

DTC: una tecnologia per il controllo del motore adatta a ogni esigenza

DTC: una tecnologia per il controllo del motore adatta a ogni esigenza

I convertitori di frequenza (VSD) hanno consentito di raggiungere prestazioni eccezionali nel campo dei motori elettrici e sostanziali risparmi energetici, adattando la velocità e la coppia del motore alle esigenze effettive dei carichi da gestire. La maggior parte dei convertitori di frequenza attualmente presenti sul mercato si basa su una fase di modulazione che condiziona gli ingressi di tensione e di frequenza nel motore, ma causa anche un ritardo nell'elaborazione dei segnali di controllo. Al contrario, i convertitori di frequenza di alto livello ABB adottano il controllo diretto di coppia (DTC) – una tecnologia innovativa creata da ABB – che aumenta sensibilmente la risposta di coppia del motore. La tecnologia DTC offre molti altri benefici e si è ulteriormente sviluppata arrivando a includere nel convertitore il controllo del software e numerose altre funzionalità a livello di sistema.

I motori elettrici sono spesso l'elemento principale dei sistemi di produzione moderni, siano essi dedicati a lavorazioni metallurgiche, celle di lavorazione robotizzate, oppure sistemi di automazione per il settore edile o per gli uffici. I motori di oggi sono più evoluti grazie agli sviluppi nel campo dei materiali elettrici, delle efficienze di produzione e degli strumenti di analisi, tuttavia da oltre 100 anni i loro principi progettuali sono rimasti immutati, in particolare nel caso dei motori asincroni (o a induzione) in corrente alternata (c.a.). Le notevoli performance attuali di questi motori derivano piuttosto dai moderni sistemi di controllo elettronici – convertitori di frequenza (VSD) – e da modelli di motore i cui sofisticati algoritmi di controllo possono essere eseguiti rapidamente da processori di segnale digitale ad alte prestazioni. Inoltre, lo sviluppo dei VSD ha consentito l'utilizzo di nuove tecnologie di motori in c.a., come i motori sincroni a magneti permanenti e i motori sincroni a riluttanza.

Inizialmente, l'attenzione degli sviluppatori era indirizzata verso i motori in corrente continua (c.c.). Precedenti ai motori in c.a., i motori in c.c. offrivano un controllo della velocità e della coppia molto semplice. Tuttavia, il costo più elevato dei motori, la loro complessità costruttiva, che prevedeva la presenza di un commutatore meccanico, e le problematiche di manutenzione delle spazzole erano elementi che influivano negativamente sulla scelta dei motori in c.c.

I motori asincroni in c.a., al contrario, erano più semplici e robusti e con costi e problematiche di manutenzione inferiori. Queste caratteristiche hanno contribuito alla loro rapida diffusione, con una base installata a livello globale molto ampia. D'altra parte, il controllo dei motori asincroni era più complesso. Nei primi convertitori di frequenza in c.a., la precisione del controllo della velocità, e in particolare il

controllo di coppia, erano due elementi ancora relativamente difficili da ottenere. Come prevedibile, l'obiettivo dei primi progettisti era quello di emulare nei convertitori di frequenza in c.a. la semplicità del controllo di coppia dei motori in c.c. applicandovi una corrente indotta. Con il passare del tempo, i progetti di convertitori di frequenza in c.a. si sono evoluti offrendo un migliore livello delle prestazioni di tipo dinamico (il Riferimento 1 riporta una recente e interessante discussione sui vari metodi di controllo dei convertitori di frequenza in c.a.).

La maggior parte dei VSD ad alte prestazioni negli anni '80 si basava sulla modulazione dell'ampiezza di impulso (PWM). Tuttavia, una delle conseguenze della fase di modulazione era il ritardo e la necessità di dover filtrare le correnti rilevate quando venivano eseguiti i comandi di controllo del motore, rallentando la risposta di coppia del motore.

Al contrario, ABB, ha deciso di adottare un approccio diverso per il controllo dei motori in c.a. ad alte prestazioni. I convertitori di frequenza in c.a. ABB per applicazioni gravose usano una tecnologia innovativa, il Controllo diretto di coppia (Direct Torque Control, DTC). Questa tecnologia controlla direttamente la coppia del motore invece di cercare di controllare le correnti, analogamente a quanto accade per i convertitori di frequenza in c.c. Ciò porta a un maggior livello di precisione nell'adattamento ai requisiti di carico del sistema gestito. Realizzata originariamente da una delle aziende fondatrici di ABB e brevettata alla metà degli anni '80, la tecnologia DTC ha eliminato la necessità di un'ulteriore fase di modulazione, ottenendo dinamiche di controllo sempre più vicine ai valori massimi teorici. ABB ha presentato il suo primo Industrial drive in c.a. con DTC nel 1995 (Riferimento 2).

DTC era già una tecnologia leader nel 1995, ma i successivi sviluppi della potenza di calcolo dei processori, delle interfacce di comunicazione, della programmazione di applicazioni ecc. hanno consentito a un'ampia gamma di applicazioni di raggiungere prestazioni sempre migliori, con funzioni di alto livello per il controllo del motore.

Perché usare il controllo diretto di coppia (DTC)?

