

Motornet, un esempio di sistema integrato per Motion Control

Premessa

Con riferimento allo Speciale dedicato ai Sistemi Integrati per Motion Control, si è pensato di proporre un'analisi abbastanza approfondita di un sistema appartenente a questa categoria, per evidenziare gli elementi comuni che caratterizzano questi dispositivi. La Divisione S.B.C. di Parker Hannifin ci ha messo a disposizione Motornet, azionamento digitale per motori brushless integrato con il motore, che è quindi l'oggetto dell'analisi.

Questa scelta, ci si premura di sottolineare, non conferisce un particolare giudizio di qualità nè rappresenta una patente di eccellenza.

Caratteristiche base del sistema

Motornet, come si diceva, è un azionamento digitale per motori brushless integrato con il motore, che prevede, nella configurazione standard, oltre a funzioni di posizionario con profilo trapezoidale, albero elettrico, camme elettroniche, simulatore di motore passo-passo e controllo di coppia, anche un PLC a bordo (pico-PLC), programmabile secondo i più diffusi standard industriali (Instruction List e Ladder).

Tramite questa logica addizionale, è possibile una gestione flessibile degli ingressi e lo sviluppo di prestazioni non presenti nelle funzionalità base del convertitore, quali adeguamento dei guadagni dei loop in funzione della velocità o dello spazio, monitoraggio della coppia utilizzata per usura utensili, e altro ancora.

Inoltre Motornet, a semplificazione del cablaggio del sistema, è dotato di un'Interfaccia CAN, operante in modalità Communication Mode e Real Mode, per configurazione, monitoraggio, e comando di fino a quindici Motornet contemporaneamente. E' supportato sia il protocollo SBC-Can che il protocollo CANopen (secondo DS301).

Più precisamente, l'interfaccia CAN è basata sul livello fisico ISO/DIS11898, il livello Data Link è il Full Can Version 2.0 part A (con identificatore della priorità dei messaggi su 11bit), ed è utilizzato un subset del livello applicativo SBCCAN.

La gamma prevede un'unica elettronica abbinata a tre diverse taglie di motori in grado di produrre coppie nominali da 1,4 a 5Nm, con velocità variabili da 3000 a 6000 rpm in funzione della taglie dei motori.

I convertitori della serie Motornet sono disponibili in 3 modelli, con tensione di alimentazione di potenza 230V +/-10%, tensione di alimentazione di controllo 24V +/-10% - 1A, e, secondo il modello, corrente di uscita nominale da 3A a 5A, corrente di uscita di picco (2s) da 9A a 10A, potenza resa all'albero da 0,85 kW a 1,5 kW. Inoltre, dissipazione dell'elettronica di controllo 18W, dissipazione stadio di potenza da 18W a 45W, dissipazione resistenza di frenatura interna 40W, retroazione tramite encoder incrementale, frequenza di switching dello stadio di potenza 8 KHz, frequenza fondamentale in uscita massima 480 Hz, grado di protezione IP54 per consentirne l'uso a bordo macchina.

Con riferimento al mondo esterno, oltre al già citato CAN bus, sono disponibili due ingressi digitali 24V, usualmente utilizzati per l'acquisizione degli eventi e per la cattura quota.

Per quanto riguarda il software di base, le funzionalità prevedono controllore di velocità, gestore evoluto sui limiti di coppia, gestione finestre di velocità, posizionamenti con profilo di velocità trapezoidale, funzioni di albero elettrico con rapporto variabile e correzione di fase, funzioni di camma elettronica, controllo del motore in coppia con sovrapposizione del controllo di velocità.

Infine, per la parametrizzazione, sono previste due classi di parametri: a valori interi, regolabili in un campo di determinato valore (8 , 16 o 32 bit), e di tipo bit, che configurano il convertitore oppure attivano delle funzioni, assumendo i valori 0 ed 1.

Funzionalità standard

Le funzionalità standard dell'azionamento comprendono le funzioni di protezione parametrizzabili, quali le limitazioni automatiche di corrente erogata in base alla dissipazione stimata e le funzioni di diagnostica, che possono essere verificate in ogni istante, con controllo dello stato dell'azionamento.

