

Encoder innovativi per durata e precisione senza compromessi

Jeff Smoot
Vp of Motion Control
CUI
www.cui.com

Gli encoder basati sulla tecnologia capacitiva assicurano livelli di prestazioni, affidabilità e accuratezza non conseguibili con gli encoder ottici e magnetici tradizionali

Gli encoder rotativi forniscono informazioni critiche sulla posizione degli alberi motore e quindi sulla loro direzione di rotazione, velocità e accelerazione. Si tratta di componenti critici dell'anello di retroazione per il controllo del movimento in numerose applicazioni nei settori industriale, aerospaziale, energetico, della robotica e dell'automazione. In contesti di questo tipo gli encoder devono essere in grado di garantire affidabilità sul lungo termine, durata ed elevate prestazioni, pur operando spesso in condizioni ambientali severe per la presenza di polvere, sporcizia, variazioni di temperatura e vibrazioni di notevole intensità. La richiesta di encoder è aumentata notevolmente a causa del notevole incremento di applicazioni che richiedono un'elevata precisione nel controllo del movimento.

Il problema che un progettista deve affrontare è la scelta tra i due più diffusi tipi di tecnologia utilizzata per la realizzazione degli encoder: ottica e magnetica. Il primo approccio garantisce la miglior accuratezza a fronte di una minore affidabilità mentre il secondo assicura una maggior durata a scapito dell'accuratezza. Mentre in alcuni progetti è possibile evitare l'uso degli encoder, questi dispositivi rappresentano una connessione di vitale importanza per la maggior parte degli anelli di controllo/retroazione (si faccia riferimento al riquadro: "Alcune considerazioni sui progetti sensorless").

Compromessi necessari

Gli encoder tradizionali sono caratterizzati da un numero di impulsi per giro (ppr - pulse per revolution) compreso tra 48 e 2.048, mentre la maggior parte delle applicazioni richiede un

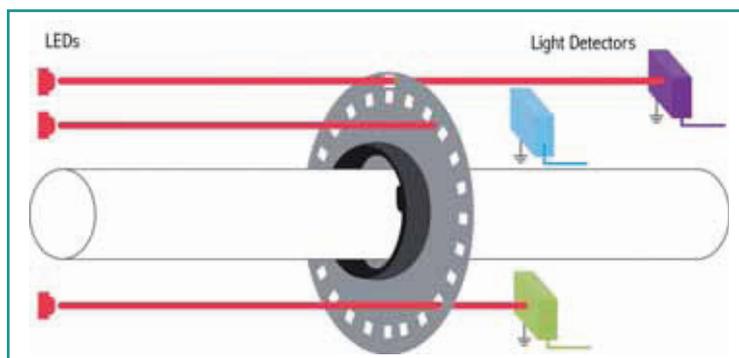


Fig 1 - Schema semplificato di un encoder ottico

numero di impulsi compreso tra 800 e 1.024 ppr. Sebbene un elevato numero di giri sembrerebbe garantire una precisione maggiore, non va dimenticato che ciò si traduce in un aumento dei costi e della complessità, con un conseguente incremento della mole di calcoli e di elaborazione richiesta al controllore di sistema o al processore presente nell'anello. Oltre a non essere strettamente necessaria, un'eccessiva precisione può essere dannosa per la presenza di rumore, vibrazioni e distorsione della posizione dell'albero.

Molti encoder sono basati su principi di natura magnetica oppure ottica. La tecnica di tipo ottico prevede l'uso di un disco in plastica o in vetro con due insiemi di finestre poste attorno alla circonferenza, come schematizzato in figura 1. Una sorgente di luce a LED e una serie di fotodiodi sono posizionati ai lati opposti del disco: nel momento in cui il disco gira, il passaggio o meno della luce attraverso le finestre genera le tipiche onde quadre degli impulsi delle uscite in quadratura A e B.

