

TESTIAMO... I TEST

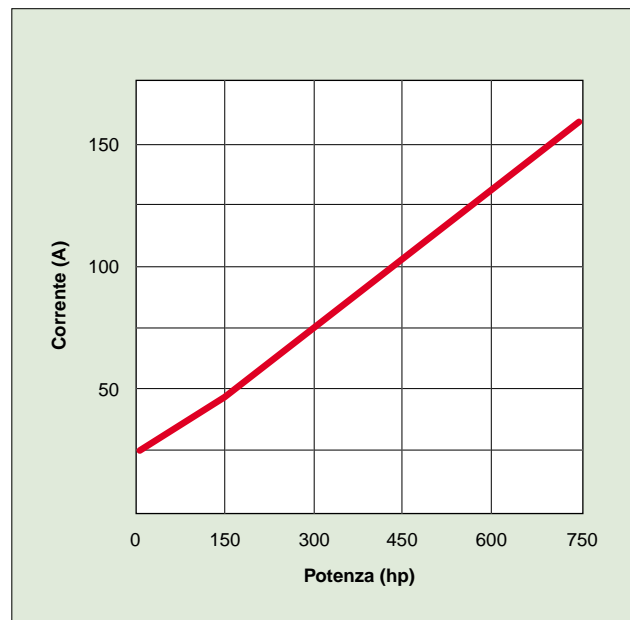
Una volta installato il motore, quali test si possono eseguire per verificarne lo stato e le prestazioni?

Oggi molti processi produttivi necessitano di motori in grado di funzionare in maniera ininterrotta. I guasti non sono ammessi, dati i costi onerosi associati alle perdite di produzione. Fortunatamente, con una manutenzione adeguata, un attento monitoraggio e un accurato programma di test, è possibile prolungare la vita del motore ed eliminare i tempi di inattività non programmati.

CORRENTE

Uno dei motivi che giustificano la misurazione della corrente di esercizio del motore è dato dalla volontà di quantificare la potenza prodotta dal motore. Supponiamo che la corrente a pieno carico di un motore sia di 100 A, e che il motore eroghi una potenza pari a 75 A: si potrebbe affermare che il motore genera una potenza (hp) pari a $\frac{3}{4}$ della sua potenza di targa. In realtà, questo assunto è falso, poiché quando aumenta il carico di un motore, aumenta anche il suo fattore di potenza. Questo fenomeno è molto comune nei motori moderni. Pertanto, misurare solo la corrente non basta per fornire un'indicazione precisa del carico sul motore. Il carico approssimativo può essere determinato confrontando la corrente misurata con i dati tecnici relativi al motore.

I valori di corrente in assenza di carico variano ampiamente da motore a motore, a causa delle differenze in termini di rendimento, fattore di potenza e caratteristiche di progettazione. I valori di corrente disaccoppiata del motore variano dal 30 al 50% della corrente a pieno carico. Finché i valori di misura delle tre fasi di corrente si avvicinano ai valori di corrente tipici del motore in assenza di carico, e si discostano l'un l'altro di non oltre l'1%, mantenendo una tensione bilanciata, il valore della corrente assorbita può considerarsi soddi-



1. Il carico approssimativo può essere determinato mediante confronto della corrente misurata con i dati relativi alle prestazioni del motore.

sfacente. Il valore della corrente in assenza di carico può essere ricavato anche dai dati tecnici relativi alle prestazioni del motore.

La corrente si misura utilizzando un trasformatore di corrente clamp-non portatile, con un livello di isolamento appropriato. Se l'apparecchiatura dispone di un amperometro a pannello, tanto meglio! Le componenti spettrali della corrente di ingresso possono essere utilizzate per identificare problemi secondari del motore come barre rotte del rotore o lamine allentate. Si tratta di guasti molto rari che possono essere rilevati mediante analisi della corrente con un analizzatore di spettro o un programma computerizzato, variando la procedura di test in base al sistema adottato.