- La miglior risposta della coppia è solo una delle caratteristiche del controllo DTC. Questa tecnologia offre anche altri benefici specifici, tra cui:
- nessuna necessità di retroazione per la velocità del motore o della posizione nel 95% delle applicazioni. Questo consente di evitare di installare costosi encoder o altre periferiche di retroazione;
- il controllo DTC è disponibile per vari tipi di motori, tra cui quelli a magneti permanenti e quelli sincroni a riluttanza;
- controllo preciso della coppia e della velocità, anche alle basse velocità, e coppia di avvio totale anche a velocità zero;
- eccezionale linearità di coppia;
- alto livello di precisione della velocità statica e dinamica;
- nessuna preimpostazione della frequenza di commutazione. La commutazione ottimale del transistore viene determinata a ogni ciclo di controllo consentendo al convertitore di frequenza di adattarsi più velocemente ai requisiti del carico gestito.

Da un punto di vista più generale, i benefici della tecnologia DTC si estendono al software, alle interfacce utente, alla manutenzione e alle funzionalità a livello di sistema.

Come suggerisce il nome, la tecnologia DTC tende a controllare direttamente il flusso e la coppia del motore invece di cercare di controllare indirettamente queste variabili, come accade nei convertitori di frequenza in c.c. e in quelli in c.a. a controllo vettoriale. I cicli separati di controllo della coppia e della velocità compongono il DTC, ma operano congiuntamente e in modo integrato (Fig. 1, Diagramma a blocchi del DTC).

L'elemento principale del DTC è il ciclo del controllo di coppia, in cui un modello del motore adattivo utilizza algoritmi matematici avanzati per prevedere lo stato del motore. Le variabili principali controllate – flusso dello statore e coppia del motore – vengono attentamente analizzate dal modello del motore usando i dati delle correnti di fase del motore e le rilevazioni della tensione al bus c.c., ai quali si aggiunge lo stato dei transistori di commutazione di potenza del convertitore di frequenza. Il modello del motore calcola anche la velocità dell'albero. La compensazione della temperatura contribuisce a migliorare la precisione del calcolo, senza richiedere un encoder.

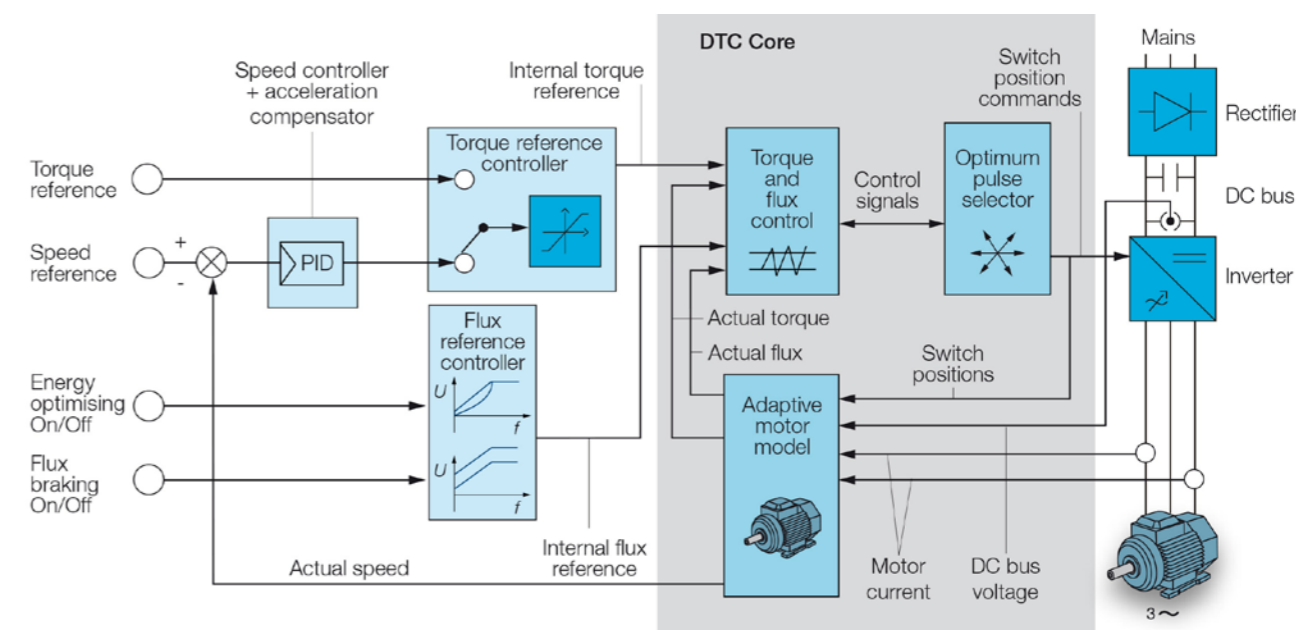


Figura 1: Principio di funzionamento del controllo diretto di coppia (DTC).

In fase di messa in servizio, durante l'identificazione del motore, al modello adattativo vengono anche automaticamente trasferiti parametri aggiuntivi del motore. In molti casi l'identificazione del parametro appropriato del modello può essere eseguita senza dover ruotare l'albero del motore. Per le regolazioni di precisione del modello del motore, necessarie solo per un numero limitato di applicazioni particolarmente gravose, è necessario che il motore sia in funzione, ma solo per un breve periodo di tempo e senza alcun carico.

