

Correnti dei cuscinetti

I cinque punti principali

1. Le correnti dei cuscinetti derivano dall'uso di convertitori di frequenza (CF) nei sistemi di azionamento elettrici e possono portare a guasti prematuri dei cuscinetti.
2. Le correnti dei cuscinetti e le misure preventive devono essere considerate sin dalla fase di progettazione dei sistemi di azionamento con convertitore di frequenza.
3. Ci sono tre tipi di corrente dei cuscinetti:
 - Correnti di dispersione
 - Correnti circolanti dei cuscinetti
 - Correnti di terra del rotore
4. Possibili misure di prevenzione per evitare le correnti dei cuscinetti:
 - In generale: garantire una buona messa a terra ad alta frequenza
 - I cavi motore simmetrici e schermati (trifase) impediscono le correnti di terra del rotore.
 - Utilizzo di cuscinetti speciali (ibridi, ceramici e isolati)
 - Uso di spazzole per la messa a terra dell'albero, di bobine di arresto di modo comune o di filtri
5. Le correnti dei cuscinetti possono essere registrate indirettamente, ma la misura diretta non è possibile.

Premesse

Utilizzando i convertitori di frequenza, il consumo energetico dei sistemi di azionamento elettrici può essere in molti casi ridotto. Per questo motivo, i convertitori di frequenza vengono utilizzati più frequentemente nei sistemi di azionamento con carichi variabili. Proprio a causa del loro utilizzo, tuttavia, nei motori elettrici possono crearsi correnti indesiderate nei cuscinetti, che possono portare a danni ai cuscinetti e a guasti prematuri.

Introduzione

È ormai noto da molto tempo che le correnti dei cuscinetti nei motori elettrici possono portare a guasti improvvisi. Ci sono fondamentalmente tre diverse categorie di correnti dei cuscinetti:

1. Correnti causate da campi magnetici asimmetrici del motore.
2. Correnti causate dal carico azionato dal motore (ad es. dalla carica elettrostatica della macchina azionata).
3. Correnti dei cuscinetti che si creano con l'utilizzo di convertitori di frequenza.

Le prime due categorie sono già state ampiamente analizzate e ci sono diverse misure per prevenirle. Pertanto, questa scheda tematica tratta solo le correnti dei cuscinetti che derivano dall'utilizzo di convertitori di frequenza con circuito intermedio di tensione.

Danni causati dalle correnti dei cuscinetti

La causa delle correnti dei cuscinetti in un motore elettrico è sempre una tensione elettrica applicata attraverso il cuscinetto del rotore. Elettricamente, il cuscinetto si comporta come un condensatore durante il normale funzionamento del motore; il film lubrificante forma il dielettrico. Se la tensione del cuscinetto supera un certo valore di soglia, si crea

Principi fondamentali

una scarica elettrica e di conseguenza potrebbero defluire correnti locali molto elevate attraverso il cuscinetto.

Se la densità di corrente (intensità di corrente per unità di superficie) è sufficientemente alta, il metallo nell'anello del cuscinetto può essere fuso o addirittura evaporare. In questo modo si formano innumerevoli piccoli crateri. Dopo un certo periodo, nell'anello del cuscinetto appare una tipica traccia grigia o addirittura delle ondulazioni. Anche il lubrificante può essere alterato dalle correnti dei cuscinetti. Entrambe le condizioni possono portare a una precoce rottura dei cuscinetti.



Figura 1: I due tipici modelli di danno causati dalle correnti dei cuscinetti; a sinistra: traccia grigia, a destra: formazione di ondulazioni.

Tensione di modo comune

Le correnti dei cuscinetti generate dall'utilizzo del convertitore di frequenza sono sempre dovute alla tensione di modo comune.