ATTENZIONE

Prima di effettuare qualunque test su un motore, occorre prendere dimestichezza con le apparecchiature di prova utilizzate, dotarsi di idonei equipaggiamenti di protezione personale, informarsi sui rischi associati alle prove sui motori e apprendere le procedure di sicurezza per operare su parti rotanti sotto tensione.

TENSIONE

La misurazione della tensione su apparecchiature in funzione dovrebbe essere effettuata quanto più possibile vicino al motore, per evitare che la caduta di tensione della linea di alimentazione del motore condizioni i risultati. Per la maggior parte degli impianti industriali, il sistema di avviamento è sufficientemente vicino al motore per garantire misure soddisfacenti.

Utilizzando apparecchiature adeguate, si dovrebbe misurare la tensione da fase a fase (concatenata) per tutte le tre fasi. I singoli valori di misura dovrebbero essere \pm pari al 10% della tensione di targa del motore, e non dovrebbero discostarsi l'un l'altro di oltre l'1%. Sarebbe opportuno quindi misurare le tensioni nelle tre fasi verso terra, che dovrebbero idealmente essere uguali tra loro, e uguali alla tensione fase-fase divisa per $\sqrt{3}$. La diversità dei valori di tensione da fase a terra indica la presenza di guasti a terra che necessitano di misure correttive immediate. Se tale squilibrio raggiunge valori significativi e non è prontamente corretto, il sistema di isolamento del motore è sottoposto a pesanti sollecitazioni che possono ridurre in maniera significativa la durata utile del motore.

WATT DI POTENZA

La misurazione della potenza in watt di un motore in funzione rappresenta il più accurato parametro del lavoro prodotto da un motore. Tale misurazione può essere illustrata dall'equazione seguente:

$$hp = \frac{Watt \times Rendimento}{746}$$

Dalle tabelle, possono essere desunti i valori approssimativi del rendimento e del fattore di potenza. Gli strumenti attuali, che uniscono la facilità d'uso a un livello elevato di qualità ed efficacia, rendono relativamente semplice la misurazione dei valori di potenza.

TEMPERATURA SUPERFICIALE

L'uso di pirometri senza contatto all'infrarosso permette di evidenziare la presenza di punti caldi anomali o problemi associati ai cuscinetti, al flusso dell'aria o al sistema di raffreddamento.

I motori standard sono progettati per funzionare con un aumento massimo totale di temperatura degli avvolgimenti pari a 80 °C (per resistenza) nella classe B NEMA, o 105 °C (per resistenza) nella classe F NEMA, rispetto alla temperatura ambiente di 40 °C. (La classe di isolamento del

niera precisa, è sufficiente effettuare misure approssimative.

Se l'albero o il contenitore del cuscinetto si avvicina a una temperatura di 100 °C, il cuscinetto può avvicinarsi a 130 °C e subire danni termici. In tal caso, il motore dovrebbe essere immediatamente arrestato per permettere di eliminare il problema. Le bronzine o i cuscinetti di metallo antifrizione hanno un limite di temperatura di circa 110 °C.

Il materiale dei cuscinetti inizia a rammollirsi a una temperatura compresa tra 130 e 170 °C circa, a seconda del materiale (stagno o piombo) con cui è realizzato il cuscinetto.

Se non vi sono termometri o sensori di temperatura incorporati, la temperatura del cuscinetto può essere determinata esaminando l'albero e il contenitore del cuscinetto, o controllando gli anelli di tenuta e il metallo del cuscinetto attraverso i fori di ispezione.

Potenza (hp)	Due poli		Quattro poli		Sei poli		Otto poli	
	Nominale	Minima	Nominale	Minima	Nominale	Minima	Nominale	Minima
1.0	75.5	72.0	82.5	80.0	80.0	77.0	74.0	70.0
1.5	82.5	80.0	84.0	81.5	85.5	82.5	77.0	74.0
2.0	84.0	81.5	84.0	81.5	86.5	84.0	82.5	80.0
5.0	87.5	85.5	87.5	85.5	87.5	85.5	85.5	82.5
10.0	89.5	87.5	89.5	87.5	89.5	87.5	88.5	86.5
20.0	90.2	88.5	91.0	89.5	90.2	88.5	89.5	87.5
50.0	92.4	91.0	93.0	91.7	93.0	91.7	91.7	90.2
100.0	93.6	92.4	94.5	93.6	94.1	93.0	93.0	91.7
200.0	95.0	94.1	95.0	94.1	95.0	94.1	94.1	93.0
400.0	95.4	94.5	95.4	94.5	-	-	-	-