Per calcolare il flusso magnetico stimato del motore, l'unico parametro necessario, e facilmente misurabile, è la resistenza dello statore (caduta di tensione). Si potrà poi procedere a calcolare la coppia del motore, sotto forma di prodotto vettoriale del flusso stimato dello statore e dei vettori della corrente dello statore. Anche se la fonte principale di errore nella stima è riconducibile alla resistenza dello statore, la sua influenza si riduce con l'aumento della velocità del motore e della tensione. Di conseguenza il DTC ha un livello di precisione di coppia eccezionale su un'ampia gamma di velocità. Inoltre, il DTC prevede alcune modalità avanzate per ridurre al minimo l'errore di valutazione alle velocità basse del motore.

I segnali di uscita del modello del motore – ovvero il flusso dello statore e la coppia del motore effettivi – vengono trasferiti ai rispettivi comparatori di flusso e di coppia (Fig. 1). Queste unità di controllo separate confrontano i propri dati di ingresso con il valore di riferimento del flusso e della coppia. Già dalla metà degli anni '90 i primi convertitori di frequenza con controllo DTC erano in grado di svolgere queste funzioni ogni 25 microsecondi (μs) usando un processore di segnale digitale ad alta potenza (DSP). Nelle ultime generazioni di controllo, questo intervallo si è ridotto a 12,5 μs , con un ulteriore miglioramento delle prestazioni del controllo. Ogni comparatore tende a conservare l'ampiezza dei vettori di flusso e di coppia corrispondenti entro una stretta banda di isteresi di un valore di riferimento. La rapidità della risposta della coppia del DTC senza sovraelongazione è determinata, in parte, dalla capacità di ridurre al minimo queste fluttuazioni vettoriali. L'eccezionale risposta del motore è generata anche dagli algoritmi di controllo del DSP che aggiornano il modello adattativo del motore alla stessa alta velocità del ciclo.

Gli errori di flusso e di coppia – ovvero le differenze fra i valori stimati e quelli di riferimento – e la posizione angolare (o settore) del vettore di flusso dello statore vengono utilizzati per calcolare lo stato del flusso e della coppia nel controllore

di isteresi. Questi valori di stato, quindi, diventano i dati di ingresso per il selettore di impulso ottimale, nel quale il vettore di tensione ottimale viene prelevato da una tabella di riferimento (Fig. 1). In questo modo, ai commutatori di potenza dell'inverter potranno essere inviati gli impulsi appropriati del segnale per ogni ciclo di controllo in modo da definire, o conservare, la precisione della coppia del motore.

Una forma di logica programmabile – denominata Field Programmable Gate Array (FPGA) – assiste il DSP nella determinazione della logica di commutazione dell'inverter e di altre funzioni. L'FPGA consente le modifiche di controllo o gli aggiornamenti progettuali del convertitore di frequenza rispetto a un circuito integrato per un'applicazione specifica (ASIC) che, quando utilizzato, richiede che il progetto non venga più modificato. Il ciclo di controllo della velocità, che comprende la parte restante di blocchi funzionali del DTC, viene descritto nell'Appendice 1.

Indicatori prestazionali

Il DTC fornisce ai clienti caratteristiche prestazionali superiori rispetto a quelle delle configurazioni con convertitore di frequenza concorrenti. Trattandosi di un metodo di controllo “senza sensore” (valutazione invece che rilevazione della velocità), nella maggior parte dei casi non richiede costosi dispositivi di retroazione della velocità del motore o della posizione. In base alla taglia del motore, di solito si potrà raggiungere una precisione della velocità statica dello $\pm 0,1\%$. Per applicazioni più gravose, un convertitore di frequenza DTC dotato di encoder standard (1024 impulsi/rev) di norma raggiunge un livello di precisione della velocità dello $\pm 0,01\%$.

La precisione della velocità dinamica (tempo integrale della deviazione della velocità con un impatto di carico al 100%) di un normale macchinario motorizzato è di 0,3-0,4% sec. Con l'uso di un encoder, la precisione della velocità tipica migliora, passando a 0,1% sec., corrispondente a quella di un servo drive.

Il tempo di risposta di coppia a una fase di riferimento di coppia al 100% è, di solito, di 1-5 millisecondi (ms), prossima al limite fisico del motore. La ripetibilità della coppia con lo stesso comando di riferimento è, di solito, pari all'1% della coppia nominale della gamma di velocità del convertitore di frequenza. Per quanto riguarda il controllo a velocità particolarmente basse, il DTC fornisce una coppia del 100% a velocità zero, senza (o con) retroazione della velocità e con

una funzione di controllo della posizione quando si usa un encoder. Le prestazioni di cui sopra fanno specificatamente riferimento al controllo di un motore asincrono.

Oltre i motori asincroni

La tecnologia DTC è stata originariamente sviluppata per i motori asincroni in c.a. comunemente utilizzati in moltissime applicazioni industriali e commerciali. E' prevedibile che i motori asincroni grazie al loro ruolo di motori “affidabili e resistenti per eccellenza” rimangano molto utilizzati anche in futuro. Tuttavia, in una realtà in cui si ricerca una densità di potenza sempre maggiore e con gli sviluppi di normative internazionali sull'efficienza, l'interesse si sposterà sempre di più verso altre tipologie di motore.

