , i_b , i_c) nel motore elettrico multifase (11) controllando una tensione tensione multifase (v_a , v_b , v_c) applicata al motore (11) attraverso un invertitore di modalità di commutazione (12) pilotato da un segnale modulato di controllo (PC), in particolare un segnale modulato a larghezza di impulso,

caratterizzato da

monitorare (140, 250) un aumento termico del valore di una resistenza di statore dell'avvolgimento dello statore del motore elettrico multifase (11) durante una condizione di stato stabile di detto motore elettrico multifase (11) in cui la corrente (i_a , i_b , i_c) che fluisce in detto motore elettrico (11) ha fase costante, in particolare a carico costante, e la velocità costante del motore (11).

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1 in cui il monitoraggio (100) di un aumento termico del valore di una resistenza di statore include monitorare (140) un indice di modulazione (m_a) della tensione della tensione multifase (v_a , v_b , v_c) applicata al motore (11).

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 in cui il monitoraggio (200) di un aumento termico del valore di una resistenza di statore comprende monitorare un ciclo di funzionamento (D) della tensione della tensione multifase (v_a) applicata al motore (11).

4. Procedimento secondo la rivendicazione 1 in cui il monitoraggio di un aumento termico del valore di una

resistenza di statore comprende stimare la resistenza con un algoritmo autocommissionato.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 1 in cui il monitoraggio di un aumento termico del valore di una resistenza di statore include calcolare/stimare la potenza del motore utilizzando le tensioni di fase e correnti.

6. Procedimento secondo la rivendicazione 2 in cui detto monitoraggio (100) di un indice di modulazione (m_a) comprende

rilevare (120, 130) durante il funzionamento del motore (11) una condizione di stato stabile del motore elettrico (11)

monitorare (140) l'indice di modulazione (m_a)

verificare (150) se un aumento monotonicamente dell'indice di modulazione (m_a) si verifica mentre il motore (11) è in condizione di stato stabile per entrare in uno stato di rilevamento di sovraccarico (OS).

7. Procedimento secondo la rivendicazione 5 comprendente rilevare una condizione di stato stabile (120, 130) del motore (11) in funzione della velocità e coppia del motore (11).

8. Procedimento secondo la rivendicazione 5 comprendente, dopo detto passo di verifica (150), misurare il valore di resistenza dello statore (R_s).

9. Procedimento secondo la rivendicazione 3, comprendente

a) regolare la corrente DC (I_a) nel motore mentre si è in una condizione di stasi;

b) rilevare una condizione di stato stabile del motore (11);

c) monitorare un ciclo di funzionamento (D) di una tensione applicata al lato alto di un primo ramo (12a) di

un invertitore di modalità di commutazione (12), mantenendo al contempo aperti i commutatori degli altri rami (12b, 12c) ad eccezione di uno dei commutatori di lato basso di detti altri rami (12b, 12c), che è mantenuto chiuso,

d) verificare (250) se un aumento monotonicamente del ciclo di funzionamento (D) si verifica mentre il motore (11) è in condizione di stato stabile per entrare in uno stato di sovraccarico (OS).

e) se il motore (11) non è in una condizione stabile ripetere i passi a-d aumentando la corrente (I_a) di una quantità fissa;

f) acquisire come corrente massima l'ultimo valore di corrente prima della verifica della condizione d).

10. Dispositivo di pilotaggio (40) per motori elettrici multifase (11) comprendente un avvolgimento dello statore che comprende un modulo (30) configurato per rilevare (100, 200) una condizione di sovraccarico (OS) di detto motore elettrico multifase (11) e almeno un modulo (20) configurato per regolare una corrente che fluisce (i_a , i_b , i_c) nel motore elettrico multifase (11) controllando una tensione multifase (v_a , v_b , v_c) applicata al motore (11) attraverso un invertitore di modalità di commutazione (12) pilotato da un segnale modulato di controllo (PC), in particolare un segnale modulato a larghezza di impulso,

caratterizzato dal fatto che detto modulo di rilevamento (30) è configurato per monitorare (140, 250) un aumento termico del valore di una resistenza di statore dell'avvolgimento dello statore del motore elettrico multifase (11) durante una condizione di stato stabile di detto motore elettrico multifase (11) in cui la corrente (i_a , i_b , i_c) che fluisce in detto motore elettrico (11) ha fase costante, in particolare a carico costante, e la

velocità costante del motore (11).

