



Motori Coppia serie TK Manuale di montaggio e installazione

Rel 2.4 doc MA0012.4 ITA

Phase Motion Control

Via Adamoli 461, 16141 Genova Italy

Ph: +39 010 83 51 61

Fax: +39 010 420 67 36

e-mail: info@phase.eu

<http://www.phase.eu>

Indice

Indice.....	2
Introduzione	3
Sicurezza.....	3
Precauzioni generali di sicurezza.....	3
Rischi elettrici	4
Trasporto e condizioni di immagazzinamento	4
Trasporto e imballo	4
Apertura dell'imballo e montaggio.....	4
Immagazzinamento	5
Trasporto	5
Tipologia e costruzione dei motori TK.....	5
Parametri di utilizzo.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
Raccomandazioni	8
Montaggio.....	10
Statore	10
Rotore	11
Montaggio rotore all'interno dello statore	12
Collaudi da effettuare dopo il montaggio	13
Informazioni tecniche generali sui motori "frameless" serie TK.....	14
Morfologia dei motori e guida alle applicazioni	15
Motori di grande diametro ad anello sottile per alta coppia e bassa velocità (motori coppia).....	17
Motori per mandrini di torni e fresatrici	18
Motori tubolari, di piccolo diametro per unità a mandrini multipli	18
Corrente nominale	19
Sezione cavo	19
Come scegliere il motore TK più adatto ?	19
Struttura meccanica, controllo del traferro e attrazione magnetica	22

Introduzione

Questo documento ha lo scopo di introdurre all'impiego dei motori coppia PHASE MOTION CONTROL serie TK (d'ora in poi solo TK). Verranno forniti all'utente le necessarie informazioni per manipolare, integrare, collaudare ed operare con i motori TK.

Nota bene: La responsabilità di PHASE MOTION CONTROL e' in ogni caso limitata alla funzionalità del motore, ed in caso di guasto alla sua riparazione/sostituzione secondo le Condizioni generali di Vendita Phase Motion Control disponibili su www.phase.eu. Poiché il motore coppia e' solo un componente di un sistema generalmente complesso, e' responsabilità dell'Utente effettuare una analisi di sicurezza che individui eventuali pericoli all'operatore o rischi economici indotti da qualunque malfunzionamento per cui Phase Motion Control, che fornisce il componente e non il sistema, non e' e non può essere resa responsabile.

Sicurezza

L'utente deve aver letto il presente manuale prima di svolgere qualsiasi attività. Nel caso di informazioni non chiare si prega di contattare PHASE MOTION CONTROL.

La manipolazione, installazione e manutenzione dei motori devono essere svolti esclusivamente da personale in possesso di opportune qualifiche per lo svolgimento di tali attività (IEC 364). Una errata manipolazione e/o installazione possono provocare danni a persone e cose.

Precauzioni generali di sicurezza



Personale dotato di pacemaker o altre protesi ferromagnetiche non e' qualificato per lavorare con questo tipo di dispositivi, ed e' tenuto a rimanere ad una adeguata distanza dai dispositivi



Componenti elettronici possono essere disturbati o distrutti da i forti campi magnetici. Evitare di posizionare dispositivi con parti magnetiche vicino a computer, monitor e a tutti i dispositivi basati sulla memorizzazione delle informazioni su supporto magnetico.



A causa delle forti forze di attrazione, devono essere osservate speciali precauzioni nelle dirette vicinanze dei rotori (sotto i 100 mm). Oggetti pesanti e voluminosi di ferro o acciaio non devono essere manipolati mai nelle vicinanze dei rotori. A causa della invisibilità delle forze magnetiche generalmente i loro effetti nelle vicinanze dei rotori sono sottovalutati.

La manipolazione, installazione e manutenzione dei motori deve essere svolta esclusivamente da personale in possesso di opportune qualifiche per lo svolgimento di tali attività (IEC 364). Una errata manipolazione e/o installazione possono provocare danni a persone e cose. In

caso di incidente nella gestione del motore avere sempre a portata di mano dei separatori a cuneo di materiale non ferromagnetico (es. alluminio) e un martello sempre di materiale non ferromagnetico.

Rischi elettrici

Prima dell'installazione verificare che i motori non presentino danni dovuti al trasporto che possano ridurre la sicurezza elettrica.

All'atto della messa in servizio del motore tramite l'azionamento tenersi a distanza di sicurezza da tutte le parti in movimento per evitare infortuni.

Non connettere il motore ad alimentazioni diverse da quanto specificato da PHASE MOTION CONTROL. Alimentazioni non conformi possono causare danni ai rotostatori.

Non interrompere le connessioni di massa o di terra.

I motori possono avere parti interne sotto tensione anche a motore fermo. Non toccare mai i collegamenti elettrici di potenza e di segnale senza prima spegnere l'interruttore principale di alimentazione.

I motori possono avere parti interne calde anche quando la tensione di alimentazione è staccata. La normale temperatura di funzionamento del motore può superare i 100 °C.

I motori lenti hanno forze elettromotrici elevate. A titolo di esempio, un motore TK xxx-xxx-100 può generare 300 V ad una velocità di soli 5 rpm. Anche il movimento manuale o gravitazionale può generare tensioni pericolose a macchina non alimentata.

ATTENZIONE: I motori a deflussaggio profondo (>1:2) possono sviluppare tensioni sensibilmente superiori alla tensione rete sul cavo tra il motore e l'induttanza serie. Verificare tale parametro per dimensionare il circuito.

Trasporto e condizioni di immagazzinamento

Trasporto e imballo

Gli imballi standard PHASE MOTION CONTROL, sono strutturati in modo da evitare al massimo danni che possono essere provocati durante il trasporto.

L'utente è pregato di avvisare PHASE MOTION CONTROL, qualora alla ricezione del materiale vengano rilevati danni evidentemente causati da un trasporto non corretto.

Apertura dell'imballo e montaggio

All'apertura dell'imballo adottare tutte le precauzioni nella gestione di materiali magnetici che sono state riportate nelle norme generali di sicurezza.

Dopo l'apertura della scatola non tirare i cavi del motore e non cercare di sollevare il motore tramite i cavi.

Verificare che i cavi non siano stati danneggiati durante il trasporto o durante l'apertura dell'imballo.

Per motori o parti di motore pesanti (>15Kg) usare sempre dei dispositivi di sollevamento adeguati utilizzando appositi golfari, dove possibile, altrimenti utilizzando cinghie di sollevamento.

In caso di immagazzinamento al di fuori dell'imballo originale separare lo statore e il rotore tramite materiale non magnetico (per es. legno) avente spessore di almeno 40 mm.