Per esempio, lo standard IEC 60034, Parte 30 (Ref. 3) indica le classi internazionali di rendimento (IE), la più alta delle quali – IE4 (rendimento di altissimo livello) – è difficilmente raggiungibile con i motori asincroni. Nella 2a edizione approvata dello standard IEC 60034-30, è stata proposta, pur senza renderne ancora note le specifiche, una classe ancora più elevata, IE5.

La buona notizia è che la tecnologia DTC è applicabile anche ad altri tipi di motori, come quelli sincroni a magneti permanenti (PM) e sincroni a riluttanza (SynRM). La differenza fondamentale si verifica al momento dell'avvio del motore. A differenza dei motori asincroni, i motori sincroni PM e SynRM richiedono al sistema di controllo, in assenza di un sensore di posizione, di stimare la posizione del rotore al momento dell'avvio in base alla posizione dei poli del rotore stesso.

In questi motori l'assenza dell'avvolgimento del rotore e dell'effetto di velocità differenziale proprio dei motori asincroni riduce sostanzialmente le perdite. Questo porta a migliori livelli di rendimento. Inoltre, un'operatività sincrona significa che è possibile raggiungere un eccezionale livello di precisione della velocità anche in assenza di un sensore di velocità o di posizione. In questo modo si potrà evitare di usare un sensore nella maggior parte dei casi, a eccezione delle applicazioni per la gestione di verricelli e montacarichi che richiedono per lungo tempo una coppia diversa da zero all'arresto.

I magneti permanenti vengono di solito montati sulla superficie esterna del rotore. Tuttavia, nella variante di motore sincrone PM con rotore PM interno (IPM), i magneti sono posizionati

all'interno della struttura del rotore. Una componente aggiuntiva della coppia di riluttanza generata dai motori sincroni IPM li rende adatti per le applicazioni particolarmente gravose. Inoltre, i magneti incorporati creano una prominenza particolarmente pronunciata del polo rotore che consente di stimare con precisione la velocità e di migliorare la modalità operativa di base di un DTC senza sensore.

Grazie all'elevato rapporto tra la coppia e le dimensioni del motore, quando si usano motori sincroni PM è possibile utilizzare un sistema di trasmissione più semplice. Per esempio, nelle macchine per il confezionamento, un motore PM a bassa velocità a trasmissione diretta potrebbe eliminare la necessità di una scatola di trasmissione.

Tra le numerose applicazioni per motori sincroni PM vi sono quelle per macchine utensili, propulsione navale, turbine eoliche (generatori) e ventole di raffreddamento di impianti di produzione di energia.

Un aspetto parzialmente negativo dei motori sincroni PM è la loro dipendenza da quelli che vengono comunemente definiti materiali magnetici di terre rare (RE) per ottenere prestazioni ottimali. Il materiale RE più comunemente utilizzato è la lega di neodimio-ferro-boro. Le problematiche legate ai prezzi attuali e alla disponibilità globale di materiali RE hanno generato serie preoccupazioni ai costruttori di macchine che vanno ben oltre i motori elettrici (Riferimento 4). In questa situazione i motori sincroni a riluttanza costituiscono una valida alternativa.

ABB ha previsto nella propria offerta una linea di motori SynRM e di pacchetti con convertitori di frequenza che anticipa, parzialmente, le possibili problematiche legate alla disponibilità di magneti di terre rare (Riferimento 5). I motori sincroni a riluttanza hanno una struttura dello statore simile a quella dei motori asincroni. Tuttavia, il rotore consiste di lamine di acciaio impilate assialmente e disposte in modo da creare una sezione trasversale a quattro poli: assi altamente permeabili (ferro) alternati ad assi a bassa permeabilità (aria). È importante notare che il rotore non richiede alcun magnete.

Di solito, le applicazioni per motori SynRM comprendono pompe e ventilatori motorizzati con una relazione di coppia quadratica (e relativa potenza cubica) con la velocità (vedi qui sotto).