11. Dispositivo secondo la rivendicazione 9 in cui detto modulo di rilevamento (30) comprende

un modulo di rilevamento di stato stabile (31) configurato per rilevare (120, 130) durante il funzionamento del motore (11) una condizione di stato stabile del motore elettrico (11) in funzione della coppia e velocità di detto motore elettrico (11),

un modulo di monitoraggio (32) configurato per monitorare (140) l'indice di modulazione (m_a) e per verificare (150) se un aumento monotono dell'indice di modulazione (m_a) si verifica mentre il motore (11) è indicato (EN) in condizione di stato stabile tramite il modulo di rilevamento di stato stabile (31) per entrare in uno stato di rilevamento di sovraccarico (OS), e in particolare per misurare anche un valore di resistenza dello statore (R_s).

12. Dispositivo secondo la rivendicazione 10, comprendente un modulo (20) configurato per

a) regolare la corrente DC (i_a) nel motore mentre si è in una condizione di stasi;

un modulo di rilevamento di stato stabile (31) configurato per

b) rilevare (120, 130) durante il funzionamento del motore (11) una condizione di stato stabile del motore elettrico (11) in funzione della coppia e velocità di detto motore (11),

detto dispositivo essendo configurato per

c) monitorare un ciclo di funzionamento (D) di una tensione applicata al lato alto di un primo ramo (12a) di un invertitore di modalità di commutazione (12), mantenendo al contempo aperti i commutatori degli altri rami (12b,

12c) ad eccezione di uno dei commutatori di lato basso di detti altri rami (12b, 12c), che è mantenuto chiuso,

d) verificare (250) se un aumento monotonicò del ciclo di funzionamento (D) si verifica mentre il motore (11) è in condizione di stato stabile per entrare in uno stato di sovraccarico (OS),

e) se il motore (11) non è in una condizione stabile ripetere i passi a-d aumentando la corrente di una quantità fissa;

d) se il motore (11) è in una condizione stabile acquisire come corrente massima l'ultimo valore di corrente prima della verifica della condizione d).

13. Sistema di motore elettrico (11) comprendente un motore elettrico multifase (M) accoppiato con un dispositivo di pilotaggio secondo qualsiasi delle rivendicazioni 10 a 12.

14. Prodotto informatico direttamente caricabile nella memoria interna di un computer digitale, comprendente porzioni di codice software per eseguire i passi del procedimento secondo qualsiasi delle rivendicazioni 10 a 12.