Dopo aver disimballato il rotore, avvolgere la parte magnetica con nastro di carta, per mantenere la superficie magnetica pulita; il nastro dovrà essere rimosso poco prima dell'inserimento del rotore nello statore.

Prestare particolare attenzione alla gestione dei rotor con anello di carbonio di ritenzione magneti, qualsiasi contatto accidentale con parti metalliche attratte dal campo magnetico può provocare danni all'anello di ritenzione, qualora questo accadesse si prega di contattare PHASE MOTION CONTROL.

Minimizzare la permanenza del motore all'esterno dell'imballo originale.

Verificare che la rotazione del rotore sia libera all'interno dello statore, senza contatti per l'intera rotazione.

Immagazzinamento

L'area destinata all'immagazzinamento dei motori serie TK dovrebbe essere delimitata e indicata con cartelli riportanti " Attenzione - Campi magnetici intensi".

Tenere sempre separati da almeno 40mm le parti magnetiche.

I motori e le parti dei motori dovrebbero essere sempre immagazzinate nei loro imballi originali. L'umidità dell'area di immagazzinamento dovrebbe essere compresa fra 5 e 80% e la temperatura fra 5 e 45°C.

Nel caso si debba tenere fuori dall'imballo originale le parti dei motori in ambiente ad alta umidità si raccomanda di avvolgere le parti con carta impregnata in olio.

Trasporto

Via terra

Il motore deve essere trasportato con gli imballi originali o se non possibile con imballi che garantiscano una protezione totale da eventuali agenti atmosferici. Le parti devono essere imballate in modo da non permettere movimenti durante il trasporto.

Via Mare

L'imballo adottato deve essere di tipo marino.

Via aria

Nel caso di trasporto del rotore smontato dallo statore occorre ottenere l'autorizzazione della compagnia aerea a causa del campo magnetico generato. L'imballo da adottare deve essere comprensivo di gabbia metallica per fare in modo di chiudere il campo; l'imballo originale metallico fornito da Phase Motion Control e' adatto a questo scopo.

Tipologia e costruzione dei motori TK

I motori brushless serie TK realizzati da Phase Motion Control costituiscono la soluzione tecnica a più alta densità di coppia per realizzare movimentazioni ad alte prestazioni.

I motori serie TK sono unità frameless, o rotostatori, che vengono forniti come unità separate di statore e rotore, adatte per essere integrate nella macchina operatrice. I motori sono tutti brushless

trifasi a magneti permanenti a terre rare ferro-neodimio-boro e raggiungono le più alte coppie specifiche oggi disponibili.

I motori sono isolati in Classe H e incorporano tanto una terna di PTC per protezione termica quanto una sonda lineare KTY 84 per rilevamento della temperatura.

Tutti i motori della serie TK sono idonei al raffreddamento a liquido ovvero a conduzione attraverso la struttura della macchina condotta. Per il funzionamento in deflussaggio, e' indispensabile il raffreddamento a liquido.

PHASE MOTION CONTROL soddisfa le più svariate applicazioni adottando una produzione semi-custom dei propri prodotti.

I rotostatori della serie TK possono essere forniti nelle seguenti tipologie:

Standard a catalogo (opzione "microframe"	Rotore	Ad anello tubolare recante i magneti, trattenuti da banda di ritenzione: tale banda di ritenzione può essere di tre tipi a seconda della velocità di rotazione del motore: <ul style="list-style-type: none"> • Metallica incollata e trattenuta da una chiavetta metallica, per basse velocità. • Camicia di carbonio per velocità periferiche da 50 a 150m/s. Il centraggio del rotore prende riferimento dall'interno generalmente rettificato in grado H6.
	Statore	Incapsulato in un sottile astuccio in acciaio, con tolleranza h7, adatto al calettamento a caldo nella macchina operatrice.
Tipo "Squid" o Custom	Rotore	Realizzato su disegno utente. Stessa tipologia di ritenzione dei magneti del prodotto standard.
	Statore	In questo caso lo statore standard, può essere fornito in carcassa, su specifica dell'utente, adatta al raffreddamento con liquido tramite camere interne o predisposto sull'esterno. La stessa carcassa può avere fori di fissaggio per interfaccia con la macchina operatrice.

Tutti gli avvolgimenti degli statori dei motori TK sono impregnati a tre strati per avere le migliori caratteristiche di resistenza meccanica, isolamento e trasferimento termico. Inoltre le testate sono protette da una ulteriore nastratura in fibra di vetro per aumentare la protezione durante la manipolazione.

Alcuni motori (S-Squid) possono essere dotati di ulteriore incapsulamento, effettuato sotto vuoto con resina ad alta conducibilità termica e Classe h, al fine di migliorare ulteriormente le prestazioni termiche ed aggiungere una protezione meccanica.

Tutti i motori standard TK vengono forniti con cavi di potenza e sensori della lunghezza di 500mm senza connettori, lunghezze diverse sono disponibili su richiesta.

Nel caso di utilizzo di carcasse custom possono essere integrati nella carcassa anche connettori fissi per le connessioni di potenza e di segnale.

I motori TK vengono forniti sempre senza cuscinetti ed encoder.

I rotor non sono prebilanciati; per funzionamento ad alta velocità e' da prevedere una bilanciatura dinamica dell'asse da effettuarsi dopo il montaggio.

Raccomandazioni

Collegamento a massa

Il rotore e lo statore devono essere connessi a massa. Non dare alimentazione prima della connessione della massa.

- Tensione di isolamento

Tutti i motori TK della PHASE MOTION CONTROL sono testati con i seguenti parametri:

Tensione di isolamento Fasi-GND	4,5KV 60s
Tensione di isolamento Fasi-PTC/KTY	3,5KV 60s
Tensione di isolamento PTC/KTY-GND	3,5KV 60s

Protezioni di sovratemperatura

Tutti i motori TK PHASE MOTION CONTROL vengono forniti con due tipi di sensori: KTY 84-130 e terna di PTC 130.