2. Percentuale di rendimento di un motore chiuso.

motore è indicata sulla targa dati). Se la temperatura superficiale del motore si avvicina ai valori suddetti, può esservi un problema negli avvolgimenti o nel sistema di raffreddamento. Occorre dunque misurare i valori di temperatura degli avvolgimenti o mettere al più presto fuori servizio il motore in modo da risolvere il problema.

I cuscinetti a sfere o antifrizione non dovrebbero essere utilizzati a temperature che superano i 130 °C. Le alte temperature provocano il deterioramento del grasso e possono danneggiare gli elementi rotanti. Se non è possibile misurare la temperatura dei cuscinetti in ma-

I valori di temperatura del cuscinetto che si avvicinano a 90 °C dovrebbero essere continuamente monitorati per determinare se stanno aumentando. Se aumentano, il motore in questione dovrebbe essere messo fuori servizio per le necessarie riparazioni. Le temperature, se costanti, dovrebbero essere monitorate a intervalli da sei a dodici ore per garantire che rimangano su valori costanti.

VIBRAZIONI

Le misure "di routine" delle vibrazioni, effettuate a intervalli regolari sull'intero gruppo di apparecchiature, possono individuare problemi con grande anticipo rispetto al verificarsi del guasto. La frequenza del-

Frequenza di vibrazione	Buono		Severo		Dannoso	
	Velocità (in/s)	Spostamento (r/1000 in)	Velocità (in/s)	Spostamento (r/1000 in)	Velocità (in/s)	Spostamento (r/1000 in)
900	0.08	1.2	0.16	3.40	0.24	5.1
1,200	0.10	1.50	0.20	3.00	0.30	4.5
1,800	0.10	1.00	0.20	2.00	0.30	3.0
3,600	0.10	0.50	0.20	1.00	0.30	1.5
7,200	0.10	0.25	0.20	0.50	0.30	0.75

3. Limiti di vibrazione. I limiti di vibrazione in tabella sono i limiti consigliati. Per applicazioni speciali, possono rendersi necessari limiti più alti.

le misurazioni dipende dall'importanza delle apparecchiature. Le apparecchiature più critiche dovrebbero comprendere strumenti di controllo permanente delle vibrazioni. Le misure "di routine" delle vibrazioni dovrebbero includere analisi dello spettro d'alta frequenza sui cuscinetti antifrizione.

Tali analisi spettrali indicano qualunque difetto con netto anticipo rispetto al verificarsi di problemi gravi. Le fondazioni e i basamenti delle apparecchiature dovrebbero essere controllati regolarmente per accertare la presenza di movimenti o lassità. I test si effettuano collocando una sonda di vibrazioni sismiche nei punti di interesse.

Qualunque movimento superiore del 25% rispetto alle normali vibrazioni delle apparecchiature è indice di una lassità e rende necessario effettuare un'indagine.

RESISTENZA DI ISOLAMENTO

Il test con ohmetro d'alta tensione, noto anche come test di Megger, si effettua con il motore fuori servizio. È uno dei test più comuni tra quelli effettuati sulle apparecchiature

elettriche, poiché il sistema di isolamento è molto spesso interessato da problemi di natura elettrica. L'isolamento del motore può deteriorarsi a causa di contaminazioni, movimenti meccanici, incrinature, urti meccanici, esposizione a solventi e molti altri fattori.

Tensione nominale	Tensione di prova avvolgimenti puliti	Tensione di prova avvolgimenti sporchi
120/240	500	250
460/480	1,000	500
2,400/4,160	5,000	2,500

4. Tensioni di prova consigliate. Sono elencate le tensioni consigliate per questa prova.

Per verificare la perdita di integrità dell'isolamento, si applica una tensione all'isolamento in corrispondenza dei conduttori del motore al telaio.