Durante il funzionamento di rete la somma delle tensioni trifase sul motore è sempre pari a zero. Tuttavia, questo non è più il caso di un convertitore di frequenza convenzionale, poiché in un convertitore di frequenza con un circuito intermedio sono disponibili solo tensioni discrete e stati di commutazione. La figura 3 mostra un esempio della curva temporale della tensione di modo comune di un convertitore di frequenza a due stadi su un periodo di rete.

Questa tensione di modo comune è presente al di sopra delle capacità parassite del motore ed è la fonte delle correnti dei cuscinetti. Sia il livello della tensione di modo comune che la rapidità di variazione della tensione possono influenzare le correnti dei cuscinetti.

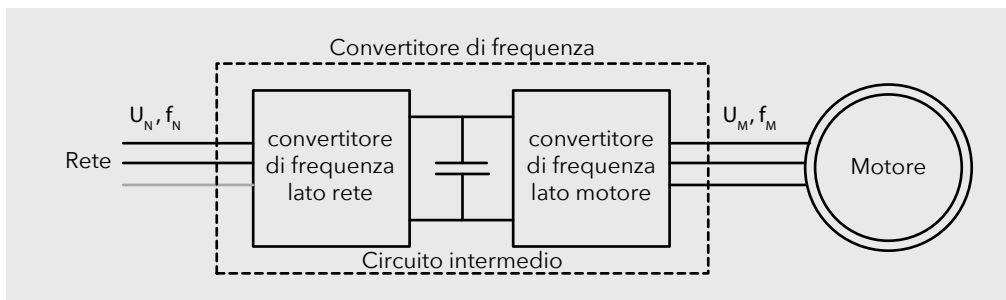


Figura 2: Convertitore di frequenza con circuito intermedio di tensione e motore (scheda tematica 25) con le tensioni di fase.

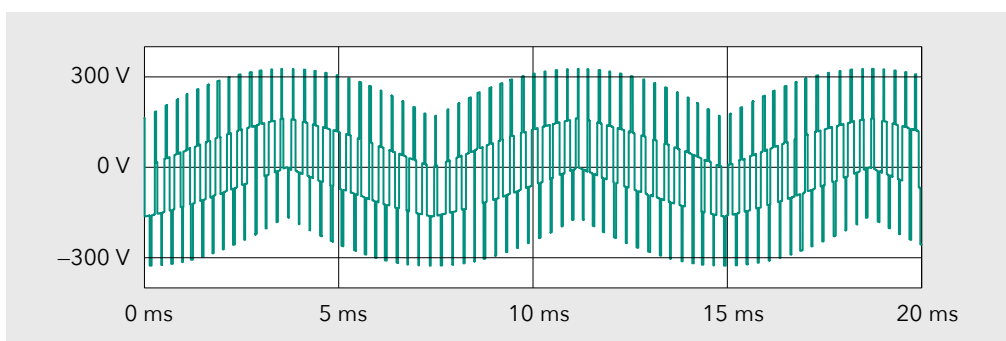


Figura 3: Percorso temporale della tensione di modo comune su un periodo di rete.

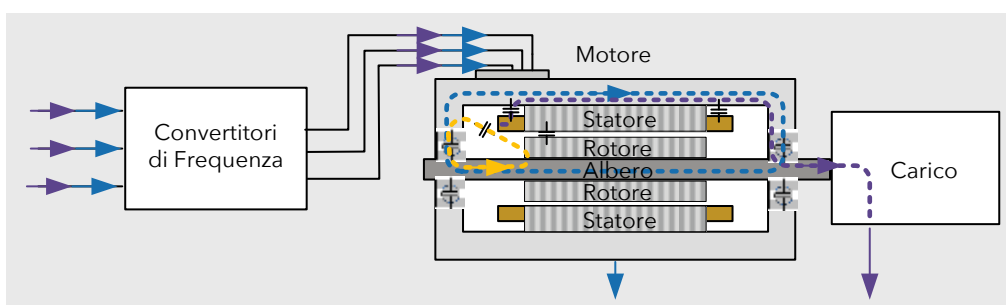


Figura 4: Percorsi delle correnti dei cuscinetti. Giallo: Correnti di dispersione dei cuscinetti. Blu: Correnti circolanti nei cuscinetti. Viola: Correnti di terra del rotore.