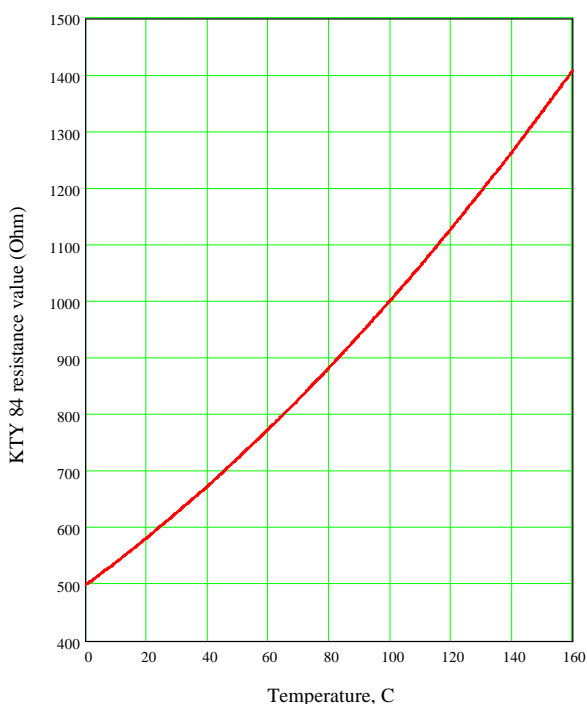
Il sensore KTY (fili gialli) e' un sensore di temperatura vero e proprio e fornisce una indicazione della temperatura dell'avvolgimento di statore, (vedi figura) che deve essere usata per il monitoraggio e la verifica delle condizioni termiche all'interno dello statore, NON e' una protezione in quanto e' posizionata in un solo punto e non puo' garantire un'informazione attendibile qualora vi sia una sovracorrente localizzata in un punto distante dalla posizione della KTY.

La terna di sensori PTC 130 (fili blu) e' posizionata in maniera tale di controllare il comportamento di tutte e tre le fasi e percio' interviene rapidamente qualora la temperatura superi i 130°C all'interno anche di una solo delle tre fasi. Deve essere usata come protezione.

La terna di sonde PTC e' altamente non lineare. La resistenza della terna e' garantita inferiore a 750 Ohm per temperature dell'avvolgimento fino a 125 C ed e' garantita superiore a 4000 Ohm per temperature superiori ai 145 C.

Il sensori KTY presenti negli statori TK hanno un doppio isolamento verso l'avvolgimento.

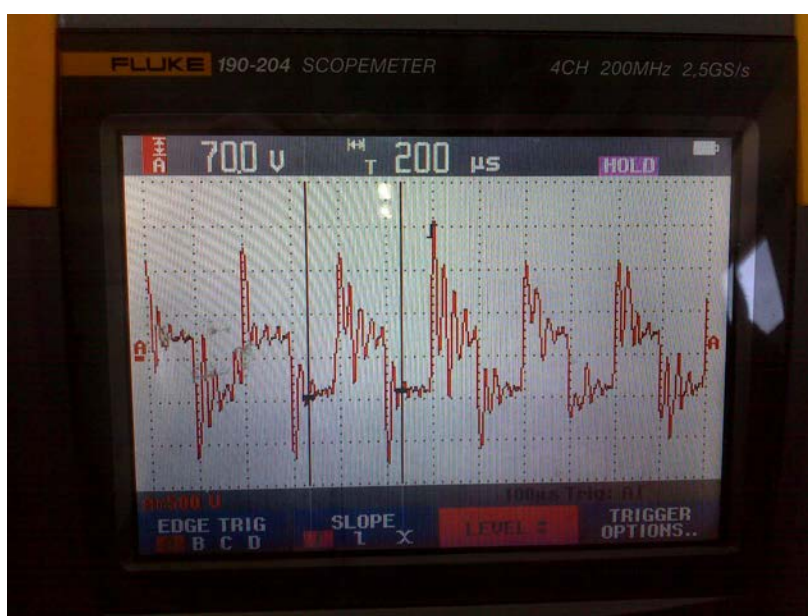
A partire da Luglio 2003 tutti gli statori TK presentano DUE sensori KTY, l'utente potra' usare indifferentemente uno o l'altro, in caso di malfunzionamento di un sensore si potra' cambiare il collegamento con il sensore rimanente senza effettuare interventi di riparazione.



Filtri antirisonanza (Snubbers).

In certe configurazioni del sistema di alimentazione, nei motori possono aver luogo fenomeni di risonanza sugli avvolgimenti.

Questi fenomeni possono moltiplicare diverse volte la tensione istantanea verso terra provocando livelli eccessivi di stress per gli isolanti e inducendo gli stessi a rapida degenerazione fino ad una totale perdita di isolamento. L'immagine sottostante mostra la tensione rilevata tra centro stella e terra in un motore alimentato da inverter con tensine di DC-Bus di 600 V.



Si osserva che la tensione istantanea verso terra raggiunge i 1600 V, valore non sopportabile a lungo termine dagli isolanti del motore.

Per evitare questi incidenti, Phase Motion Control fornisce con ogni motore che ne necessiti un filtro (snubber) dimensionato sui parametri del motore (la presenza e il tipo di filtro sono indicati nel disegno di assieme del motore). Tale dispositivo va collegato a non oltre 5 m di distanza dal motore tra il cavo di centro stella del medesimo e la massa macchina.



NOTA IMPORTANTE I valori del filtro sono calcolati per installazione del motore in un sistema "campione". La effettiva configurazione di utilizzo (tipologia drive alimentazione, tipologia e lunghezza cavi alimentazione, eventuale presenza di ulteriori induttanze e/o filtri interposti tra drive e motore, etc.) può alterare significativamente la risposta del sistema. Si raccomanda pertanto di eseguire una misura della tensione tra centro stella e massa con snubber collegato per verificare che il picco di tensione sia compreso entro +/- 1200 Vpk. Questa verifica al primo avviamento di ogni nuova tipologia di motore e/o in caso di significative variazioni della configurazione del sistema di alimentazione (ad es. cambio di tipo o marca di azionamento utilizzato o dei filtri interposti).

Montaggio

Durante il montaggio fare sempre riferimento al disegno di assieme in vostro possesso.

Il montaggio e l'installazione di un motore TK e' quasi sempre una operazione strettamente legata alla tipologia della macchina nella quale sono installati, quelle che seguono perciò sono solamente raccomandazioni generali di corretto utilizzo delle parti del motore.

Statore

L'installazione dello statore normalmente non presenta particolari difficoltà.

Fare attenzione a:

Cavi di collegamento	Qualora i cavi di collegamento siano liberi occorre fare attenzione che gli stessi non possano danneggiarsi o incidersi per schiacciamento con parti metalliche. Contattare PHASE MOTION CONTROL nel caso di danneggiamento.
Teste avvolgimento	Tipicamente, se non protette da particolari flangie di protezione, le teste degli avvolgimenti sono a vista e occorre fare attenzione a non urtarle o incidere con parti metalliche per evitare la rottura degli isolamenti. Contattare PHASE MOTION CONTROL nel caso di danneggiamento.
Raffreddamento a liquido	In presenza di carcasse predisposte al raffreddamento con liquido fare attenzione ad eventuali perdite dai raccordi di ingresso /uscita, ed evitare che tali perdite possano venire a contatto con l'avvolgimento. Contattare PHASE MOTION CONTROL nel caso di perdite di liquido sull'avvolgimento.
Distanze di sicurezza	Nel caso di montaggio di flangie aggiuntive in vicinanza delle teste degli avvolgimenti fare attenzione alla distanza minima di sicurezza che deve essere $\geq 6\text{mm}$ per garantire il corretto valore di isolamento. Contattare PHASE MOTION CONTROL nel caso di distanze minori.