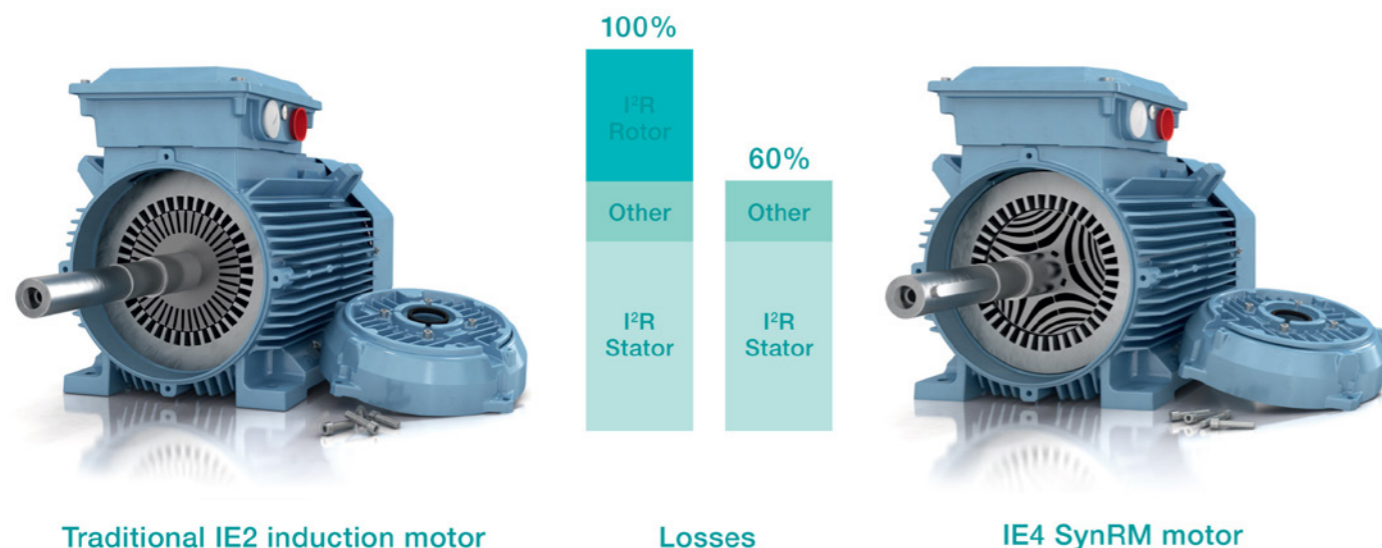


Figura 2: Il nuovo motore sincrono a riluttanza utilizza un nuovo tipo di rotore ed è ottimizzato per il funzionamento con convertitore di frequenza. La tecnologia riduce le perdite del rotore, migliora l'affidabilità e consente di creare progetti più compatti e leggeri (pacchetti con motore-convertitore SynRM ad alte prestazioni), oppure altamente efficienti (pacchetti motore-convertitore SynRM IE4).

ABB ha implementato versioni di DTC modificate per motori sincroni PM e SynRM. Una considerazione importante per i clienti è che i più recenti convertitori di frequenza DTC di ABB consentono un facile aggiornamento delle applicazioni esistenti per motori asincroni in applicazioni per motori sincroni PM o SynRM, migliorando le prestazioni.

In aggiunta al controllo altamente dinamico del motore, i convertitori di frequenza DTC, combinati con una delle tecnologie di rendimento del motore sopra descritte, offrono un grande potenziale di risparmio energetico per un'ampia gamma di applicazioni che utilizzano pompe e ventilatori a

velocità variabile. Tale potenziale viene indicato da quelle che possono essere denominate "leggi di affinità" associate a pompe e ventilatori, che fanno riferimento a variabili quali il volume di flusso, la velocità della pompa, la pressione, la potenza ecc. Per esempio, la velocità e la potenza di una pompa hanno fra loro una relazione cubica e questo significa che per fare girare una pompa a metà della sua velocità massima sarà necessario solo 1/8 della potenza massima. Naturalmente, ai carichi parziali la riduzione dell'efficienza del motore e del convertitore di frequenza ridurranno l'efficienza del "sistema" ma, contemporaneamente, l'assorbimento di energia sarà inferiore.

Misurazioni recenti delle prestazioni

A metà del 2012, ABB ha avviato una serie di misurazioni per assicurare che i costanti sviluppi della tecnologia DTC fossero in grado di garantire sempre il massimo livello di prestazioni dei convertitori di frequenza in c.a. di ABB. Qui di seguito viene riportato un riepilogo dei risultati emersi da queste prove di misurazione.

Stabilità della coppia a velocità prossima allo zero (convertitori ACS800 e ACS880)

Il Grafico 1 riporta il confronto tra la precisione del controllo di coppia degli Industrial drive ACS800 e dei nuovi ACS880 di ABB in modalità operativa senza sensore (anello aperto). Nelle prove eseguite, i convertitori di frequenza gestiscono un motore a induzione da 15 kW e quattro poli con proprio riferimento di coppia nominale e con un carico della macchina controllato in modo da rallentare la velocità fin quasi a zero. (Da notare che 90 giri/min. corrispondono a circa il 6% della velocità nominale del motore).

Precisione della coppia in presenza di rampe (motore asincrono e motore SynRM)

Il Grafico 2 mostra la precisione del controllo di coppia del convertitore di frequenza ACS880 senza sensore rispetto a due tipi di motore da 15 kW (al 50% della velocità nominale), un motore asincrono a 4 poli e un motore sincrono a riluttanza.