I parametri di default sono trasferiti all'accensione nella memoria RAM di lavoro, e successive impostazioni dei valori dei parametri relativamente a specifica applicazione vengono effettuate solo via linea CAN bus. La funzionalità di questa linea può essere mantenuta anche in assenza della tensione di rete, mantenendo tensione sui morsetti 24V, che alimentano l'elettronica di controllo del convertitore.

Nelle condizioni di default, l'azionamento regola il motore in velocità in base al valore di un parametro di riferimento interno che rappresenta la velocità richiesta, con range +/- 6000 rpm.

Si possono effettuare delle comparazioni per velocità zero e altre velocità, impostare rampe di accelerazione e decelerazione, modificare i limiti di corrente e quindi di coppia erogabile, verificare lo stato del drive.

E' possibile utilizzare delle funzioni di azzeramento asse, già presenti nel drive, che vengono attivate mediante parametri bit, attuando due differenti procedure di azzeramento, denominate di tipo 1 e di tipo 2.

Non essendovi su Motornet un hardware per la simulazione o la ricezione di un segnale encoder, viene realizzato un segnale encoder su CAN che permette le configurazioni master-slave dell'albero elettrico e delle camme digitali . Tale segnale può essere configurato sia come ingresso (default) sia (in aggiunta) come uscita. Con la funzione "Encoder Virtuale" abilitata, è disponibile un encoder virtuale (master fittizio) la cui velocità è quella impostata in uno specifico parametro di velocità encoder virtuale con risoluzione pari a 1 rpm e un valore compreso tra -6000 e +6000 rpm.

Alle funzionalità di base si possono sovrapporre nuove funzioni dedicate ad applicazioni specifiche, inserendo uno tra i modi operativi disponibili.

Ogni modo operativo comanda il controllo di velocità attraverso un parametro di riferimento di velocità riservato ai modi operativi, e può limitare la coppia al motore con specifico parametro di limitatore di coppia. Il controllo di velocità adotta un parametro di riferimento di velocità riservato ai modi operativi oppure un parametro di riferimento principale, con selezione tramite un parametro bit.

I diversi modi operativi selezionabili

Controllo di coppia

Il primo modo operativo è il controllo di coppia realizzato secondo due modalità: modalità classica (vero controllo di coppia) e modo operativo di controllo di coppia con il controllo di velocità che continua a lavorare per avere un controllo sulla velocità limite. Il riferimento di coppia è il parametro di riferimento principale che, appunto, può essere utilizzato, in alcuni modi operativi, come riferimento per altre grandezze, tra cui la coppia.

Per predisporre il controllo di coppia occorre prima calibrare il controllo di velocità per avere un sistema stabile, poi impostare il parametro di modo operativo al valore desiderato, settando previsti valori di default, e specifiche impostazioni.

Albero elettrico in coppia

Particolarmente interessante la possibilità di poter asservire in coppia un asse ad un altro configurando la ricezione di un segnale encoder-coppia .

La procedura prevede l'impostazione sul Motonet che si vuole rendere master, di un segnale di tipo encoder-coppia in uscita, agendo su parametri di tipo bit. L'asse di questo Motonet viene così a generare il riferimento di coppia per altri Motonet che si desidera asservire al master. Naturalmente occorre agire anche sugli slave, che devono essere programmati in modo da ricevere il segnale encoder-coppia generato dal master, questo con una semplice impostazione di parametri.

Albero elettrico più posizionatore

Il modo operativo Albero Elettrico più Posizionatore somma le funzioni albero elettrico, posizionatore dinamico e velocità di scorrimento, in modo da poterle utilizzare anche contemporaneamente.

La funzione di inseguimento è riferita al segnale di encoder CAN in ingresso, con un contatore della posizione motore che si incrementa di 4096 passi al giro. Si può programmare il rapporto tra master e slave, ed è possibile scegliere la rampa da utilizzare durante la fase di aggancio o di sgancio. Inoltre usando le rampe principali e il PLC interno è possibile programmare diverse modalità di aggancio e sgancio con o senza recupero di fase.