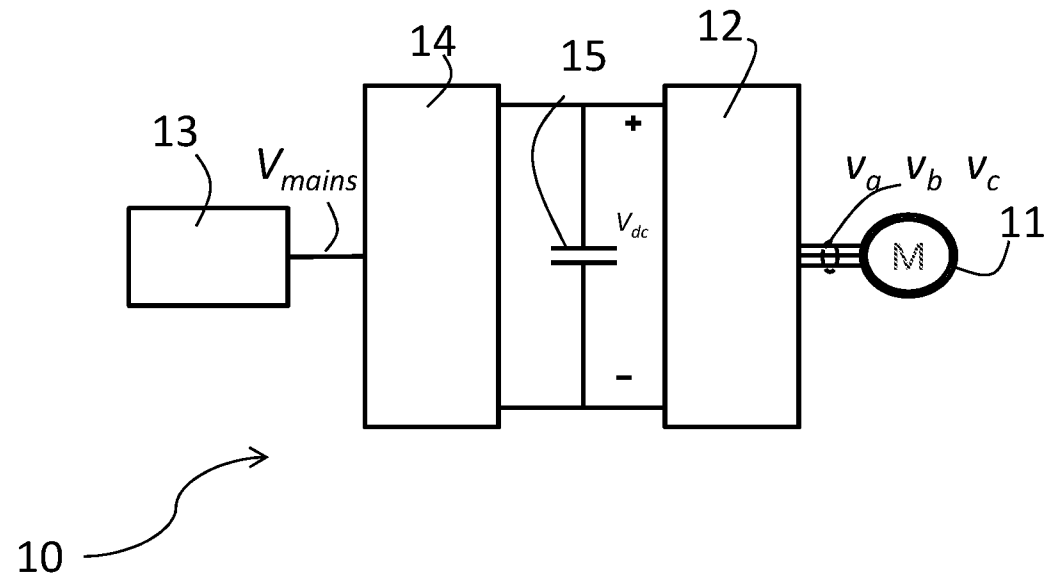
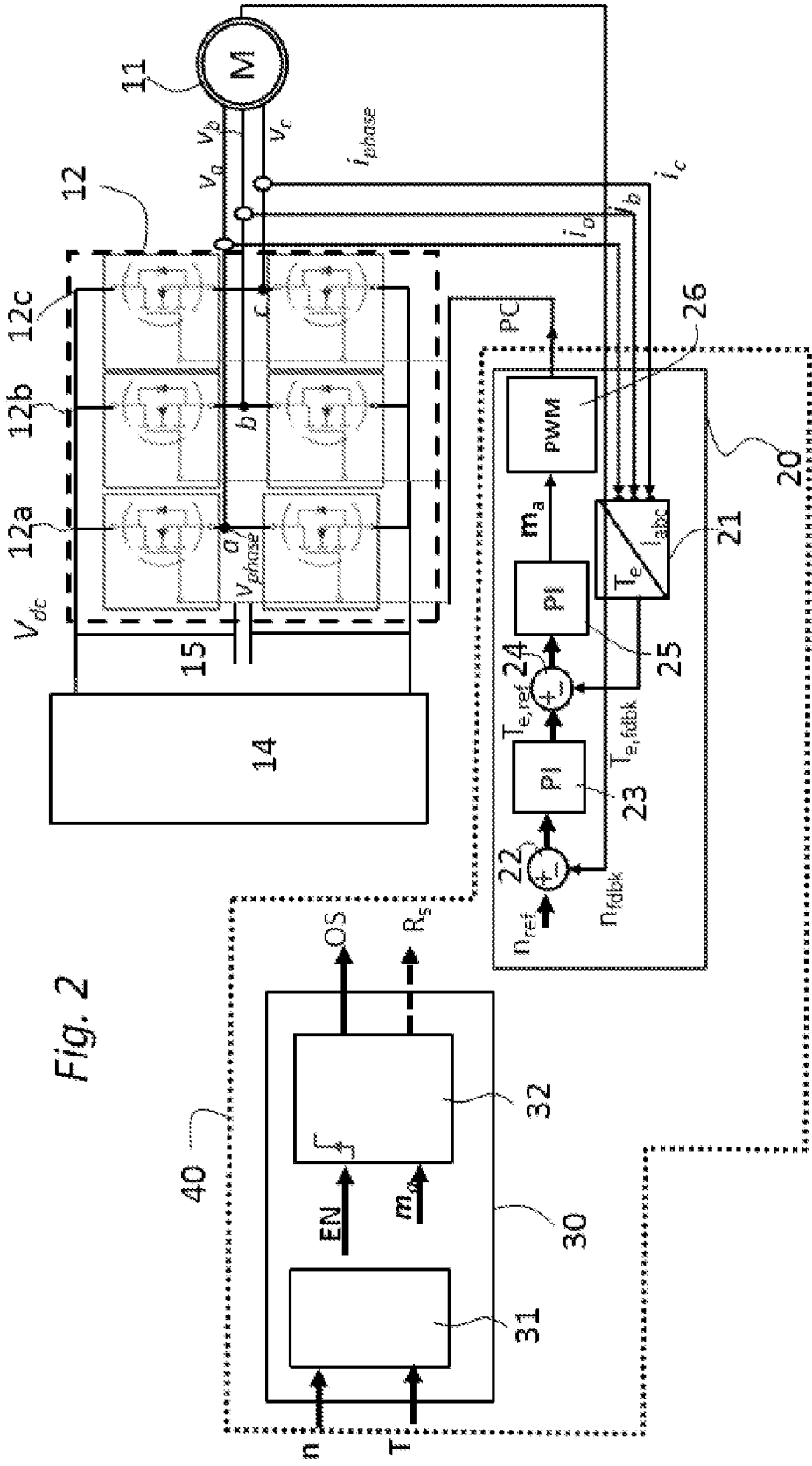