Correnti dei cuscinetti condizionate dal convertitore di frequenza

Le correnti dei cuscinetti generate dalla tensione di modo comune possono essere suddivise in diversi tipi (figura 4). Questa suddivisione è importante perché le contromisure sono diverse per ogni tipo. I seguenti tre tipi di corrente dei cuscinetti possono essere problematici:

- Correnti di dispersione dei cuscinetti (giallo)
- Correnti circolanti dei cuscinetti (blu)
- Correnti di terra del rotore (viola)

Correnti di dispersione dei cuscinetti

La tensione di modo comune viene condotta a terra attraverso varie capacità. In sintonia con la suddivisione di tensione, parte della tensione di modo comune si scarica anche attraverso il cuscinetto. La tensione dei cuscinetti per i motori normali è circa il 5% della tensione di modo comune ed è quindi determinata dal livello della tensione differenziale. In caso di scarica elettrica nel cuscinetto, l'energia immagazzinata nelle capacità parassite viene convogliata nel cuscinetto. L'ampereaggio delle correnti di dispersione spesso non dipende dalla dimensione del motore. Tuttavia, poiché i piccoli motori hanno cuscinetti più piccoli, la densità di corrente e quindi la dannosità di scarica delle correnti dei cuscinetti è di solito notevolmente maggiore per i motori piccoli.

Correnti circolanti dei cuscinetti

L'alimentazione del convertitore di frequenza crea un flusso magnetico circolare intorno all'albero, che cambia ad alta frequenza. Questo comporta una tensione tra le estremità dell'albero e si formano tensioni differenziali sui due cuscinetti. Per un determinato azionamento, la forza delle correnti dei cuscinetti è quindi determinata dalla ripidità della variazione di tensione. Nei motori piccoli, gli alberi sono normalmente così corti che le tensioni sono sufficientemente basse e non si verificano correnti dannose per i cuscinetti.

Correnti di terra del rotore

Se l'alloggiamento del motore non è correttamente collegato alla messa a terra, si crea un ulteriore pericolo. Se l'impedenza di messa a terra attraverso l'albero e la macchina azionata è notevolmente inferiore alla messa a terra dell'alloggiamento, una parte della corrente di modo comune fluisce come corrente di terra del rotore dall'alloggiamento attraverso il percorso «cuscinetto del motore - accoppiamento - cuscinetto del carico», danneggiando così i cuscinetti. Questo tipo di corrente del cuscinetto può verificarsi con motori di qualsiasi dimensione. Per un determinato azionamento, la forza delle correnti dei cuscinetti è determinata dalla ripidità della variazione di tensione.

In linea di massima, tutte queste considerazioni elencate possono essere riassunte in questo modo:

- Le correnti di dispersione possono verificarsi con tutte le grandezze del motore. Tuttavia, esse sono dannose soprattutto nei motori di piccole e medie dimensioni (fino a circa 75 kW).
- Le correnti circolanti dei cuscinetti si verificano soprattutto nei motori di medie e grandi dimensioni (a partire da ca. 100 kW).
- Le correnti di terra del rotore possono sempre verificarsi quando il rotore è messo a terra attraverso il carico e allo stesso tempo l'alloggiamento del motore non è messo a terra correttamente. Quando si utilizzano cavi schermati con buoni collegamenti sul lato del convertitore di frequenza e sul lato motore, non dovrebbero verificarsi correnti di terra del rotore.

Misurazioni

Quando si generano le correnti dei cuscinetti, quale tipo di corrente si genera e se queste sono dannose dipende da molti fattori. È quindi talvolta indispensabile misurare in loco la presenza di correnti dei cuscinetti. Le correnti dei cuscinetti non possono essere misurate direttamente, ma possono essere registrate indirettamente in vari modi.