Avvertenze speciali per raffreddamento a liquido:

1. Se si utilizzano carcasse tipo SQUID o comunque cavità di raffreddamento ad anelli, secondo la tecnica raccomandata da Phase Motion Control, fare particolare attenzione alla corretta posizione dei fori di ingresso e uscita liquido refrigerante; essi devono sempre trovarsi a 180 gradi rispetto al primo spacco di congiunzione tra l'anello di raffreddamento di estremità ed il

successivo. Carcasce con un numero pari di anelli hanno ingresso e uscita sullo stesso angolo; carcasce con un numero dispari hanno ingresso e uscita a 180 gradi.

2. Verificare che in nessuna condizione la pressione del liquido di raffreddamento possa superare 500,000 Pa per evitare che la risultante deformazione del motore possa compromettere la tenuta degli O-ring (soprattutto per motori di diametro superiore ai 400 mm)
3. Nel caso di impiego di acqua e glicole, rammentare che il glicole tende a corrodere le guarnizioni. Utilizzare esclusivamente guarnizioni in VITON (gli O-Ring forniti con i motori sono in tale materiale)
4. E' comunque preferibile additivare l'acqua del circuito di raffreddamento con un neutralizzatore ionico (p.es. ELF Chip Supra, Total 60L, Eurotherm Eurocold 131), per limitare la corrosione ed il deposito di morchie.
5. Evitare di sovraraffreddare il motore portando l'esterno o l'interno ad una temperatura inferiore a quella dell'ambiente; cio' porterebbe alla formazione di condensa e successivamente alla degenerazione dell'isolamento
6. Per quanto possibile, e' buona pratica prevenire l'allagamento dell'avvolgimento anche nel caso di perdita degli O-Ring predisponendo opportuni fori e canali di drenaggio.
7. Verificare che il circuito sia esente da bolle e sacche d'aria con opportuno spurgo del circuito,

Rotore

Il montaggio del rotore e' chiaramente dipendente dal tipo di albero a cui viene accoppiato.

Fare attenzione a:

Inserimento rotore su albero	Tutti i rotori dei motori TK possiedono magneti permanenti, occorre perciò evitare montaggi a caldo dei rotori in quanto si rischia di smagnetizzare il rotore se si lo stesso supera la temperatura di 80 C al montaggio (e cioe' fuori dallo statore) Contattare PHASE MOTION CONTROL nel caso di smagnetizzazione.
Accoppiamento Rotore albero	Rispettare sempre i valori di interferenza fra albero e rotore comunicati da PHASE MOTION CONTROL.
Copertura magneti in carbonio	Su rotori di questo tipo fare particolare attenzione all'integrità' della ritenzione magneti di in fibra di carbonio. Questo anello, altamente anisotropo, pur garantendo il più alto precarico centrifugo per rotori ad alta velocità, può danneggiarsi facilmente se colpita da oggetti metallici che oltretutto, se ferromagnetici vengono attratti dal rotore. Contattare PHASE MOTION CONTROL nel caso di danneggiamento.

Su richiesta sono disponibili rotori con foro e doppio diametro per smontaggio idraulico.

Montaggio rotore all'interno dello statore

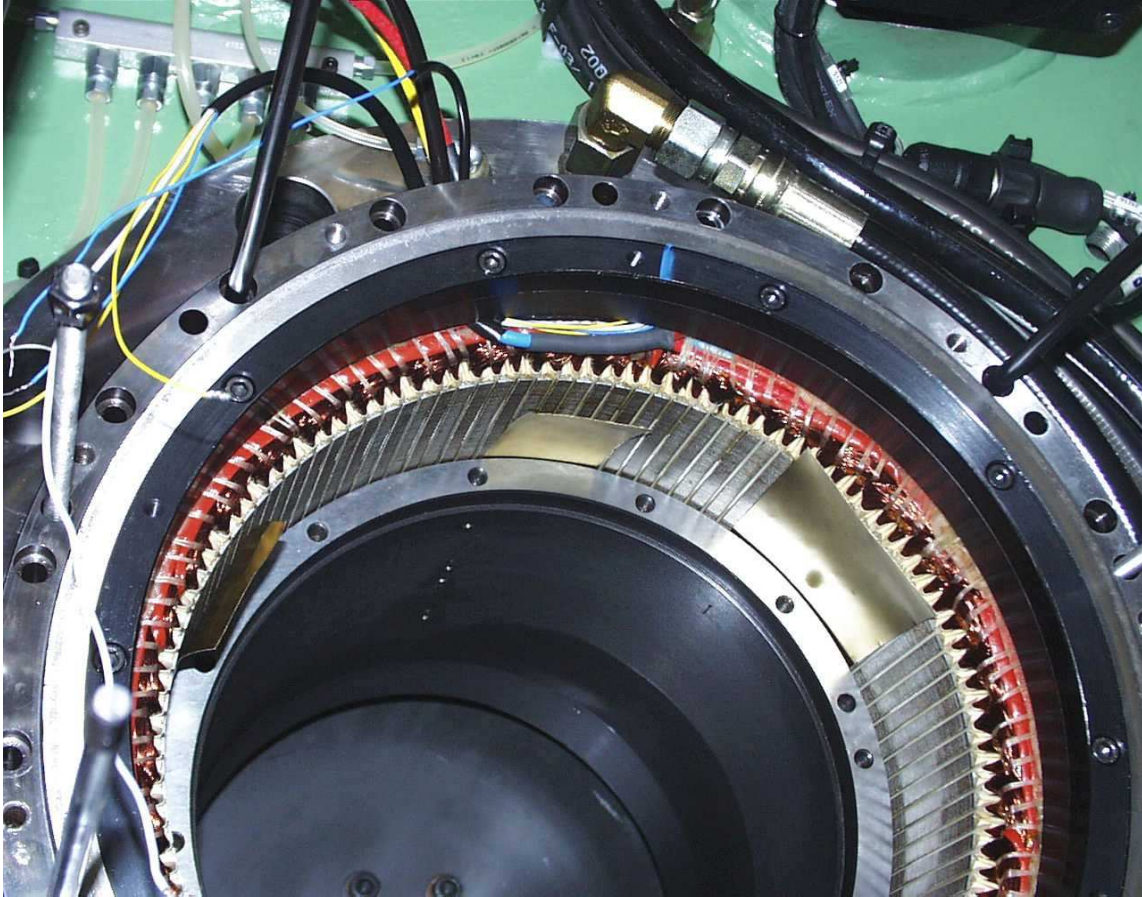


Avvertenza importante: Evitare in ogni circostanza che il rotore magnetizzato passi in prossimità dei cuscinetti. Cuscinetti con sfere o gabbie magnetizzate sono soggetti ad un consumo rapidissimo soprattutto in impieghi ad alta velocità.