Fig. 1

Fig. 2



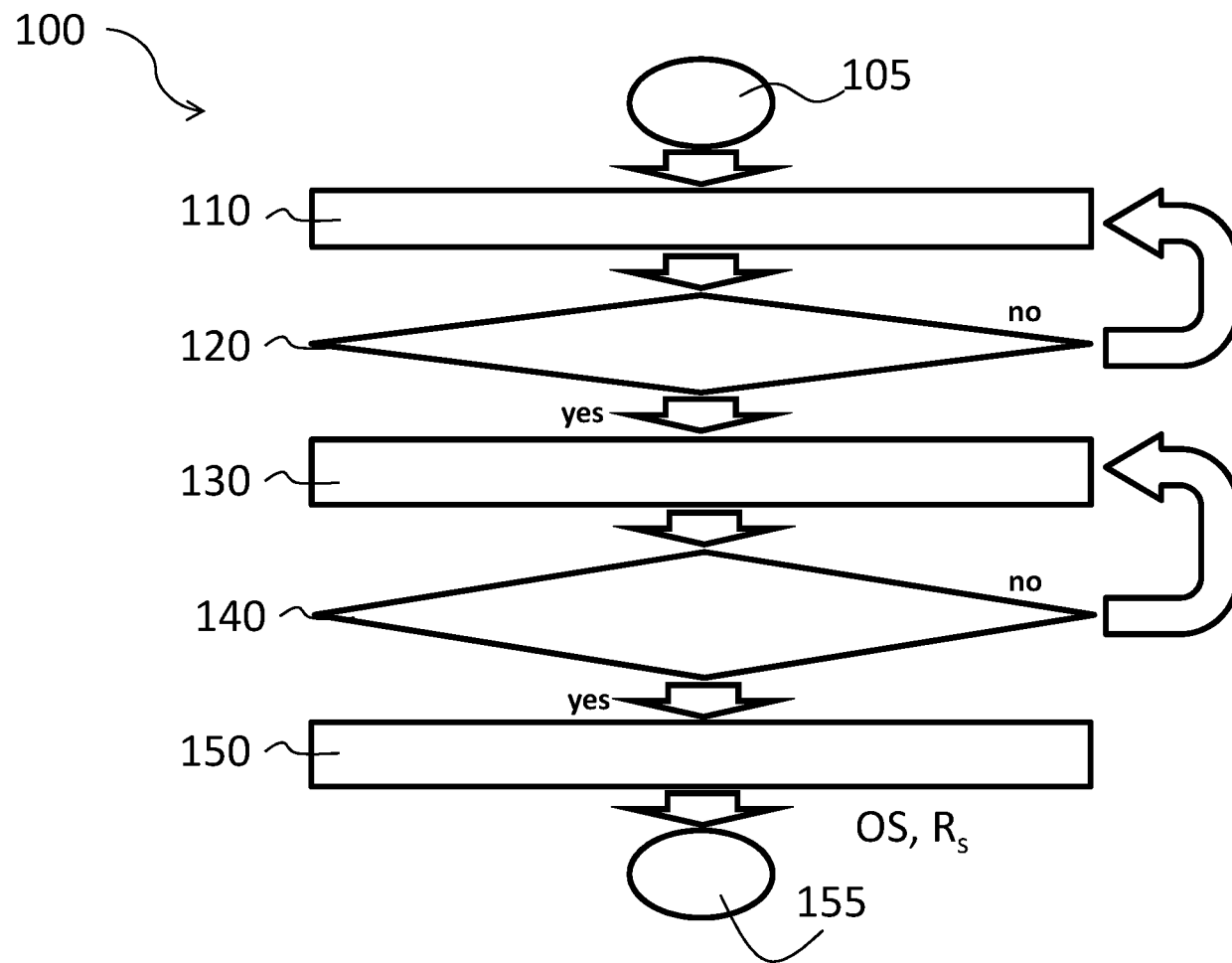