Misurazione delle vibrazioni

Vibrazioni e rumori sono spesso le prime indicazioni della presenza di correnti dannose per i cuscinetti. I sensori di vibrazione e sofisticate valutazioni consentono di rilevare i danni ai cuscinetti in modo relativamente precoce. In questo modo, tuttavia, le correnti dei cuscinetti vengono rilevate solo quando il danno è già presente.

Misurazione della tensione tra l'albero e l'alloggiamento

La tensione tra l'albero e l'alloggiamento corrisponde alla tensione che attraversa il cuscinetto. Questa tensione può essere misurata per mezzo di spazzole e offre una buona opportunità di rilevare le correnti dei cuscinetti. Senza correnti del cuscinetto, la curva di tensione sul cuscinetto corrisponde alla curva della tensione di modo comune, per cui per i comuni motori la tensione del cuscinetto è circa 20 volte inferiore alla tensione di modo comune.

Quando si generano correnti di dispersione dei cuscinetti, dopo il cambio di tensione, la tensione dei cuscinetti diminuisce. Un calo improvviso della tensione dei cuscinetti indica quindi una dispersione di corrente dei cuscinetti (figura 5).

Con le correnti circolanti dei cuscinetti e le correnti di terra del rotore, la scarica elettrica nel cuscinetto avviene direttamente durante il processo di commutazione. Tuttavia, la tensione del cuscinetto non scende a zero, poiché, anche dopo la scarica elettrica, la corrente continua a circolare attraverso il cuscinetto o nel motore. L'alta tensione, appena prima della scarica elettrica, è presente solo per un tempo relativamente breve. Pertanto, a seconda dell'impostazione dell'oscilloscopio, la tensione dei cuscinetti può risultare ridotta nonostante le correnti dei cuscinetti. In ogni caso, la forma della tensione del cuscinetto indica chiaramente le correnti del cuscinetto.

Lo svantaggio di questo tipo di misurazione è che l'albero deve essere accessibile. Occorre anche fare attenzione ad utilizzare un oscilloscopio adeguato, a causa delle variazioni di tensione relativamente rapide.

La figura 6 mostra ancora una volta chiaramente che il solo valore effettivo della tensione del cuscinetto non permette di fare alcuna considerazione sulle correnti del cuscinetto. Non è consentito pertanto eseguire misurazioni con i multimetri, e solo la curva temporale della tensione del cuscinetto indica la presenza di correnti del cuscinetto.

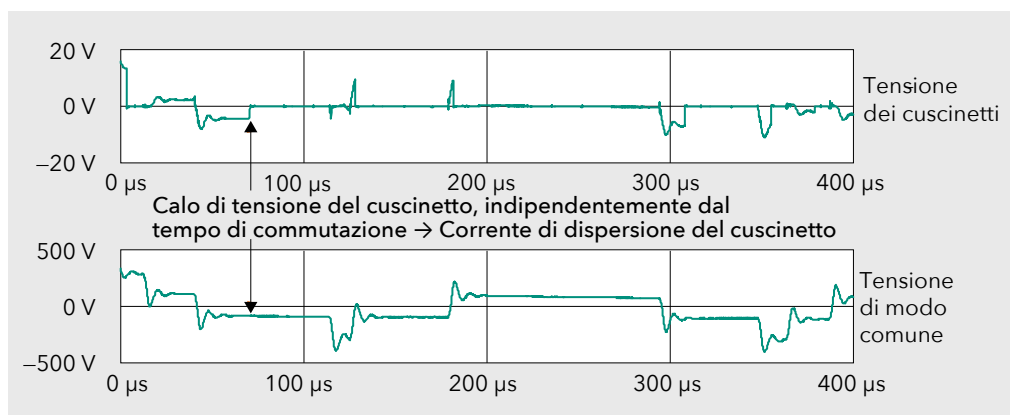


Figura 5: Percorso della tensione del cuscinetto (in alto) e della tensione di modo comune (in basso) in presenza di correnti di dispersione del cuscinetto.