Nonostante sia ampiamente utilizzato, l'approccio di tipo ottico ha parecchi svantaggi. Per quanto concerne la robustezza, elementi quali sporcizia, olio e altri agenti contaminanti potenzialmente presenti durante l'assemblaggio o che si accumulano nel tempo nell'ambiente di lavoro, possono interferire con il disco e le fessure e quindi con l'uscita dell'encoder. L'approccio tradizionalmente utilizzato per attenuare l'esposizione ad agenti contaminanti prevede il ricorso di un alloggiamento a campana per l'encoder. Una soluzione di questo tipo, in ogni caso, non elimina completamente l'esposizione agli agenti contaminanti presenti nell'ambiente. Senza dimenticare che questa soluzione comporta un incremento sia delle temperature sia dei costi dell'applicazione. I LED presenti negli encoder ottici, inoltre, hanno una durata limitata, la loro luminosità può ridursi anche della metà in un arco di tempo compreso tra 10.000 e 20.000 ore (circa uno o due anni) e alla fine si consumano. Nel caso il disco sia realizzato in plastica, per ovvii motivi di natura economica, l'intervallo di temperatura di funzionamento è limitato e possono presentarsi fenomeni di distorsione o deformazione che penalizzano l'accuratezza. La costruzione di un encoder magnetico è analoga a quella di un encoder ottico a eccezione del fatto che in questo caso è utilizzato un campo magnetico invece di un fascio luminoso. Al posto del disco ottico dotato di fessure vi è un disco magnetizzato che gira su una serie di sensori magnetoresistivi. Ogni rotazione del disco produce una risposta, da parte di questi sensori, che viene inviata a un circuito di front end per il condizionamento dei segnali per determinare la posizione dell'albero. Caratterizzato da una durata elevata, l'encoder magnetico non è preciso come quello ottico ed è molto sensibile alle interferenze prodotte dai motori elettrici, in particolare dai motori passo-passo.

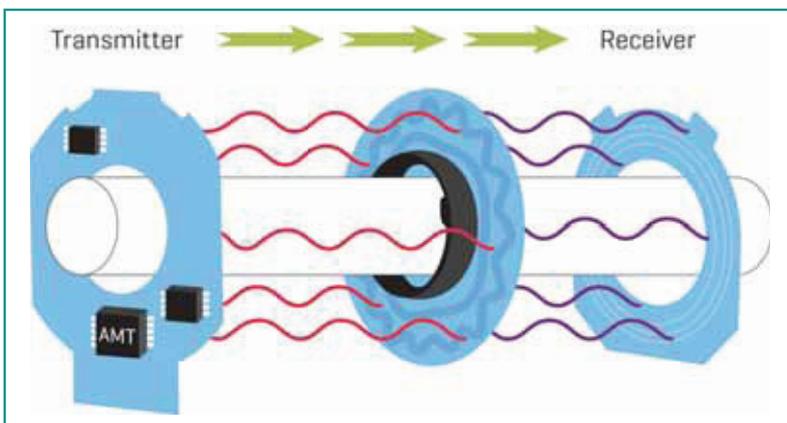


Fig 2 – Schema di principio del rilevamento capacitivo – file di strisce in quadratura e forme d'onda di uscita

ALCUNE CONSIDERAZIONI SUI PROGETTI “SENSORLESS”

Unitamente all'adozione su larga scala dei motori BLDC, un numero crescente di progetti è di tipo sensorless, ovvero non prevede l'uso di un encoder che indica la posizione dell'albero. Questi motori sono controllati mediante numerosi algoritmi, tra cui il controllo a orientamento di campo (FOC — Field Oriented Control) o controllo vettoriale.

Sebbene l'eliminazione dell'encoder appaia decisamente interessante in teoria, il controllo di tipo FOC presenta numerosi svantaggi: esso non garantisce il livello di precisione tipico di un progetto di tipo capacitivo, può “perdere” la posizione, con conseguente necessità di un reset, può dare adito all'insorgere di problemi in qualche punto del range della coppia e richiede una notevole mole di elaborazione da parte del processore di sistema. Esso quindi viene solitamente impiegato dove non è richiesto un elevato livello di precisione e di coerenza della misura della posizione dell'albero e della velocità, come nel caso degli elettrodomestici (lavastoviglie, asciugatrici). Per un gran numero di applicazioni industriali, invece, il costo dell'encoder è ampiamente giustificato se rapportato alle esigenze in termini di prestazioni richieste.