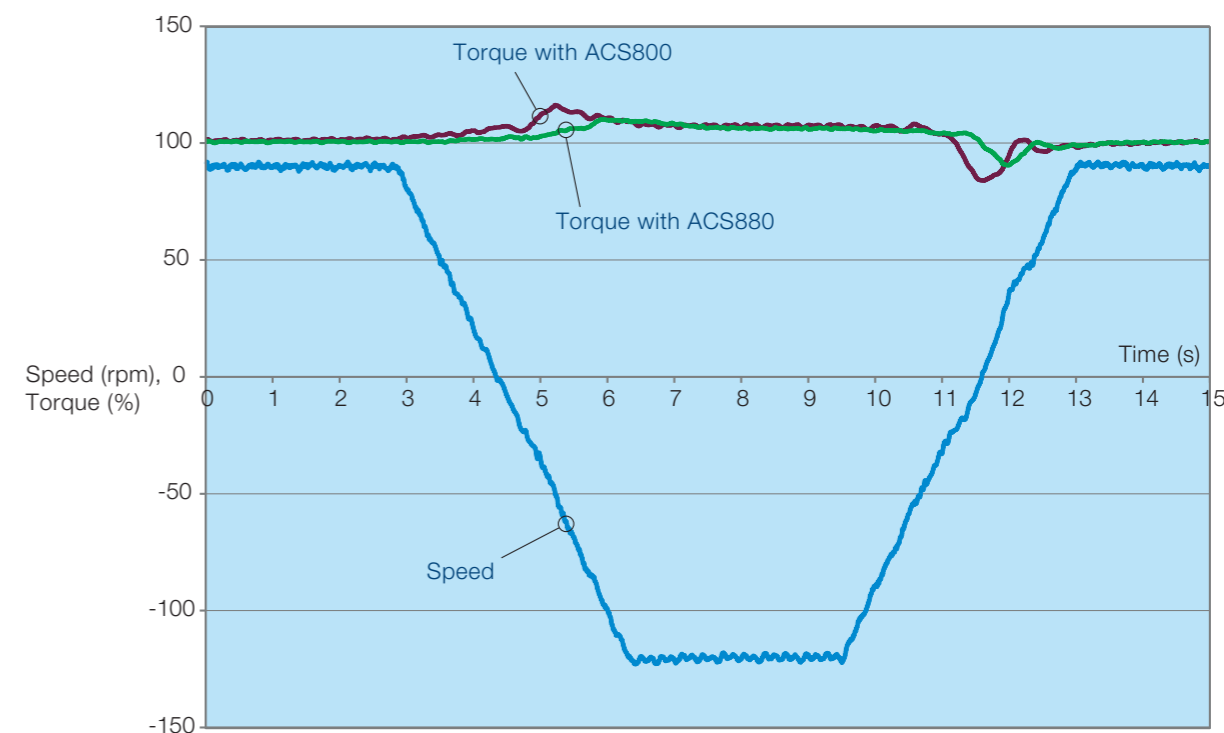


Grafico 1. Entrambi i convertitori di frequenza presentano notevoli capacità di controllo in assenza di sensore per poter operare per lunghi periodi di tempo a gamme di velocità prossime allo zero. Tuttavia, il nuovo ACS880 presenta una minore deviazione dal riferimento di coppia e, pertanto, è in grado di assicurare migliori prestazioni di controllo del motore rispetto al convertitore ACS800.

Prestazioni dinamiche servo-classe

Il Grafico 3 riporta le velocità e le posizioni angolari di un motore sincrono a magneti permanenti da 1,5 Nm a 6000 giri/min. (con un'inerzia del motore di 0,57 cm²) nel corso di una rapida inversione di velocità, in meno di 25 millisecondi, da -6000 giri/min. a +6000 giri/min. Il risultato è molto vicino al limite teorico ottenibile con l'impostazione del limite di coppia al doppio del valore della coppia nominale. Il limite teorico si riferisce alla costante di tempo meccanica del motore pari a 24 ms, ovvero il tempo necessario per accelerare il motore da zero alla sua velocità nominale utilizzando la coppia nominale.

Gamma più ampia di applicazioni

Un altro aspetto della storia della tecnologia DTC è stata la sua capacità di allargare il proprio campo d'azione ad altre applicazioni rispetto a quelle per le quali era stata creata. Inizialmente era stata pensata per applicazioni gravose e altamente dinamiche che potessero giustificare i costi iniziali di sviluppo del software e dei microprocessori disponibili, poi lo scenario è sostanzialmente cambiato. Il software del sistema di controllo è stato ammortizzato dall'alto volume delle vendite di convertitori di frequenza in c.a. ed economicamente giustificato in modo da poter essere utilizzato anche in applicazioni standard. Anche i DSP ad alte prestazioni sono diventati più diffusi e accessibili.