La funzione posizionatore esegue un profilo trapezoidale in cui le rampe di accelerazione e decelerazione, la velocità a regime e la posizione finale sono definiti da specifici parametri, modificabili in qualsiasi momento.

Camma elettronica

Il modo operativo Camma Elettronica è espressamente progettato per soddisfare le esigenze delle macchine per il confezionamento che richiedano camme elettroniche.

La tabella della funzione camma è descritta con un vettore composto da 257 elementi ognuno dei quali indica la posizione che deve assumere l'asse controllato quando l'asse master è nella posizione espressa dalla formula :

$(\text{numero_elemento} * \text{modulo_master}) / 256$

Il valore degli elementi del vettore è compreso tra 0 e 9999 considerando che 10000 corrisponde al numero di count impostati nel parametro modulo slave.

Il 257° elemento definisce la camma come chiusa se è uguale a zero, come aperta se è uguale a 10000.

E' prevista la selezionabilità, tramite mode selector, della sorgente per il loop di posizione, tra: nessuna sorgente, posizionamento, camma elettronica e velocità. In funzione della scelta sono da considerare numerosi dettagli relativamente a parametri interessati e conseguenti funzionalità, che sono in questa sede omessi.

Realtime Mode: posizionatore via bus seriale sincrono veloce

Infine, il modo operativo Controllo di posizione via CAN bus.

Se viene abilitato questo modo operativo, Motornet esegue un loop di posizione di tipo proporzionale con feed-forward, e il generatore di profili, considerato esterno, deve inviare le informazioni relative al riferimento di posizione e di velocità via Can-bus in accordo con il protocollo SBC-Can

Messa in marcia e taratura

Come è regola generale, la prima messa in marcia di un sistema prevede tutta una serie di accortezze e avvertenze, che la manualistica del costruttore, in questo caso, espone con chiarezza, consentendo un approccio lineare e sicuro.

In particolare, verificato che le connessioni siano state effettuate secondo gli schemi e le indicazioni fornite, si procede all'accensione del convertitore, verificando come prima cosa che il nodo CAN sia attivo.

Si procede poi all'impostazione della velocità agendo sul parametro di riferimento interno (velocità richiesta), che prevede, come detto un range di +/- 6000 rpm.

Il successivo settaggio dei parametri bit Abilitazione Software e Stato dell'abilitazione Hardware, abilita il convertitore.

A questo punto, l'albero motore deve ruotare alla velocità impostata nel parametro di riferimento interno.

Il convertitore viene prodotto con preimpostati valori di default tali da soddisfare la maggioranza delle applicazioni, ma potrebbe però essere richiesta una modifica dei parametri di regolazione dell'anello di velocità e posizione preimpostati, e in questo caso occorre procedere a una taratura.

Su questo punto, possono essere utili alcuni concetti di base, validi in generale, anche al di fuori dello specifico contesto di questo sistema.

Posto che il compito principale di un convertitore è quello di controllare la velocità del motore in modo che questa segua il più fedelmente possibile la richiesta di velocità (riferimento), il seguire fedelmente il riferimento significa non solo che la velocità del motore eguagli il riferimento in condizioni statiche, ma che la medesima sia il più possibile uguale alla richiesta anche durante cambiamenti repentini, con adeguamento alle condizioni dinamiche. Per poter eseguire questo compito il convertitore dovrà conoscere alcune caratteristiche sia del motore che della parte meccanica collegata allo stesso. Tali informazioni sono comunicate al convertitore attraverso i cosiddetti parametri di taratura.

In questo contesto interviene il concetto di errore, differenza tra il riferimento di velocità e la velocità del motore. La grandezza errore è utilizzata dal loop di velocità per poter valutare, attraverso i parametri di taratura, quanta corrente sia più opportuno fornire al motore.

La corrente che circola negli avvolgimenti del motore si trasforma in coppia, consentendo al motore di accelerare o decelerare.

In ambito Motornet, più precisamente nell'ambito della sua documentazione tecnica, parlando poi di "guadagno" si fa riferimento alla rigidità dell'asse, o meglio, all'Angolo di Cedimento (in inglese: stiffness).