Qualora non si fossero predisposte da parte del cliente delle attrezzature apposite come alberi lunghi con possibilità di scorrimento o spine di riferimento per l'introduzione, vi sono alcune operazioni da seguire per il corretto inserimento del rotore nello statore:

1. Occorre predisporre degli appositi "shims" cioè delle bandelle di materiale amagnetico tenero, per.es. ottone o rame, da interporre fra rotore e statore. Tali bandelle dovrebbero essere almeno 4 e posizionate equispaziate una dall'altra nella circonferenza interna dello statore e devono avere spessore pari a circa la metà della distanza del traferro meccanico radiale fra rotore e statore. Questo per garantire un centraggio adeguato pur permettendo l'estrazione ad inserimento avvenuto. (Nota: fino alla taglia 450 i motori TK vengono forniti con 4 shims di mylar inclusi nell'imballo).
2. Poco prima di avvicinare il rotore allo statore levare il nastro adesivo di protezione della banda magnetica e verificare che non vi siano parti metalliche attratte dal rotore, eventualmente pulirlo con aria compressa.
3. Imboccare il rotore sullo statore verificando che gli "shims" siano in posizione e che possano essere levati una volta inserito il rotore.
4. Inserire il rotore facendo attenzione alla forza di attrazione assiale che tende a risucchiare il rotore nello statore. Tale forza inizia a esercitarsi a qualche cm dall'inserzione, raggiunge il massimo all'inserzione e resta costante durante l'introduzione. La forza è approssimativamente 15 N per ogni mm di diametro del rotore.
5. Qualora si utilizzassero dispositivi tipo carro ponte o altro per il trasporto del rotore fare attenzione che il rotore non si avvicini pericolosamente a parti ferro magnetiche, come parti della macchina travi etc.
6. Una volta inserito il rotore può essere fissato con l'interfaccia della macchina e in seguito si possono levare gli "shims".
7. Qualora l'interfaccia al rotore fosse prevista con un cuscinetto frontale e uno posteriore si possono levare gli "shims" prima del secondo fissaggio, il rotore verrà attratto dallo statore ma rimane possibile la centratura nella parte rimanente avendo cura di realizzare **uno smusso conico** sulla sede dell'ultimo cuscinetto montato.

La foto riporta a titolo di esempio un inserimento di rotore nello statore con "shims".



Collaudi da effettuare dopo il montaggio

- 1) Dopo il fissaggio del rotore, se possibile, verificare la libera rotazione del rotore;
- 2) Per prima cosa verificare la forza elettromotrice del motore imprimendo una rotazione manuale e confrontare con il data sheet. Annotare \ il valore rilevato e la temperatura di misura; questo valore potrà essere utile per successive diagnostiche e/o misure di temperatura del rotore. Se la forza elettromotrice rilevata e' entro +/-8% dal valore di specifica e il bilanciamento delle tre fasi e' entro il 5% il montaggio e' stato effettuato correttamente.
- 3) Ripetere la prova di isolamento del motore (secondo Tab. 1) a montaggio macchina avvenuto, per verificare la correttezza ed integrità dei cablaggi e per escludere la possibilità di un danno agli avvolgimenti durante il montaggio. Si raccomanda di eseguire il collaudo in CC (le prove di isolamento in AC sono distruttive e vengono falsate dalla capacita parassita dei motori e dei cablaggi, che sono elevate. Massima corrente di perdita accettata: 100 uA, stabile o in diminuzione. Effettuare le prove con snubber disconnesso, se presente.
- 4) Cablare lo snubber sul terminale di centro stella del motore
- 5) Verificare la tenuta del circuito di raffreddamento, se presente, portando lo stesso alla pressione di 1.5 bar e verificando, a circuito chiuso, che la pressione venga mantenuta;

6) Procedere con la messa in servizio elettrica.

ATTENZIONE: nel caso di prima installazione di un nuovo tipo di motore eseguire la verifica della tensione avvolgimenti rispetto a massa secondo quanto riportato nel precedente capitolo "Raccomandazioni".

Informazioni tecniche generali sui motori "frameless" serie TK

I motori brushless serie TK in esecuzione "frameless" offrono la più alta densità di coppia oggi disponibile per applicazioni ad alto rendimento con accoppiamento diretto. A differenza dei motori coppia tradizionali, le unità serie TK dispongono della capacità di offrire sia alta coppia sia alta velocità e per questo si prestano all'uso come motori sia di mandrini che di tavole rotanti. I motori TK sono costituiti da statore e rotore forniti separati, previsti per l'assemblaggio diretto entro la struttura della macchina. Sono previsti per alimentazione trifase, incorporano magneti permanenti a terre rare (Ferro, Neodimio, Boro) e raggiungono la più alta densità di coppia sia continua che di picco oggi disponibile, unitamente ad alta velocità e possibilità di controllo del flusso in un campo a potenza costante di 10:1. Sui rotori vengono applicati magneti speciali prodotti da Phase M. C. con fattore di perdite minimo che permettono operazioni ad alta velocità con rotore sottile isotropico. Tutti i rotori sono strutture rigide con magneti applicati e trattenuti meccanicamente senza collanti, mediante l'uso di una banda in fibra di carbonio precaricata, per un utilizzo in piena sicurezza anche alle alte velocità.



I rotori sono frequentemente richiesti e forniti in esecuzione "semi custom" per consentire l'accoppiamento diretto con cuscinetti, encoders, freni. Tutti i motori TK, per ottenere la massima resa, richiedono e sono previsti per raffreddamento a fluido (acqua) sull'esterno dello statore. E' anche possibile il raffreddamento per conduzione/convezione. Tuttavia il funzionamento a potenza costante (a controllo di flusso) richiede sempre il raffreddamento ad acqua. Su richiesta possono essere fornite carcasse a disegno del cliente, atte a contenere i circuiti magnetici dei motori frameless standard disponibili, incorporanti il circuito di raffreddamento o anche sottoassiemi parziali di

macchina, con cuscinetti ed encoders. Il campo delle coppie disponibili spazia da 10 a 40'000 Nm con diametro massimo di 1150 mm; al di sopra di tale diametro, sono disponibili unità "semi custom" a segmenti, usualmente fino al diametro di 18 m.