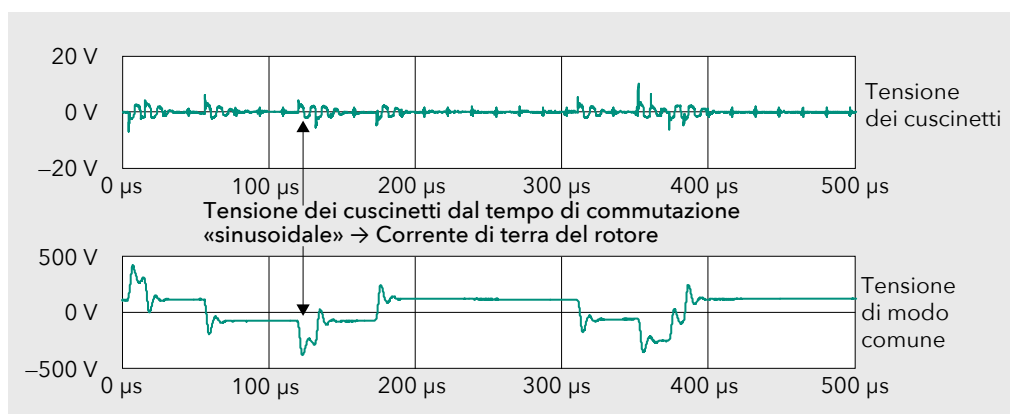


Figura 6: Percorso della tensione dei cuscinetti (in alto) e tensione di modo comune (in basso) in presenza di correnti di terra del rotore.

Misurazione della corrente di modo comune

In molti casi, la misurazione della corrente di modo comune viene utilizzata per rilevare le correnti dei cuscinetti.

Le correnti di dispersione dei cuscinetti sono una dispersione nel motore. Tuttavia, questa corrente di dispersione non è visibile come corrente di modo comune. Pertanto, non si può affermare la presenza di correnti di dispersione misurando la corrente di modo comune.

Le correnti circolanti dei cuscinetti e le correnti di terra del rotore, tuttavia, sono proporzionalmente visibili nella corrente di modo comune. Poiché questa proporzione dipende da moltissimi fattori, è difficile fare una dichiarazione sul livello effettivo delle correnti dei cuscinetti. Inoltre, una corrente di modo comune può generarsi anche senza correnti dei cuscinetti. Con una corrente di modo comune molto bassa si può ipotizzare che non si generano correnti circolanti dannose e non si generano correnti di terra del rotore dannose. Inoltre, l'efficacia delle contromisure può essere valutata molto bene misurando la corrente di modo comune prima e dopo l'applicazione della misura preventiva.

Misurazione dell'energia di dispersione ad alta frequenza

Ogni scarica nel cuscinetto genera anche radiazioni di energia ad alta frequenza. Poiché l'energia irradiata dipende dalle dimensioni del cuscinetto ed è quindi piccola nei piccoli motori, il rilevamento può essere difficile. Il vantaggio della misurazione dell'energia di dispersione ad alta frequenza (misurazione HF) è la misurazione senza contatto e quindi molto comoda da eseguire con una sonda HF.

Contromisure

Esistono diverse contromisure per le correnti dei cuscinetti dannose. Se le contromisure sono efficaci, o come devono essere scelte, dipende ancora una volta dal tipo di corrente dei cuscinetti. In generale, si raccomanda una buona messa a terra ad alta frequenza.

Cavi motore simmetrici e schermati

L'uso di cavi motore simmetrici e schermati con lo schermo collegato ad entrambe le estremità fornisce un'ottima protezione contro le correnti di terra del rotore. Rispetto ad altre contromisure, questi cavi hanno l'ulteriore vantaggio di proteggere anche il carico.