Si tratta generalmente di una tensione in c.c. più elevata rispetto alla normale tensione di esercizio, ma non sufficiente da danneggiare l'isolamento.

La tensione applicata sollecita l'isolamento in modo tale da rendere

evidente la presenza eventuale di aree deboli.

La resistenza di isolamento del motore è estremamente sensibile alla temperatura.

Nota: quanto più elevata è la resistenza di isolamento, tanto più soddisfacente è il sistema.

L'equazione per il calcolo della resistenza di isolamento a 40 °C stabilisce che:

$$R_c = K_t \times R_t$$

dove R_c è la resistenza di isolamento (in $M\Omega$) corretta a 40 °C

K_t è il coefficiente di temperatura della resistenza di isolamento alla temperatura t .

R_t è la resistenza di isolamento misurata (in $M\Omega$) alla temperatura t .

In base allo standard IEEE 43, è con-

sigliata una resistenza minima degli avvolgimenti da ottenersi con il calcolo seguente:

$$R_m = kV + 1$$

dove R_m è la resistenza di isolamento minima consigliata (in $M\Omega$) a 40 °C degli avvolgimenti dell'intera macchina

kV è il potenziale nominale da terminale a terminale, in kilovolt RMS.

INDICE DI POLARIZZAZIONE DEGLI AVVOLGIMENTI (PI)

Questo test si effettua anche con il motore fuori servizio, e indica le condizioni generali del sistema di isolamento degli avvolgimenti.

Con il test, si determina la quantità di sporcizia o umidità presente negli avvolgimenti, il grado di deterioramento dell'isolamento, l'idoneità

UNA QUESTIONE DI LINGUA

Benché la maggior parte di noi sappia che parliamo di fazzoletti da naso quando citiamo il nome Kleenex, per tutti è rimasto questo nome commerciale a identificare questo genere di prodotti nell'uso comune. Lo stesso è accaduto alla Megger Group Ltd. di Dover, Inghilterra. Il nome Megger risale al 1889, anno in cui la società ha introdotto il primo tester di isolamento portatile. Oggi, questa marca è talmente diffusa e conosciuta che i tecnici del settore spesso utilizzano il nome Megger per identificare lo strumento utilizzato per le prove di isolamento dei cavi elettrici.

dell'isolamento alle prove d'alta tensione dei motori di grandi dimensioni (hi-potting) e l'idoneità generale di un motore per il funzionamento continuo.

La resistenza di isolamento del motore in questione è generalmente testata a 500 o 1000 V per 10 minuti. Le letture sono effettuate regolarmente per garantire che il valore della resistenza di isolamento aumenti con l'aumentare del tempo, e non vi siano deterioramenti dell'isolamento.

Il valore di isolamento su 10 minuti è quindi diviso per il valore di isolamento su 1 minuto per ottenere l'indice di polarizzazione.

$$PI = \frac{\text{Isolamento } R \text{ su } 10 \text{ min.}}{\text{Isolamento } R \text{ su } 1 \text{ min.}}$$

Un basso indice PI può essere dovuto a un sistema di isolamento sporco o umido. Tale indice non dovrebbe mai essere inferiore a 2 per un motore, poiché un valore più basso indica che la macchina non può garantire un servizio affidabile a lungo termine. Con una manutenzione adeguata del motore, si può elevare l'indice PI a un valore maggiore di 2.