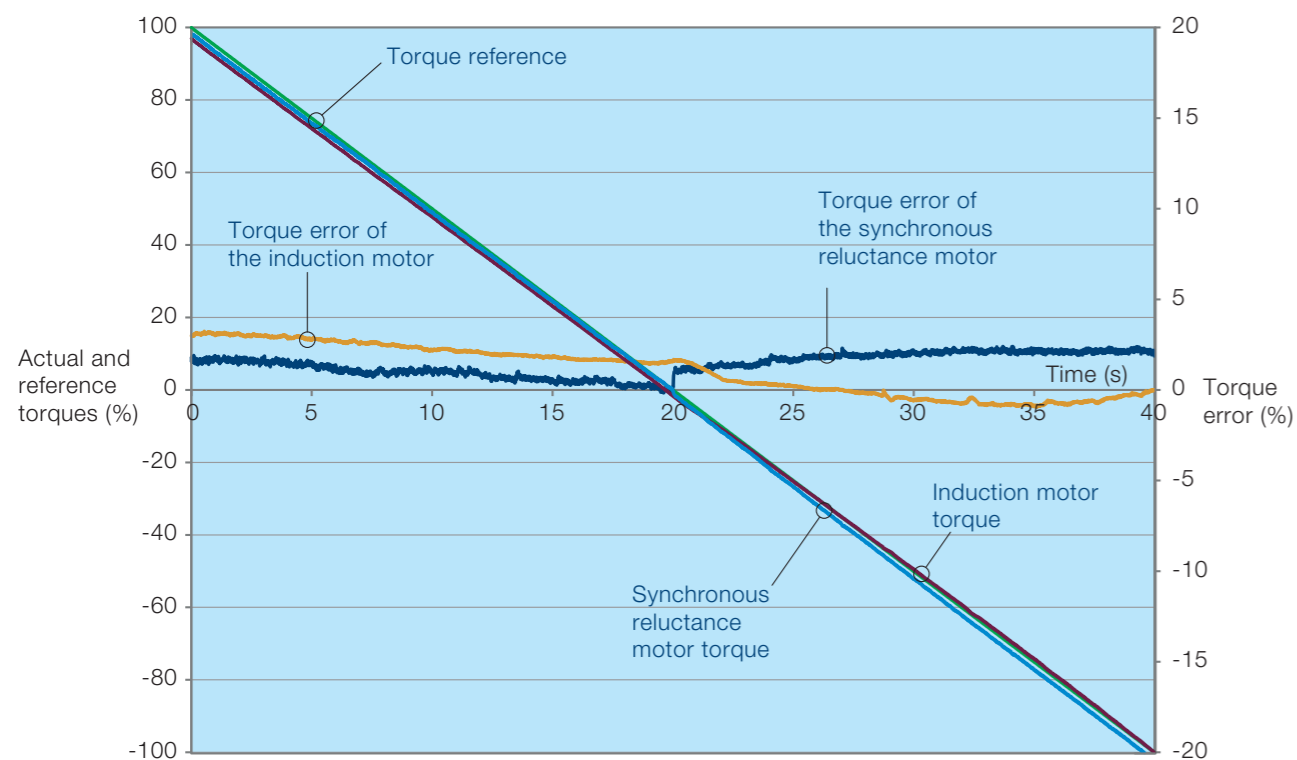


Grafico 2. In entrambi i tipi di motore la deviazione della coppia dal valore di riferimento è limitata dal DTC a soli pochi punti percentuali della coppia nominale, e questo sia in modalità motorizzata, sia in modalità di frenatura. L'errore massimo della coppia è leggermente inferiore nel motore sincrono a riluttanza rispetto a quello asincrono.

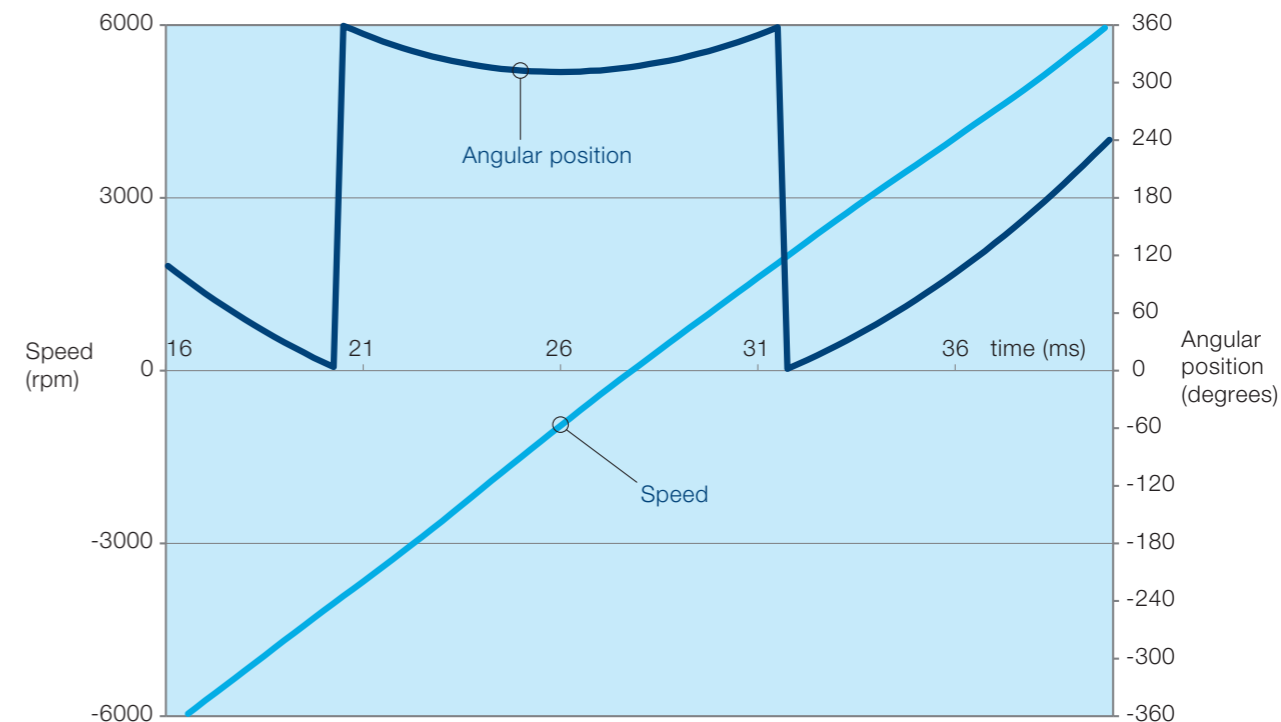


Grafico 3. Sebbene non si tratti di un Servo drive, il convertitore di frequenza ACS880 con DTC può modificare molto rapidamente, e con grande precisione, la velocità del motore sia in condizioni di anello chiuso sia in modalità di controllo senza sensore del motore. Una misura delle prestazioni è la precisione della coppia nel corso di accelerazioni particolarmente veloci, ottenuta dal confronto della rilevazione dei tempi di accelerazione rispetto alla costante di tempo meccanica del motore. I tempi di accelerazione di 24,4 ms (100% della coppia) e di 12,1 ms (200% della coppia) sono stati misurati in modalità ad anello aperto, comparandoli, rispettivamente, ai 24 ms e ai 12 ms corrispondenti ai tempi di accelerazione con precisione assoluta di coppia.