L'uso di cavi simmetrici e schermati non ha un'influenza significativa sulle correnti circolanti e sulle correnti di dispersione dei cuscinetti.

Altre misure che possono prevenire le correnti di terra del rotore e allo stesso tempo proteggere il carico sono l'uso di accoppiamenti isolati e l'installazione di un buon collegamento ad alta frequenza tra l'alloggiamento e il carico azionato. Anche queste misure non hanno alcun effetto sugli altri tipi di corrente dei cuscinetti.

Cuscinetti

L'utilizzo di cuscinetti speciali impedisce le scariche elettriche nei cuscinetti anche con una tensione più elevata. Cuscinetti ibridi, ceramici e isolati con rivestimento interno sono ormai particolarmente apprezzati.

■ **Correnti di dispersione:** entrambi i cuscinetti devono essere ibridi o in ceramica. I cuscinetti isolati non impediscono le correnti di dispersione. È anche possibile utilizzare cuscinetti con lubrificazione speciale (bassa resistenza). Tuttavia, questi cuscinetti impediscono solo le correnti di dispersione e non sono raccomandati a causa della mancanza di esperienza pluriennale.

■ **Correnti circolanti dei cuscinetti:** è sufficiente utilizzare un cuscinetto ibrido, in ceramica o isolato; preferibilmente non sul lato motore (NDE - non-drive end).

■ **Correnti di terra del rotore:** entrambi i cuscinetti devono essere cuscinetti ibridi, ceramici o isolati.

Spazzole per la messa a terra dell'albero

Quando si utilizzano spazzole per la messa a terra dell'albero, occorre garantire un buon contatto a bassa resistenza tra spazzola e albero.

- **Correnti di dispersione:** è sufficiente che un cuscinetto sia dotato di una spazzola per la messa a terra dell'albero.
- **Correnti circolanti dei cuscinetti:** entrambi i cuscinetti devono essere dotati di una spazzola di messa a terra dell'albero.
- **Correnti di terra del rotore:** è sufficiente che un cuscinetto sia dotato di una spazzola per la messa a terra dell'albero. Tuttavia, c'è il rischio che le correnti di terra del rotore continuino a causare danni al carico.

Bobine di arresto di modo comune

Le bobine di arresto di modo comune riducono o impediscono le correnti circolanti dei cuscinetti e le correnti di terra del rotore. Tuttavia, è necessario assicurarsi che le bobine di arresto di modo comune siano correttamente dimensionate. Le correnti di dispersione non vengono ridotte con l'utilizzo di bobine di arresto di modo comune.

Filtri o schemi di controllo che eliminano la tensione di modo comune

I filtri che riducono o eliminano la tensione di modo comune sono efficaci per tutti i tipi di corrente dei cuscinetti.

Progettazione

Dato che la creazione della corrente, la quantità di corrente e quindi la sua nocività nel cuscinetto dipendono dall'intero sistema, le correnti del cuscinetto dovrebbero essere considerate già nella fase di progettazione e nella gara d'appalto. Potrebbero sorgere dei problemi soprattutto quando il convertitore di frequenza e il motore vengono acquistati presso fornitori diversi.

Negli impianti esistenti, in caso di dubbi, per determinare la presenza di correnti dei cuscinetti può essere utilizzata una delle misure sopra descritte. Se l'albero è accessibile, è preferibile misurare la tensione tra l'alloggiamento e l'albero. Una regola empirica è che le tensioni dei cuscinetti inferiori a 5 V non indicano correnti dannose per i cuscinetti. Il fattore decisivo in questo caso è l'andamento temporale della tensione del cuscinetto e non il suo valore effettivo, come descritto nella sezione «Misurazioni».