Fig. 3

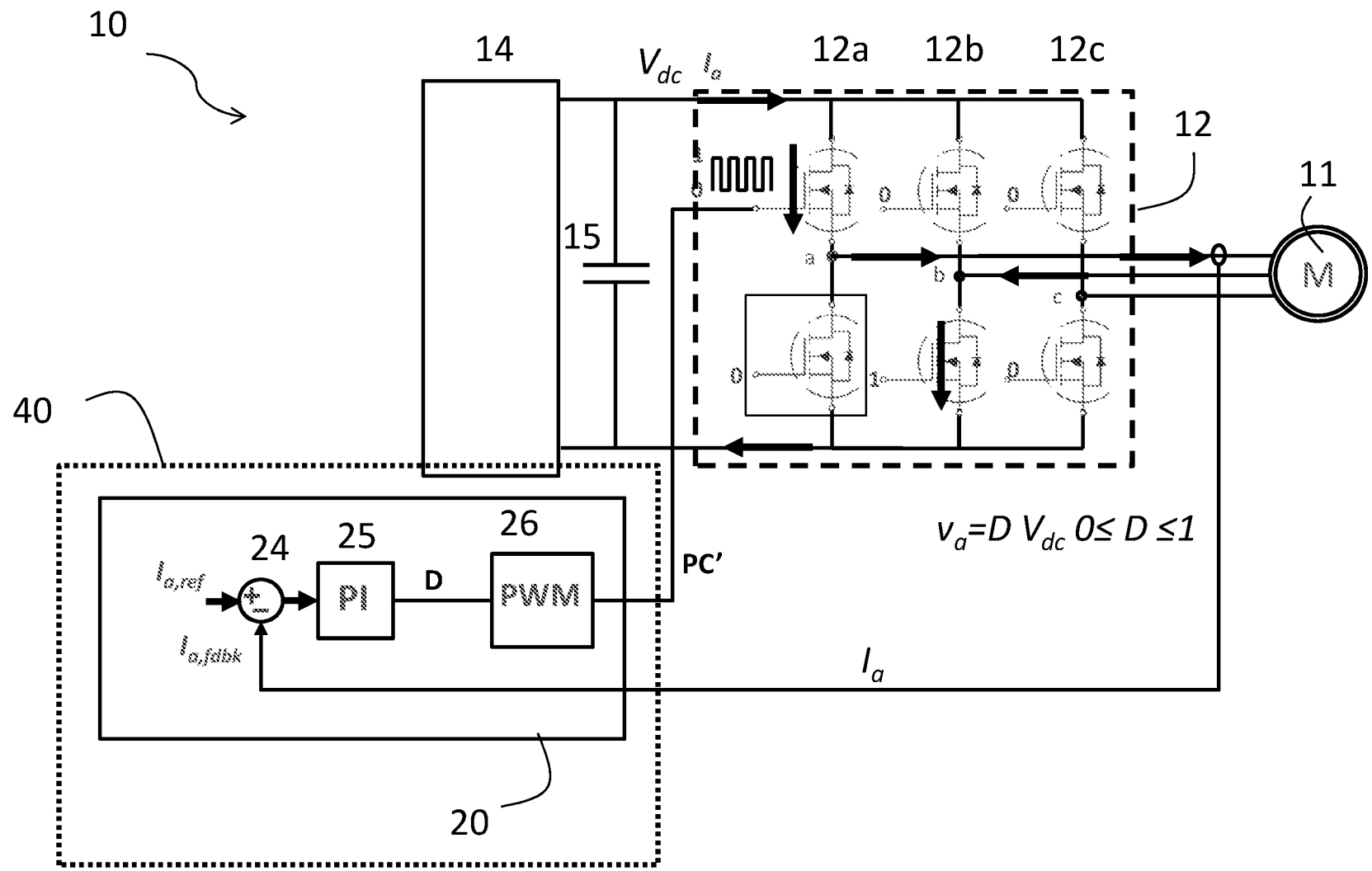