Se in un motore controllato da un convertitore si ha una richiesta di velocità uguale a zero, l'albero motore apparirà immobile. Ma applicando una coppia all'albero, questo cederà di un angolo proporzionale alla coppia applicata. Applicando la coppia nominale del motore e misurando l'angolo di cedimento in gradi, tale misura rappresenta un indice di bontà, anche se non l'unico, del regolatore così parametrizzato.

Per una corretta taratura di Motornet, è opportuno utilizzare un tool software che consenta una simulazione di un oscilloscopio a memoria, dato che non sono disponibili uscite analogiche di monitor corrente o tachimetrica motore. Infatti, l'unica interfaccia verso il mondo esterno è rappresentata dai due ingressi digitali e dalla linea CAN.

Anche nel caso di indisponibilità di un tool software del genere, è adottabile un metodo di taratura più approssimativo ma comunque applicabile.

In sostanza, si tratta di una taratura senza uso di strumentazione, che si basa su alcune formulazioni matematiche di non problematica applicazione, che sono in questa sede omesse.

Il pico-PLC di Motornet

Il "pico-PLC" interno rappresenta il mezzo con cui è possibile connettere il mondo esterno (ingressi digitali) con il mondo parametrico di Motornet.

Utilizzando il PLC è possibile copiare un ingresso digitale in un parametro binario, ed eseguire operazioni matematiche e booleane. Tutte le istruzioni del pico-PLC, ad eccezione di quelle aritmetiche, operano sul singolo bit.

Il programma del PLC deve essere inserito come lista istruzioni utilizzando il protocollo CAN.

Le principali caratteristiche del pico-PLC sono le seguenti: 128 passi di programma, tempo di scansione 6,144 ms, 2 timer, 15 istruzioni, 1 come profondità di stack, operazioni matematiche 16/32 bit, 2 ingressi veloci (512 ms).

Dato che la scansione del programma del pico-PLC avviene, come detto, ogni 6,144 millisecondi, con questo campionamento vengono dapprima letti gli ingressi, aggiornati i due timer, scandito il programma utente. Ne consegue che la lettura degli ingressi ha una variabilità di 6,144 ms rispetto all'evento fisico. Va tenuto presente che nel caso in cui la potenza elaborativa della CPU microprocessore sia particolarmente impegnata (modo operativo attivo, frequenti richieste seriali, programma PLC lungo), l'intera scansione del programma potrebbe richiedere più di 6,144 millisecondi, e questo potrebbe rappresentare un elemento critico per alcune applicazioni.

Il bus di campo CAN

Preliminarmente occorre sottolineare che Motornet possiede unicamente una linea CAN, cioè non è disponibile una seriale classica RS232 o RS422.

A questa limitazione, posto sia indispensabile in determinate applicazioni, si può sopperire tramite un device esterno, la scheda opzionale Bridge, con funzioni di gateway.

Si ricorda che un Gateway è in generale definibile come un apparato che consente di interconnettere tra loro reti locali completamente diverse, quindi che non condividono i primi tre livelli OSI rappresentati da Fisico, Linea e Rete. Le funzioni richieste a un Gateway sono la conversione del format dei messaggi, la traslazione degli indirizzi (questo perchè le reti potrebbero avere diverse strutture di indirizzamento), e la conversione di protocollo.

In ambito Motornet, tale device mette a disposizione la comunicazione seriale di tipo RS232/RS422, con conversione del protocollo seriale SBC, utilizzato da altri azionamenti Parker, nel protocollo CAN utilizzato da Motornet (SBCCAN o CANopen DS301).

La seriale di comunicazione del Bridge è di tipo half-duplex, master-slave, su linea RS232/RS422 asincrona. La velocità è impostabile da 600 a 57600 bit/sec.

Tornando al CAN bus, sul convertitore vi sono due modi di funzionamento: Real Time e Communication.