RESISTENZA DEGLI AVVOLGIMENTI

Effettuata con il motore fuori servizio, la misurazione della resistenza

degli avvolgimenti rivela la presenza di sezioni aperte o in cortocircuito degli avvolgimenti. Esistono tre metodi standard per eseguire questo test:

- misurazione delle fasi da A a B, quindi da B a C, e infine da C a A, con l'ausilio di un ohmmetro. Perché questa prova fornisca valori significativi, è importante utilizzare uno strumento altamente preciso con una risoluzione elevata a valori di resistenza ridotti. I tre valori dovrebbero discostarsi l'un l'altro di non oltre l'1%. Se la variazione tra le misure è maggiore dell'1%, utilizzare il Metodo Due;
- misurazione della reattanza degli

I motori mono/polifase a potenza frazionata oggi superano numericamente i motori a potenza integrale. Per questo, è importante apprendere le tecniche di manutenzione e prova specifiche che questi motori richiedono. Di norma, si

volumi particolarmente elevati, è preferibile che i motori di piccola taglia siano sottoposti alle prove nella loro configurazione finale in fase di produzione per permettere di stabilire l'influenza sul motore delle diverse variabili, come treni di ingranaggi, attuatori lineari, carichi variabili, e variazioni

di tolleranza dei componenti. In questi casi, l'esecuzione delle prove sui motori di piccola taglia nella fase di produzione è decisamente auspicabile, soprattutto se abbinata all'uso di un database di valori critici di rendimento come feedback per la progettazione, i controlli sul campo e il miglioramento delle prestazioni finali. **Brent:** Le prove sul campo dei motori di piccola taglia sono limitate anche dalla strumentazione disponibile. Una normale prova eseguita con un multimetro digitale portatile (DMM) permette di misurare in modo semplice e rapido la resistenza degli avvolgimenti, e quindi di confrontare i valori di resistenza misurati nei singoli avvolgimenti con la resistenza di targa per individuare eventuali problemi o malfunzionamenti in uno o più avvolgimenti del motore. Con gli adattatori di temperatura dei multimetri digitali portatili, è possibile verificare la temperatura di superficie durante il funzionamento, e quindi di identificare eventuali difettosità degli avvolgimenti o dei cuscinetti.

piccola taglia in molte delle applicazioni emergenti, si osserva la crescente tendenza a utilizzare metodi di prova in grado di identificare eventuali problemi di progettazione o valutare l'uniformità delle prestazioni. Le caratteristiche applicative e un'approfondita conoscenza dell'utilizzo finale possono facilitare l'identificazione delle prove effettivamente necessarie. Per esempio, in alcune applicazioni finali, un motore semplice e poco costoso può richiedere solo una prova della resistenza o della velocità. Per contro, se lo stesso motore fosse utilizzato e desse problemi in applicazioni critiche del settore automobilistico, ne potrebbero derivare ingenti danni, amplificati dai grandi volumi di produzione, nonché problemi di sicurezza e costi onerosi di sostituzione. L'esecuzione di prove più approfondite è chiaramente giustificata in questi casi.

Un altro esempio: alcune applicazioni che utilizzano motori di piccola taglia oggi prevedono unità a bassissimo o altissimo numero di giri. La velocità di uscita nella configurazione finale può essere stabilita in frazioni di regime del motore fino a 100.000 giri/min. È quindi ovvio come le prove delle vibrazioni possano avere un'importanza critica nel secondo caso, ed essere invece del tutto trascurabili nel primo caso. **Brent:** Le applicazioni esigenti, le nuove tecnologie, i requisiti più severi in termini di durata del motore, le caratteristiche ambientali e l'elettronica applicata al controllo dei motori spesso impongono

UNO SGUARDO AI "PIÙ PICCOLI"

possono applicare molte delle prove normalmente riservate ai motori di grande taglia. Anche il confronto dei valori di corrente e tensione con i valori di targa, la misurazione delle temperature di superficie, e il monitoraggio della resistenza d'isolamento, sono tutti metodi che possono contribuire a determinare le condizioni dei motori a potenza frazionata. Vi sono casi, tuttavia, in cui i metodi di prova standard convenzionali risultano inadeguati o insufficienti per le nuove applicazioni che utilizzano motori di piccola taglia. Per identificare questi casi, gli autori hanno rivolto a Joe DePrisco e Brent Lahey della Adaptek Systems Inc. alcune domande specifiche relativamente alla taglia dei motori e hanno ottenuto alcune indicazioni utili sui motori di piccola taglia.

Domanda: I motori di piccola taglia sono tipicamente sottoposti alle prove sul campo?