Oltre agli encoder ottici e magnetici, per la codifica della posizione sono anche disponibili sensori a effetto Hall. Sebbene siano efficaci e affidabili, questi sensori possono determinare la posizione dell'albero con livelli di accuratezza e risoluzione relativamente bassi.

Un approccio innovativo basato su un progetto collaudato

Per rispondere all'esigenza di poter effettuare una codifica della posizione angolare in maniera accurata, precisa e affidabile, CUI ha preso in considerazione altri tipi di tecnologie elettroniche. La soluzione messa a punto dalla società si basa sull'adattamento dei principi di funzionamento del rilevamento capacitivo di un encoder di posizione lineare standard, sviluppati oltre 30 anni fa per la realizzazione di calibri per la regolazione fine (si faccia riferimento al riquadro: “Dal calibro all'encoder”). Il risultato di queste ricerche è una serie di encoder rotativi accurati e affidabili denominata AMT.

Il rilevamento capacitivo prevede l'uso di pattern di strisce o linee, uno dei quali collocato sull'elemento fisso e l'altro sull'elemento in movimento, in modo da creare un condensatore variabile configurato come una coppia trasmettitore/ricevitore (Fig. 2). Nel momento in cui l'encoder ruota,

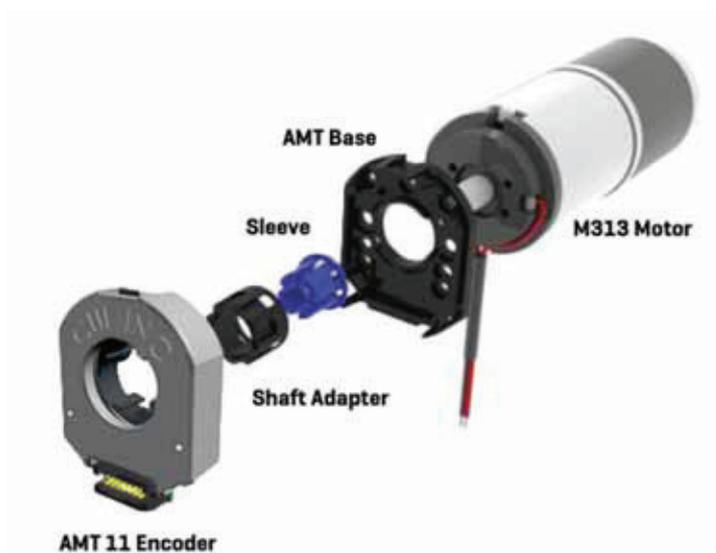


Fig 3 – Vista esplosa dell'assemblaggio di un encoder della famiglia AMT sull'albero motore

un circuito ASIC (Application Specific Integrated Circuit) conta le variazioni delle linee ed esegue l'interpolazione necessaria per individuare in modo preciso la posizione dell'encoder e la direzione di rotazione. L'uscita elettrica del circuito ASIC dell'encoder è perfettamente compatibile, per la natura stessa del progetto, con quella degli encoder ottici e magnetici. L'implementazione di un encoder privo di contatti come quella appena descritta garantisce significativi vantaggi per l'utilizzatore, tra cui:

- garanzia di una maggiore affidabilità intrinseca rispetto a un approccio di tipo ottico, grazie al fatto che polvere, sporcizia oppure olio non influenzano il comportamento del dispositivo;
- minore sensibilità alle variazioni di temperatura, con riflessi favorevoli sull'affidabilità e sulla linearità di funzionamento;
- minore sensibilità alle vibrazioni rispetto a un disco di vetro;
- assenza di LED che necessitano di regolazione o di sostituzione al termine della durata operativa;
- funzionamento con correnti dell'ordine di 6-10 mA, di gran lunga inferiori rispetto a quelle richieste dalle unità ottiche (20-50 mA); per questo motivo un encoder di questo tipo è adatto all'uso in dispositivi mobili e funzionanti a batterie.