Applicazioni:

Operazioni di taglio metalli

Accoppiamento diretto a tavole rotanti per contouring e tornitura;
Accoppiamento diretto a mandrini di fresatrici e torni;
Motori tubolari per mandrini di macchine multi-mandrino;
Tavole rotanti indexing per macchine transfer;

Operazioni di stampaggio metalli

Accoppiamento diretto a volani di presse;
Macchine per laminazione a freddo;
Accoppiamento diretto a capstans per macchine di laminazione/trafilatura a caldo e a freddo;

Materie plastiche

Accoppiamento diretto a estrusori;
Gruppi di miscelazione e iniezione per macchine a iniezione (sostituiscono i motori idraulici)
Eliminazione delle scatole per ingranaggi nei miscelatori, macinatori, trinciatrici

Produzione energia

Generatori a magneti permanenti per piccole turbine a gas o a vapore, cogenerazione
Generatori ad accoppiamento diretto a bassa velocità e alto rendimento per impianti mini-idro ed eolici

Morfologia dei motori e guida alle applicazioni

I motori TK sono costituiti da:



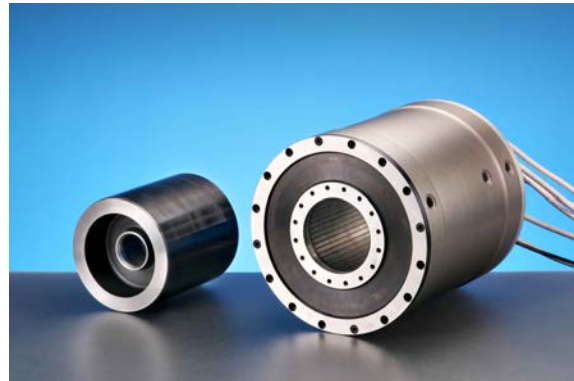
Uno statore trifase, avvolto e impregnato (3 bagni, metodologia preferita per utilizzo a cicli termici pesanti), o incapsulati sotto vuoto in materiale con conduttività termica elevatissima (per funzionamento con bassa temperatura superficiale). Lo statore può essere fornito contenuto in una sottile fascia cilindrica di acciaio (microframe), o inserito in una struttura metallica che contiene all'esterno il circuito di raffreddamento e gli O-rings di accoppiamento e tenuta, nonché, su un lato, alcuni fori filettati (tipo Squid). Le unità in microframe sono rettificate sul diametro esterno con tolleranza h7 e sono lavorate sulle due facce del pacco magnetico per garantirne il parallelismo.



Questa costruzione è prevista per bloccaggio forzato ad interferenza sul diametro esterno o per pressione assiale.

La tecnologia "microframe" ottimizza l'uso dello spazio dell'assieme e richiede che il corpo della macchina ricevente porti le cavità per il raffreddamento nel suo interno. Richiede particolare cura nel progetto dell'applicazione ma consente il più alto risparmio di spazio e densità di potenza oggi possibili.

In alternativa ad essa la carcassa tipo SQUID è più semplice da utilizzare, e richiede solo una cavità cilindrica mentre per il montaggio e il fissaggio del motore bastano alcune viti. La



densità di coppia che si ottiene è leggermente inferiore a quella ottenibile con l'esecuzione "microframe" a causa dell'ingombro radiale della carcassa.

L'isolamento elettrico dei motori è in Classe H (filo smaltato Classe C) con isolamento aumentato previsto specificatamente per l'alto gradiente dV/dt tipico delle applicazioni nei servozionamenti a 600 V dc; gli avvolgimenti sono muniti di tre sensori di protezione PTC e di una sonda lineare di temperatura KTY 84 per il controllo del processo. Il centro stella dell'avvolgimento è anche generalmente disponibile per scopi di filtraggio. Tutti gli avvolgimenti sono sottoposti in fabbrica a prova di isolamento a 4,5 kV dc verso terra e 3,5 kV dc fra fase e fase, valori fortemente in eccesso rispetto alle prescrizioni delle Norme.

Un rotore a magneti permanenti, a struttura tubolare isotropica, che alloggia i magneti sulla periferia esterna, protetti da un anello in fibra di carbonio precaricato (previsto per velocità tangenziali fino a 150 m/sec).

I magneti sono generalmente del tipo sinterizzato ad alta energia per alta temperatura Fe NdB, fabbricati da Phase Motion Control con propria tecnologia brevettata. Sono progettati per la massima classe di temperatura ed è virtualmente impossibile smagnetizzarli salvo nel caso di guasto dell'azionamento o uso improprio. Se è prevista una esposizione continua all'olio, devono essere specificati speciali magneti resistenti all'olio. Il



rotore può essere calettato e forzato sull'albero per interferenza oppure fissato mediante alcuni bulloni assiali. Quest'ultima soluzione è preferita nelle applicazioni per alta coppia e bassa velocità, come nelle tavole rotanti. In generale il profilo interno del rotore viene adattato alle necessità della

macchina che lo ospita purchè il profilo richiesto sia compatibile con il foro massimo richiesto dal campo magnetico e specificato nelle note tecniche che accompagnano il motore.

Per un corretto funzionamento i motori necessitano di un sensore di posizione sull'albero (non fornito) per rilevare l'orientamento del campo e per il controllo di posizione e velocità. Il rotore è del tipo a magneti permanenti e non ha perdite primarie, quindi in via di principio non ha necessità di raffreddamento. Tuttavia, la frequenza del chopper dell'inverter deve essere tenuta alta a sufficienza per consentire che la corrente di ripple, da picco a picco, sia inferiore al 20% del valore efficace della corrente nominale per evitare il prodursi di perdite addizionali nel rotore, pericolose e inaccettabili.

Vengono realizzate su richiesta carcasse a disegno con circuito di raffreddamento integrato, o anche sottoassiemi parziali di macchina, con cuscinetti ed encoders, basati sulle strutture magnetiche disponibili dei motori "frameless" standard.

I rotorii vengono forniti non bilanciati: il funzionamento ad alta velocità richiede la bilanciatura dinamica dopo il montaggio sull'albero dell'applicazione.