In generale si possono raccomandare le seguenti misure per prevenire la creazione di correnti dannose dei cuscinetti:

- Per tutti i motori: una buona messa a terra ad alta frequenza dell'alloggiamento del motore impedisce le correnti di terra del rotore.
- Per motori di piccola e media potenza con una tensione del circuito intermedio a partire da 560 V: predisporre una contromisura per le correnti di dispersione dei cuscinetti, ad es. utilizzare una spazzola di messa a terra dell'albero.
- Per i motori a partire da circa 100 kW: predisporre una contromisura per le correnti di circolazione dei cuscinetti, ad es. cuscinetto isolato/cuscinetto ibrido non sul lato motore (NDE).
- Per motori a partire da ca. 400 kW: predisporre ulteriori misure come i filtri di modo comune.

Maggiori informazioni

Termini e unità di misura

Denominazione	Abbreviazione	Unità	Indici, Spiegazione
Frequenza	f	Hz	N: Rete M: Motore
Convertitore di frequenza	Convertitore di frequenza		Inglese: variable frequency drive - VFD (azionamento a frequenza variabile)
Alta Frequenza	HF		Inglese: high frequency/radio frequency - RF (alta frequenza, anche radiofrequenza)
Sonda ad alta frequenza	Sonda HF		Dispositivo per la misurazione delle alte frequenze. Inglese: radio frequency probe - Sonda a radiofrequenza (sonda RF)
International Electrotechnical Commission (Commissione Elettrotecnica Internazionale)	IEC		
Institute of Electrical and Electronics Engineers (Istituto degli Ingegneri Elettrici ed Elettronici)	IEEE		
Potenza	P	W	
Non dal lato motore	NDE		Anche lato ventilatore, lato B. Inglese: non-drive end (NDE)
Tensione	U	V	N: Rete M: Motore
Comitato tecnico (della IEC)	TK		Inglese: IEC Technical Committee (IEC TC)
Specifiche tecniche (della IEC)	TS		Inglese: IEC Technical Specification (IEC TS)
Corrente alternata	AC	A	Inglese: alternating current (corrente alternata)
Tempo	t	s	

Specifiche IEC

- Condizioni generali - Correnti dei cuscinetti: IEC TS 60034-25, 2014: Macchine elettriche rotanti - Parte 25: Macchine elettriche a corrente alternata utilizzate nei sistemi di azionamento - Guida all'applicazione, capitolo 8.
- Condizioni generali - Installazione: IEC TS 60034-25, 2014: Macchine elettriche rotanti - Parte 25: Macchine elettriche a corrente alternata utilizzate nei sistemi di azionamento - Guida all'applicazione, capitolo 9.
- Informazioni aggiuntive per le diverse tecnologie dei motori: IEC TS 60034-25, 2014: Macchine elettriche rotanti - Parte 25: Macchine elettriche a corrente alternata utilizzate nei sistemi di azionamento - Guida all'applicazione, capitoli da 10 fino a 19.

Fonti e ulteriore letteratura

- Istruzioni tecniche n. 5 - Correnti dei cuscinetti nei moderni sistemi di azionamento a corrente alternata, ABB Automation, 2001
- Muetze, «Bearing Currents in Inverter-Fed AC Motors», dissertazione, Università tecnica di Darmstadt, Germania, 2004
- Muetze und A. Binder, «Practical Rules for assessment of Inverter-Induced Bearing currents in Inverter-Fed AC Motors up to 500 kW», IEEE Transaction on Industrial Electronics, giugno 2007.
- Impact Energy, scheda tematica n. 25 - Convertitori di frequenza

Nota editoriale

La scheda tematica Topmotors n. 31 Correnti dei cuscinetti è stata preparata da Impact Energy nell'ambito del programma di implementazione Topmotors per sistemi di azionamento efficienti. È stato preparato da Hanna Putzi-Plesko ZHAW, Rolf Tieben (iE) e Viktor Hangartner (iE). Redazione e realizzazione grafica: Faktor Journalisten AG.