Il Real Time Mode rende possibile un link digitale realtime tra i convertitori e un controllo che si occupi di eseguire il calcolo delle traiettorie e inviare il riferimento di posizione, di velocità o entrambi ai convertitori, che possono rispondere con la posizione attuale dei motori.

Il Communication Mode permette di scrivere o leggere ogni parametro di ogni convertitore connesso al bus, funzionamento utilissimo quando si utilizzino le funzioni motion già realizzate nel software di base del convertitore.

L'indirizzo del nodo CAN deve essere impostato nell'opportuno parametro Codice dell'indirizzo per la linea CAN.

La lunghezza della rete CAN può essere da 40 a 5000m, con velocità di trasmissione che decrescono con l'estensione della rete stessa, da 10 kbps a 1 Mbps. Nel caso si superino i 1000m, potrebbero essere necessari dei ripetitori.

La messaggistica in Real Mode prevede diverse tipologie, tra cui messaggio ciclico da master a convertitore slave, messaggio di sincronismo da master a convertitore slave, messaggio ciclico da convertitore slave a master, messaggio ciclico multiplo da master a convertitore slave, messaggio di sincronismo multiplo da master a convertitore slave, messaggio aciclico di scrittura o richiesta parametro da master a convertitore slave, messaggio aciclico di risposta a una richiesta parametro, da convertitore slave a master, messaggio broadcast di scrittura parametro da master a convertitore slave, messaggio di allarme da convertitore slave a master.

In Communication Mode si ha messaggio di scrittura o richiesta parametro da master a convertitore slave, messaggio di risposta a una richiesta parametro, da convertitore slave a master

Previsto inoltre l'Extended Message Set 2, che consente lo scambio di aree di memoria tra il master e i convertitori sia in Communication che Real Time Mode. Lo scambio dei dati è comunque sincrono, il master trasmette i dati a tutti i convertitori i quali lo memorizzano in un buffer temporaneo. Successivamente il master trasmette il messaggio di sincronismo, i drive ricevendo questo messaggio copiano i blocchi di dati ricevuti dal buffer temporaneo all'area parametri e rispondono inviando al master i propri set di parametri.

In alternativa al protocollo SBCCAN è disponibile il protocollo CANopen. Tramite i dip-switch presenti sui Motornet per la configurazione dell'indirizzo del nodo è possibile un indirizzamento con valori che vanno da 1 a 63.

Mentre CAN propone una relativa semplicità di protocollo, con definizione solo dei primi due livelli standard OSI, cioè Fisico e Data Link, CANopen, pur basandosi sul bus seriale a due fili CAN, prevede delle ben precise specifiche per i meccanismi di comunicazione, che gli derivano dalla presenza di un Application Layer (Livello 7 OSI).

CANopen supporta sia l'accesso diretto ai parametri di un device (Object Dictionary), sia una comunicazione dati time-critical.

Aggiunge quindi, rispetto alla base CAN, uno scambio diretto *peer-to-peer* tra nodi, in modo organizzato e deterministico.

Sono supportate comunicazioni sia di tipo ciclico, che *event-driven* (a seguito di uno specifico evento). La sua caratteristica precipua è quella di poter integrare in una stessa rete le esigenze di un livello di supervisione con quelle elementari di semplici sensori e attuatori.

In termini standard sono previste 4 tipologie diverse di messaggi: Network Administration Messages, Predefined Messages, Service Data Objects (SDO), Process Data Objects (PDO).

I Network Administration Messages sono utilizzati per controllare i nodi e il loro stato operativo.

I Service Data Objects sono messaggi utilizzati per trasferimenti aciclici a bassa priorità, tipicamente per configurazione dei nodi, setting dei parametri dei device, download di programmi. Sono trasferibili dati di dimensione qualsiasi, tramite segmentazione. Più precisamente, tramite i messaggi SDO si ha lettura e scrittura di singole *entry* nell'Object Dictionary dei diversi device in rete, da intendersi come insieme dei parametri e delle caratteristiche operative dei device stessi.