Fig. 4

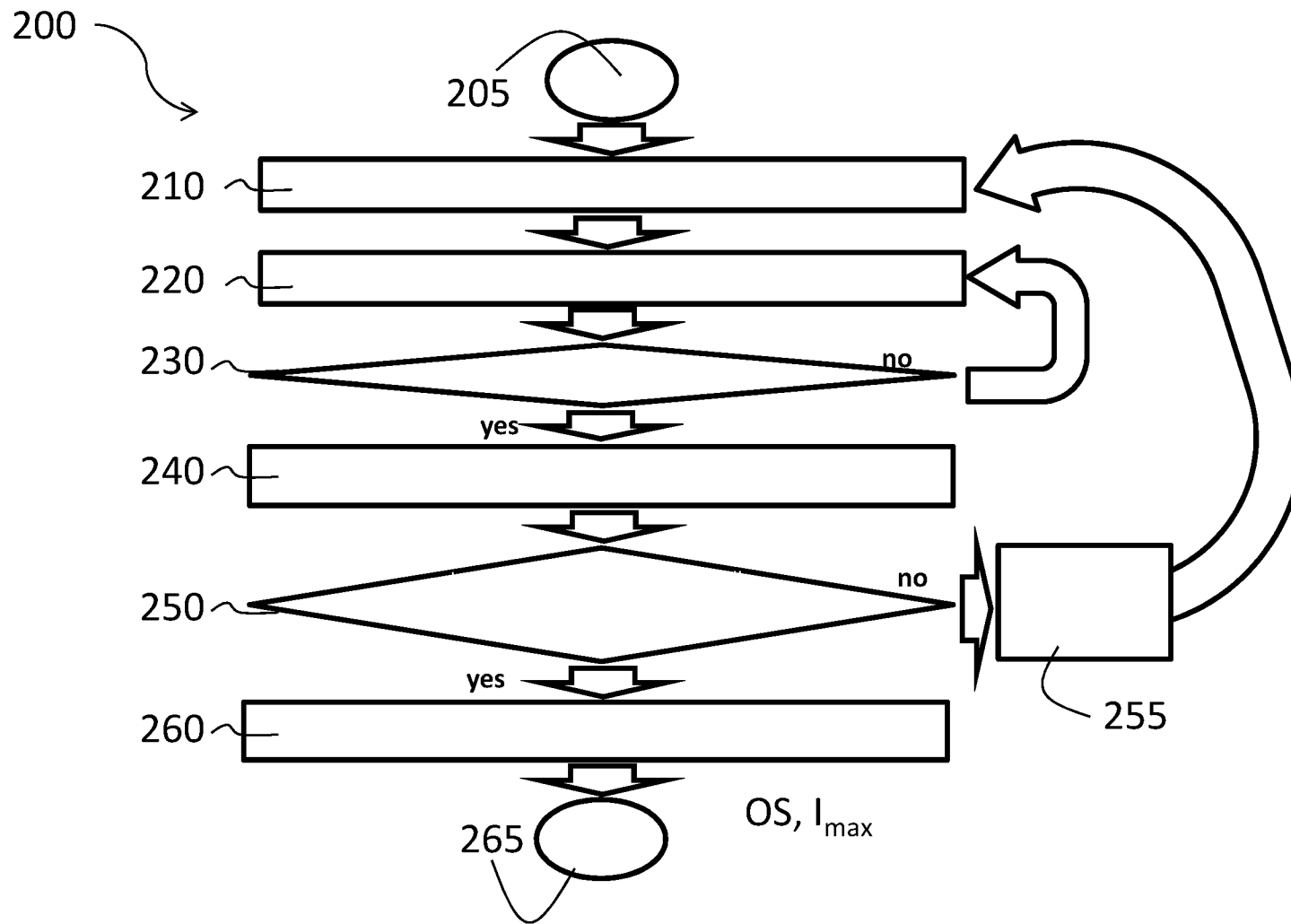


Fig. 5