Joe: Tranne quando si sospetta l'esistenza di problemi nel sistema di azionamento, in genere i motori non sono regolarmente sottoposti a prove sul campo nelle applicazioni finali. Laddove possibile, in applicazioni critiche o per produzioni di

di tolleranza dei componenti. In questi casi, l'esecuzione delle prove sui motori di piccola taglia nella fase di produzione è decisamente auspicabile, soprattutto se abbinata all'uso di un database di valori critici di rendimento come feedback per la progettazione, i controlli sul campo e il miglioramento delle prestazioni finali.

Brent: Le prove sul campo dei motori di piccola taglia sono limitate anche dalla strumentazione disponibile. Una normale prova eseguita con un multimetro digitale portatile (DMM) permette di misurare in modo semplice e rapido la resistenza degli avvolgimenti, e quindi di confrontare i valori di resistenza misurati nei singoli avvolgimenti con la resistenza di targa per individuare eventuali problemi o malfunzionamenti in uno o più avvolgimenti del motore. Con gli adattatori di temperatura dei multimetri digitali portatili, è possibile verificare la temperatura di superficie durante il funzionamento, e quindi di identificare eventuali difettosità degli avvolgimenti o dei cuscinetti.

Domanda: Quando e che i motori di piccola taglia richiedono prove speciali?