A seconda della forma geometrica e del tipo di circuito magnetico, i motori TK si possono suddividere in tre categorie principali:

Motori di grande diametro ad anello sottile per alta coppia e bassa velocità (motori coppia)

Applicazioni tipiche:

- Tavole rotanti per macchine utensili a controllo numerico, spesso con funzione di tornitura
- Indexers per macchine transfer
- Orientamento della testa di lavorazione in macchine a controllo numerico
- Grandi tavole rotanti (per l'industria del vetro, per imballaggio, per assemblaggio)
- Macchine per la deposizione di fibre di carbonio
- Azionamento diretto di miscelatori/mulini (per cemento, ceramica, gomma)
- Grandi generatori a bassa velocità (per centrali mini-idro, per energia eolica)
- Stampaggio metalli (presse e piegatrici elettriche)
- Macchine ad iniezione di materie plastiche ad azionamento diretto

In tutte queste applicazioni, l'azionamento diretto annulla il gioco ed elimina la necessità di una scatola ingranaggi che a sua volta limita la precisione e le prestazioni dinamiche del sistema. Non è più necessaria la tavola hirth. La precisione delle tavole coincide con la precisione del sistema di encoder. Il sistema è quindi estremamente semplice, flessibile e riprogrammabile. L'eliminazione del sistema di trasmissione e del suo gioco ed elasticità consente una larghezza di banda di controllo fino a 250 Hz, sicchè un ciclo di posizionamento può essere completato con grande precisione in pochi msec con vantaggio del tempo di ciclo macchina. Per ottenere una servo risposta adeguata nell'azionamento diretto di applicazioni di grande precisione e alta rigidità come le tavole rotanti e indexanti delle macchine utensili a comando numerico, il sensore deve essere sinusoidale in modo che l'azionamento possa interpolare la posizione reale con una risoluzione almeno 10 volte più grande della precisione richiesta. Inoltre il fissaggio del sensore o il montaggio a molle devono avere una

frequenza di risonanza intrinseca superiore a 2000 Hz, allo scopo di non limitare i risultati complessivi del sistema.

Motori per mandrini di torni e fresatrici

Motori brushless lunghi e snelli con possibilità di controllo del flusso con velocità da medie ad alte, con alta densità di potenza, adatti per lavorazioni pesanti o per il controllo di carichi di grande inerzia, per operazioni di avvolgimento o svolgimento. I motori TK hanno attualmente la più alta densità di potenza e consentono la produzione di elettromandrini con livello di coppia non diversamente raggiungibile, in un campo di diverse migliaia di Nm, e al tempo stesso raggiungono alte velocità di migliaia di giri al minuto. I motori per mandrini sono comunque servomotori ad alte prestazioni per cui un'altro campo emergente di applicazioni sta nello svolgimento di cicli brevissimi.



Recenti applicazioni si sono avute per il controllo diretto della mazza in roditrici ad alta velocità con numero di colpi superiore a 300/min o più, posizionamento di carichi pesanti, in macchine per saldatura di reti elettrosaldate.

Applicazioni tipiche:

- Torni di potenza per l'industria automobilistica
- Motori per mandrini di fresatrici e centri di lavorazione meccanica ad alta velocità
- Fabbricazione di reti elettrosaldate

Motori tubolari, di piccolo diametro per unità a mandrini multipli

Applicazioni tipiche:

- Motori di alta potenza e velocità per applicazioni con interasse laterale limitato
- Teste di foratura multipla
- Torni a fantina mobile

Sezione dei cavi terminali in relazione alla corrente nominale del motore

Isolamento in PTFE, 2500 V ac, L = 500 mm

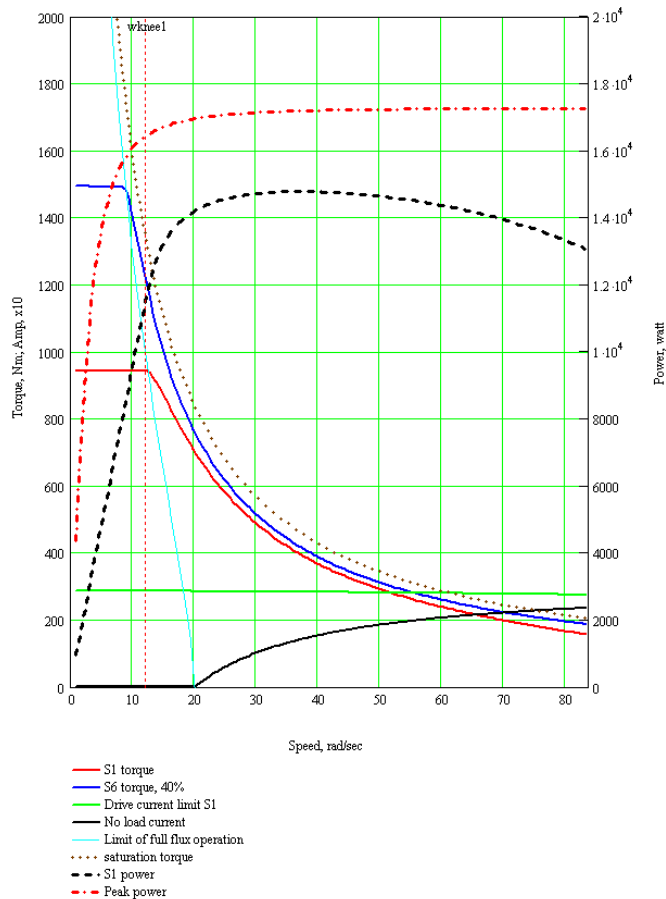
Corrente nominale	Sezione cavo
In < 15 Arms	1.22 mmq = AWG 16
15 Arms <= In < 25 Arms	2.97 mmq = AWG 12
25 Arms <= In < 45 Arms	8.6 mmq = AWG 8
45 Arms <= In < 82 Arms	15 mmq
82 Arms <= In < 110 Arms	25 mmq
110 Arms <= In < 200 Arms	50 mmq

Come scegliere il motore TK più adatto ?

In primo luogo va definita la fattibilità tecnica dell'applicazione. In generale tutti i motori hanno in comune la stessa limitazione fisica, che è la capacità di generare la "forza al traferro", cioè la forza trasversale tra statore e rotore, che è lineare nei motori lineari, e diventa coppia in un motore circolare. Il valore della forza prodotta per unità di area dipende dalla tecnologia del motore ma è sostanzialmente limitato dalle proprietà dei materiali (magneti, rame, acciaio) usati nei motori. La



tecnologia PM offre la più alta forza specifica al traferro oggi disponibile, e questo valore aumenta gradualmente seguendo i miglioramenti della tecnologia. Molti altri fattori (condizioni di raffreddamento, dimensioni, spessore del traferro, velocità lineare, ecc.) influiscono su questo valore che va considerato solo come un riferimento di massima. I motori rotativi TK e i motori lineari Wave sono caratterizzati da una forza di picco al traferro attorno a $80'000 \text{ N/mq}$, e un valore continuo con raffreddamento ad acqua di ca. $55'000 \text{ N/mq}$.



Il valore limite di forza al traferro spiega perchè è sempre opportuno utilizzare il massimo diametro disponibile per massimizzare la coppia risultante. In generale se in

un motore si varia il diametro, la coppia si riduce col quadrato del diametro, mentre varia solo linearmente con la lunghezza. Conseguentemente, per verificare se una nuova applicazione è possibile, se si ritiene che la disponibilità di coppia costituisca un limite, va innanzitutto determinato il massimo diametro utilizzabile compatibilmente con le esistenti limitazioni fisiche e la massima velocità periferica (valori sotto i 150 m/sec non pongono problemi) e quindi può essere stimata la superficie del traferro. Questo può fornire una stima di massima della lunghezza del motore e quindi dare un'indicazione circa la fattibilità dell'applicazione.