Poiché la famiglia di encoder AMT di CUI non richiede la presenza di LED o di LOS (Line of Sight – rilievo visivo sen-

za ostacoli), può essere utilizzata in applicazioni finora precluse agli encoder tradizionali. Un produttore di apparecchiature di automazione per forni, ad esempio, doveva risolvere il problema legato ai frequenti fermi macchina che si verificavano nello stabilimento di un cliente, provocati dalla presenza di polvere di farina e di altri agenti contaminanti, che influenzava il funzionamento dell'encoder ottico montato su un'unità di produzione chiave. Per garantire un corretto funzionamento era necessario procedere a un fermo macchina mensile, alla sostituzione e al conseguente azzeramento. La sostituzione dell'unità ottica con una di tipo capacitivo ha permesso di risolvere questo problema. In un altro esempio, un costruttore di apparecchiature di perforazione off-shore doveva utilizzare un motore completamente immerso in olio, a causa delle elevate pressioni previste dall'applicazione considerata. In questo caso è stato scelto un encoder ottico, grazie alla sua capacità di operare in modo continuo in un fluido non conduttivo, come appunto l'olio.

Vi è un altro beneficio, sebbene meno ovvio, per i progettisti di anelli di controllo PID (Proporzionale-Integrale-Derivativo) a regolazione fine, rappresentato dalla possibilità di regolare il numero di impulsi per giro (ppr) dell'encoder, per ottimizzare le prestazioni senza dover cambiare l'encoder. La possibilità di modificare in maniera dinamica la risoluzione semplifica notevolmente il processo di ottimizzazione del sistema, che solitamente richiede la regolazione del codice oppure la modifica della risoluzione dell'encoder. Nel caso di un encoder ottico, quest'ultimo processo prevede l'acquisto (e l'installazione) di differenti encoder, con conseguente incremento dei costi complessivi e allungamento del ciclo di progetto. Nel caso di un encoder di tipo capacitivo, invece, l'ingegnere di controllo deve semplicemente modificare la risoluzione dell'enco-

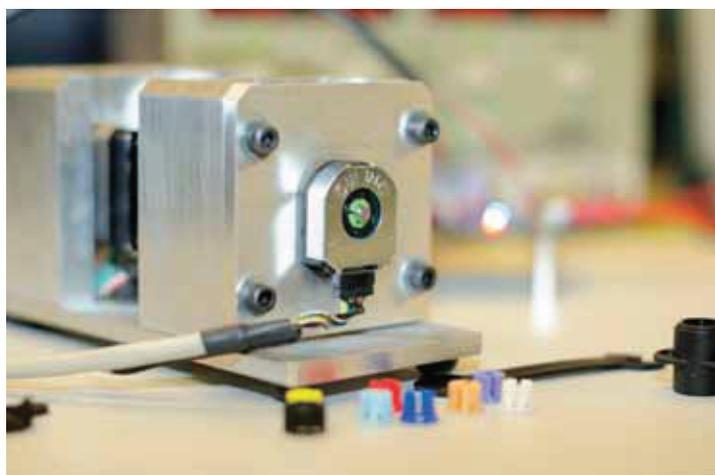


Fig 4 – Esempio di installazione dell'encoder AMT11 di CUI

DAL CALIBRO ALL'ENCODER ROTATIVO

der finché non si perviene all'impostazione desiderata dell'anello di controllo.

L'uso di un encoder capacitivo comporta altri vantaggi sia in fase di installazione sia durante la produzione. Dal punto di vista meccanico, i fori di montaggio sono compatibili con quelli degli altri due tipi di encoder, rendendo questa unità perfettamente compatibile, dal punto di vista dell'integrazione e delle funzionalità, con gli encoder tradizionali (Fig. 3). Un singolo encoder può quindi essere installato su alberi di differenti diametri utilizzando semplicemente boccole di adattamento; ciò contribuisce a ridurre il numero di SKU - (Stock-Keeping Unit - articoli da tenere a magazzino) da utilizzare per la produzione e la riparazione.

La versatilità di un encoder realizzato mediante un trasduttore capacitivo e da un circuito ASIC custom per l'interfaccia elettrica è illustrata dal dispositivo AMT11 di CUI (Fig. 4).

Caratterizzata da un diametro di 37 mm e da un profilo di soli 10,34 mm, questa compatta unità funziona con un'alimentazione di +5V. L'encoder è disponibile con uscite in quadratura (a 90°) CMOS compatibili, che forniscono la posizione oltre che in versioni con uscite di tipo "line driver" differenziali, compatibili dal punto di vista elettrico con i tradizionali segnali degli encoder ottici o magnetici. L'encoder fornisce un'ampia gamma di risoluzione programmabili, comprese tra 48 e 4.096 impulsi per giro, oltre a un impulso di indicizzazione per rotazione.