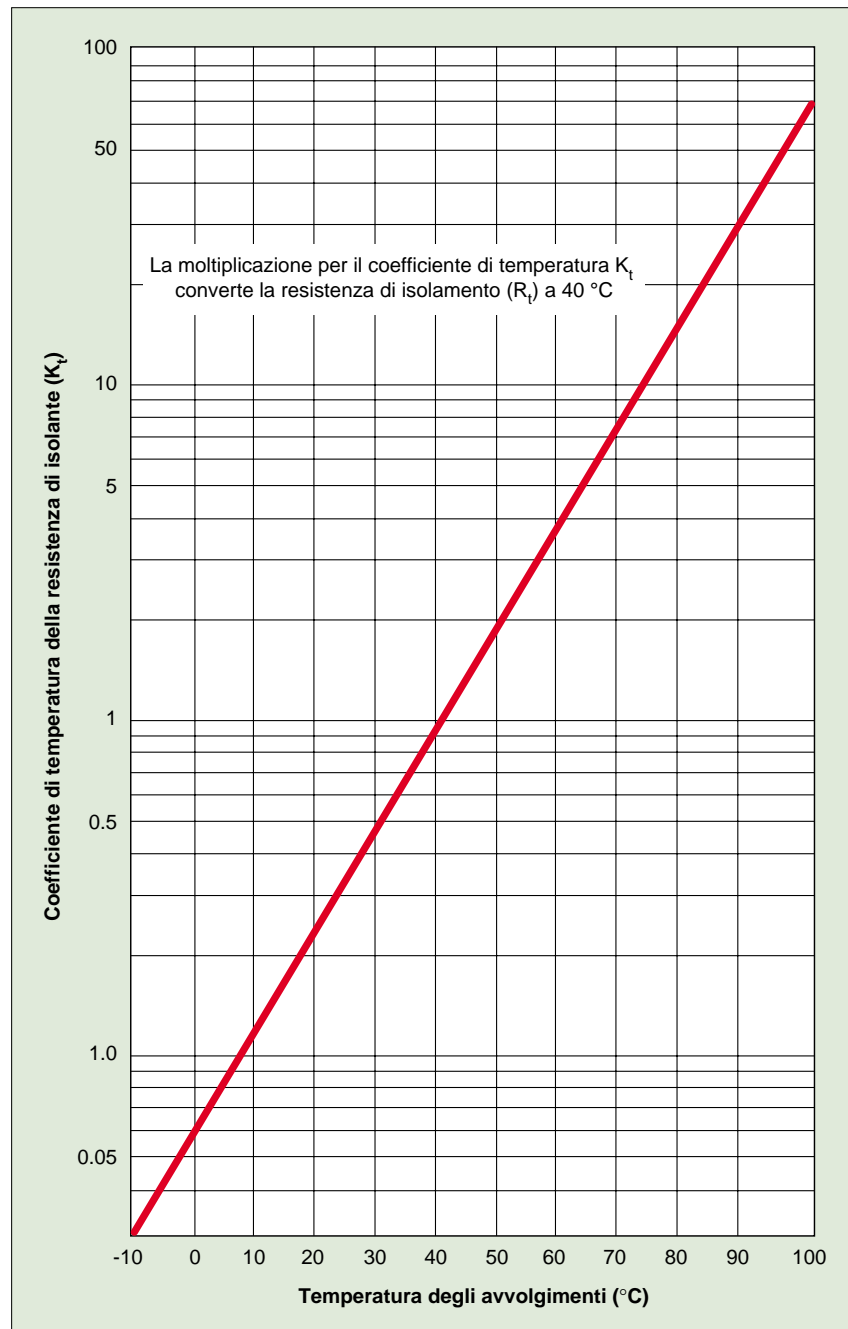
Joe: Con la diffusione dei motori di

avvolgimenti, mediante ripetizione del test descritto qui sopra, salvo utilizzo di una sorgente di c.a. regolabile con un voltmetro di precisione e un amperometro invece di un ohmmetro. * Si collega l'amperometro in serie con la sorgente di c.a. variabile e due fasi del motore. * Si collega il voltmetro tra le due fasi sottoposte a test. * Si incrementa la tensione a un valore tale da non permettere il passaggio di una corrente superiore al 25% della corrente a pieno carico nell'avvolgimento. * Si registrano le letture, quindi si calcola l'impedenza utilizzando la Legge di Ohm ($E=ZI$). Si ripete il test sulle altre due fasi, utilizzando lo

l'esecuzione di prove speciali e più specifiche rispetto agli standard di base del settore per soddisfare i requisiti richiesti in termini di durata e prestazioni dei motori. Le prove standard di base possono essere integrate con prove atte a verificare il tempo di risposta, la forma d'onda a velocità elevata, e i valori di alta o bassa temperatura, per fornire un quadro complessivo delle prestazioni e potenzialità del motore. Le prove più speciali e specifiche sono probabilmente quelle effettuate nello stabilimento di produzione. La scoperta di nuove e particolari modalità di guasto potrebbe incentivare la messa a punto di nuove tecniche e procedure di prova di pari passo con lo sviluppo dei nano-motori (costruiti "molecola per molecola"). È superfluo aggiungere che questi microscopici motori allargheranno ancor più gli orizzonti delle prove sui motori di nuova tecnologia.

Domanda: Le dimensioni fisiche dei motori di piccola taglia rendono necessarie regolazioni o configurazioni di prova specifiche?

Brent: I motori di taglia più piccola presentano tolleranze meccaniche ed elettriche tipicamente inferiori. Non è raro che un motore di piccola taglia presenti una resistenza degli avvolgimenti inferiore a 1 W. Per gli standard di produzione, questo richiederebbe la capacità di misurare ripetutamente valori inferiori a 0,1 W con una precisione strumentale di 0,01 W. In questo caso, si comincia a parlare di apparecchiature di prova speciali.



5. Coefficiente di temperatura di correzione. In questo prospetto, sono illustrati i coefficienti di temperatura K_t richiesti per le varie temperature.

stesso valore di tensione applicata. Se la differenza nell'impedenza calcolata per ogni fase è maggiore del 5%, vi è probabilmente un problema negli avvolgimenti;

- utilizzare un tester di comparazione delle sovratensioni. Il test di comparazione delle sovratensioni accerta la presenza di aperture o cortocircuiti nelle bobine del motore, confrontando una serie di bobine con le altre bobine del motore. Si tratta di un test definitivo che può

rilevare la presenza di guasti subdoli in un avvolgimento del motore. Data la specificità delle apparecchiature necessarie per questo test, occorre seguire le istruzioni fornite con le apparecchiature di prova.

B. Subler, Reliance Motors
Engineering Manager
S. Evon, Reliance Engineering
Manager – Industry Rockwell
Automation
www.reliance.com