Per quanto riguarda i Process Data Objects, questi messaggi sono usati per data transfer ad alta priorità e ad alta velocità. In pratica, consentono la gestione dei dati "tempo reale". Ogni messaggio PDO prevede un identificatore unico e può essere trasmesso da un solo nodo, ma può essere ricevuto da più nodi contemporaneamente. La trasmissione dei PDO non prevede un "acknowledge" e può avvenire secondo modalità diverse.

Infine, con Pre-Defined Master/Slave Connection Set, si intende un assegnamento di default di CAN Identifier per un massimo di quattro PDO in trasmissione e quattro PDO in ricezione. Tutti i PDO si riferiscono a un Application Master Device, che è anche il gestore della rete (NMT, Network Management Master). Non sono possibili comunicazioni PDO dirette tra slave, se non tramite il master. L'obiettivo consiste nel semplificare il lavoro svolto dal Master durante la fase di inizializzazione.

In Motornet, secondo il Pre-defined Connection Set di CANopen, sono disponibili NMT object, EMERGENCY object, SDO (tx) object, SDO (rx) object, NMT Error Control, e 4 PDO (rx/tx), da PDO1 a PDO4, con funzionalità diverse a seconda se rx o tx, e a seconda se real time o communication mode.

Applicazioni di Motornet

Negli ultimi anni i costruttori di macchine automatiche si sono sempre più orientati verso soluzioni che rendessero le macchine veloci, flessibili e

modulari. Per rispondere a tali esigenze si è diffuso l'uso di motorizzazioni brushless a elevata dinamica per il controllo sincrono dei movimenti in sostituzione di alberi di trasmissione e camme meccaniche.

E proprio per realizzare soluzioni ancora più flessibili e decentrate, la divisione SBC di Parker Hannifin ha realizzato Motornet, azionamento digitale per motori brushless integrato con il motore. Numerosi sono i vantaggi che si possono ottenere, dalla riduzione dei problemi EMC al contenimento delle dimensioni del quadro elettrico con conseguente riduzione dei costi in termini di accessori richiesti.

Qualunque settore applicativo dove si può realizzare nella pratica la riduzione di cablaggi, di ingombri, di disturbi EMC per l'eliminazione dei cablaggi motore-azionamento, rappresenta il target di mercato del Motornet.

Esempi concreti di applicazione di Motornet sono nel packaging, dove i vantaggi precedentemente elencati sono più visibili. Più in generale applicazioni in cui vi siano tavole rotanti con tanti motori e azionamenti montati direttamente sulla macchina in movimento.

L'esempio più significativo realizzato con Motornet è stata una macchina per tappare le bottiglie con tappi a filetto di metallo o plastica. Prima dell'utilizzo del Motornet, l'applicazione era realizzata utilizzando l'azionamento per motori brushless SLVD di S.B.C. a 230V e motore brushless SMB82 sempre di S.B.C. a 230V con retroazione da resolver.

L'azionamento SLVD colloquiava con il PLC di controllo e di gestione delle ricette della macchina installato a bordo macchina in postazione fissa attraverso il bus di campo CAN Bus.

Sia l'azionamento che il motore venivano montati direttamente sulla giostra rotante. In particolare i motori venivano montati in verticale direttamente sugli avvitatori e configurati in controllo di posizione con il posizionatore interno all'azionamento e via CAN Bus veniva inviato il riferimento di posizione dal PLC. L'alimentazione 230V del drive e il bus venivano trasmessi attraverso collettori ruotanti.

Considerando che per ogni macchina vi sono da 6 a 10 assi, l'ingombro degli azionamenti e motori e tutti i cavi necessari di potenza e segnale tra motore e drive era notevole e quindi non consentiva di realizzare macchine con dimensioni più compatte. Inoltre, a causa dei percorsi dei fili che non erano a distanza sufficiente proprio a causa della disposizione sulla macchina, vi erano problemi di disturbi EMC.

La soluzione "innovativa" è stata proprio la sostituzione dei motori e drive brushless con Motornet. In tal modo, la parte di connettività con il mondo esterno è rimasta invariata, utilizzando sempre il collettore rotante a bordo tavola, mentre si è avuto un notevole vantaggio di ingombro, cablaggio e disturbi EMC rispetto alla soluzione drive e motore separato.