Tra le numerose opzioni disponibili si possono segnalare orientamento radiale o assiale dei connettori in funzione del tipo di applicazione e funzionamento nell'intervallo di temperatura compreso tra -40 e +105 °C, per garantire una maggiore durata.

Un possibile svantaggio associato all'uso degli encoder di tipo capacitivo, tipico peraltro di qualsiasi trasduttore elettronico e dei relativi circuiti, è la sensibilità a fenomeni di rumore elettrico e a interferenze elettromagnetiche (EMI). Un'accurata progettazione del circuito di interfaccia dell'ASIC e un'accurata regolazione degli algoritmi di demodulazione dell'encoder permette di attenuare problematiche di questo tipo.

La presenza di un circuito ASIC offre l'opportunità ai progettisti di integrare a bordo funzioni diagnostiche per verificare le prestazioni del meccanismo dell'encoder e del circuito ASIC, conferendo un grado di "intelligenza" più elevato all'encoder e all'intero sottosistema.

Grazie alla disponibilità di encoder ampiamente collaudati, basati sui principi del rilevamento capacitivo, il progettista

Il rilevamento di tipo capacitivo è solitamente impiegato per i commutatori di tipo tattile, dove il dito dell'utente svolge il ruolo della seconda armatura del condensatore. Ogni variazione di capacità è rilevata dal circuito di interfaccia, in modo da emulare il funzionamento di un tradizionale pulsante elettromeccanico. Essi sono spesso utilizzati in applicazioni quali ascensori e attraversamenti pedonali. I commutatori di tipo tattile sono particolarmente resistenti alla sporcizia, all'acqua e a un uso improprio, grazie all'assenza di parti interne in movimento e al fatto che la sola parte esposta è una piccola linguetta metallica integrata nella superficie di montaggio. L'uso del rilevamento capacitivo non è limitato ai commutatori on/off e il calibro digitale ne è un classico esempio. Circa 30 anni fa Ingvar An-



Il calibro digitale di Mitutoyo

dermo, un ingegnere elettrico che lavorava presso l'istituto di ricerca IM di Stoccolma, stava lavorando a un'applicazione per la lettura di banconote utilizzando la tecnologia capacitiva. C.E. Johansson contattò Andermo per lo sviluppo di un calibro digitale utilizzando la tecnologia magneto-resistiva, ma Andermo ritenne quell'approccio troppo complicato e decise di sfruttare la sua esperienza nel campo del rilevamento capacitivo. Il primo calibro prodotto da Johansson (Jocal) fece il suo debutto durante un'esposizione a Chicago nel 1980. Più tardi Johansson cedette in licenza la tecnologia alla giapponese Mitutoyo che alcuni anni dopo commercializzò il suo primo calibro digitale, venduto in tutto il mondo in milioni di unità (Fig. 1R). Andermo ha collaborato con CUI allo sviluppo degli encoder capacitivi della serie AMT, che utilizzano la medesima tecnologia applicata in questo caso alla misura della rotazione ad alta velocità. Tre sono gli elementi fondamentali: un trasmettitore ad alta frequenza, un rotore sul quale è inciso un pattern metallico sinusoidale e un ricevitore. Il rotore è situato tra le due schede trasmettitore e ricevitore. Quando il rotore gira, il pattern di metallo sinusoidale modula il segnale ad alta frequenza in una maniera prevedibile. La scheda ricevitore legge queste modulazioni e un circuito ASIC di tipo proprietario le traduce in incrementi del movimento rotatorio, con una risoluzione massima di 4.096 impulsi per giro.

non è più costretto a scegliere tra la maggior affidabilità offerta dagli encoder magnetici o la migliore accuratezza tipica degli encoder ottici. L'encoder capacitivo è in grado di assicurare elevati livelli di accuratezza e affidabilità, oltre ad altri vantaggi in termini di montaggio meccanico, gestione dell'inventario, scelta della velocità di rotazione, azzeramento della lettura e dissipazione di potenza, pur garantendo la completa compatibilità con le uscite standard. ■