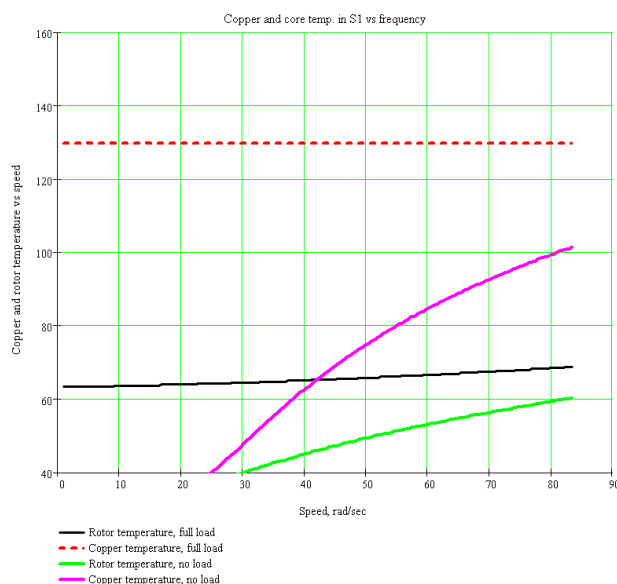
Motori con grande diametro e limitata lunghezza assiale rappresentano la più efficiente soluzione per le **applicazioni richiedenti alta coppia e bassa velocità**, e presentano anche il vantaggio addizionale di non richiedere cuscinetti separati in quanto possono generalmente utilizzare gli stessi cuscinetti del carico condotto. Tuttavia il momento d'inerzia varia con il cubo del diametro, quindi **dove l'inerzia costituisce il carico principale, sono più adatti motori lunghi e snelli**. Un esempio tipico è costituito dall'azionamento diretto della mazza di roditrici ad alta velocità, nelle quali il movimento viene invertito oltre 300 volte/min, o nelle cesoie volanti ad alta velocità; in questi casi motori TK tubolari, raffreddati ad acqua forniscono la soluzione di più alta prestazione.

Gli **azionamenti dei mandrini** generalmente richiedono sia alta coppia che alta velocità ma il diametro dei motori è generalmente limitato, quindi essi tendono ad essere lunghi e snelli. Sono normalmente prodotti motori con rapporto "diametro al traferro/lunghezza del pacco" fino a 1:3. In questo caso la tecnologia Phase M.C. dei motori PM consente la produzione di **statori e rotori estremamente snelli**, particolarmente utili nelle applicazioni in macchine multimandrino.

I **motori per mandrini a magneti permanenti** prodotti con la tecnologia di magneti per alta frequenza di Phase M.C. possono operare sia in regime di coppia costante che di potenza costante. Il campo a potenza costante, a seconda del tipo di motore, può superare il rapporto 10:1 sebbene questo sia generalmente limitato dalla capacità dell'azionamento scelto di controllare un campo di deflussaggio profondo. Se confrontati con motori a induzione AC per mandrini, il progetto di motori a magneti permanenti offre:

- Coppia nominale circa doppia a parità di taglia del motore
- Albero più grande in rapporto al diametro esterno
- Perdite contenute entro lo statore; il rotore è freddo e i cuscinetti possono funzionare con più precisione e affidabilità
- Rotore meccanicamente robusto (non laminato) il che garantisce la stabilità della bilanciatura
- Ampio campo di controllo a potenza costante (fino a 10:1) senza prese intermedie sull'avvolgimento
- Assenza di flusso radiale, che può indurre correnti nei cuscinetti

Nella tecnologia Phase M.C. non ci sono differenze fisiche sostanziali fra i motori coppia e i motori per mandrini; essi hanno la stessa scorrevolezza e ampia larghezza di banda necessarie per indexing ad azionamento diretto e per le operazioni di contouring, per cui **sono ora possibili operazioni di tornitura e fresatura con lo stesso motore**. Esiste tuttavia una differenza fondamentale fra gli azionamenti per mandrini con motore a magneti permanenti o a induzione. Nella tecnologia con motori a induzione l'alimentazione esterna viene usata per magnetizzare il motore (a bassa velocità, alta coppia) con il risultato di ottenere una coppia disponibile ridotta; La riduzione di flusso è facilmente ottenuta riducendo la corrente magnetizzante. Con ciò il motore è "caldo" al massimo carico e "freddo" a vuoto. Al contrario i motori a magneti permanenti fruiscono del campo dei magneti permanenti ad alta energia e quindi nessuna alimentazione viene richiesta per generare il campo magnetico e quindi una maggior quantità di energia può essere utilizzata per



produrre coppia. Quando però il flusso deve essere ridotto, l'alimentazione è necessaria appunto per ridurre il campo magnetico, per cui i motori a magneti permanenti assorbono una certa corrente anche senza carico.

La Fig. 1 mostra un diagramma tipico coppia/velocità per un motore combinato coppia/mandrino con 570 mm di diametro, 100 mm di lunghezza assiale; in Fig. 2 sono riportate le temperature a pieno carico e a vuoto. Si può osservare che al disopra di una velocità critica (ginocchio, cioè la velocità alla quale avviene il passaggio fra il regime "coppia costante" e quello "potenza costante"), la temperatura del motore diventa progressivamente indipendente dal carico.

Struttura meccanica, controllo del traferro e attrazione magnetica

Un'altra caratteristica utile della tecnologia PM è la possibilità di operare con un traferro ampio, fino a diversi millimetri nei motori più grandi. Questa caratteristica può essere utile in macchine con importanti deformazioni, come le presse ad iniezione per plastica o presse a urto (bilancieri e magli). Normalmente il traferro è dell'ordine di 1 mm, radiale, e ciò generalmente consente progetti in cui il motore utilizza i cuscinetti della macchina senza necessità di cuscinetti separati.

Il flusso magnetico nel rotore genera forze di attrazione radiali. Queste sono perfettamente bilanciate solo se il rotore sta al centro dello statore, e aumenta con l'eccentricità. In pratica, questo è equivalente ad una "rigidità negativa" che deve essere compensata da una rigidità positiva molto più alta nel sistema dei cuscinetti. I dati relativi all'attrazione possono essere forniti a richiesta; l'ordine di grandezza appare nel grafico di Fig. 3, per un motore coppia di 1000 Nm, diametro 370 mm, lunghezza 105 mm, con un traferro radiale di 1 mm.