La capacità di rispondere rapidamente alle modifiche delle variabili di processo, come la pressione, la tensione o la posizione con eccezionali dinamiche di controllo di velocità e di coppia, ha reso il DTC attrattivo per una gamma più ampia di applicazioni industriali e di processo.

Il DTC può fornire funzioni protettive alle macchine connesse o al motore stesso (per ulteriori informazioni, vedere l'Appendice 2). Un rigido controllo della coppia può ottimizzare la regolazione del controllore della velocità per smorzare le vibrazioni di torsione.

Il DTC è stato applicato per ridurre anche la distorsione armonica proveniente dal convertitore di frequenza

migliorando, in questo modo, la qualità della linea di alimentazione. Le armoniche a bassa frequenza possono essere mitigate nelle correnti di linea sostituendo il diodo raddrizzatore di un convertitore di frequenza in c.a. con un'unità di alimentazione IGBT (ISU) controllata da DTC. Il filtro LCL dell'unità ISU elimina le armoniche ad alta frequenza e fornisce un filtraggio aggiuntivo. In molti casi, l'adozione di un convertitore di frequenza con unità ISU può anche ridurre la distorsione della tensione. Inoltre, con un'unità ISU si potrà anche trasferire sulla rete l'energia di frenatura. In questo modo, per le applicazioni che prevedono numerose decelerazioni, si potranno anche ottenere risparmi energetici.

Bibliografia

¹ M.P. Kazmierkowski et al., High-Performance Motor Drives, IEEE Industrial Electronics Magazine vol. 5, n. 3, sett. 2011 (pp. 6-26).

² Direct Torque Control Comes to AC Drives, Control Engineering, vol. 42, n. 3, marzo 1995 (p. 9).

³ Standard IEC 60034-30, ed. 2: “Rotating electrical machines”, parte 30: “Efficiency classes (IE-code)”, International Electrotechnical Commission, www.iec.ch.

⁴ Rare-earth magnet supply and cost issues, Control Engineering, ago. 2011.

[http://www.controleng.com/index.php?id=483&cHash=081010&tx_ttnews\[tt_news\]=55091](http://www.controleng.com/index.php?id=483&cHash=081010&tx_ttnews[tt_news]=55091)

⁵ Super premium efficiency synchronous motor and drive package: Taking energy efficiency to a new level, brochure motori e convertitori di frequenza ABB a bassa tensione (2011).

Appendice 1: Il resto della storia dei blocchi funzionali del DTC

Nell’articolo principale sono state riepilogate le funzionalità del ciclo di controllo di coppia del DTC. Quest’appendice, invece, vuole essere una breve descrizione del ciclo di controllo della velocità associato. Questi due cicli sono integrati e operano come un’unità unica. La loro descrizione separata ha solo lo scopo di semplificare la comprensione del diagramma a blocchi. Pertanto, ecco la continuazione del “percorso nei blocchi”.

Tre elementi principali costituiscono il ciclo di controllo della velocità: il blocco del controllore della velocità, il riferimento di coppia separato e i controllori di riferimento del flusso. Il controllore della velocità comprende un controllore PID (proporzionale-integrale-derivativo) e un compensatore di accelerazione. L’ingresso del controllore della velocità corrisponde all’errore rilevato quando si confronta il segnale di riferimento esterno della velocità con il segnale effettivo della velocità proveniente dal modello di motore adattativo (una parte del ciclo di controllo della coppia e del flusso; cfr. testo principale). Questo segnale di errore, calcolato a partire dalla modifica del riferimento della velocità e dal termine derivativo, viene trasferito all’unità PID e al compensatore di accelerazione. Le loro uscite combinate corrispondono all’uscita del controllore della velocità.

L’uscita viene inviata al controllore del riferimento di coppia dove l’uscita del controllore della velocità viene regolata in base a limiti di coppia predefiniti e alla tensione del bus in c.c. Invece del controllo della velocità, per l’ingresso di questo blocco si potrà usare un segnale di coppia esterno (o dell’utente). L’uscita del controllore di riferimento della coppia, comunemente definita “riferimento di coppia interno”, viene inviata al blocco del comparatore di coppia all’interno del ciclo di controllo di coppia e di flusso.

In modo simile, il controllore di riferimento di flusso genera un “riferimento di flusso interno” che viene inviato al blocco comparatore del flusso (parte del ciclo di controllo di coppia e di flusso). Questo segnale è un valore di flusso assoluto dello statore che il DTC potrà regolare e modificare appropriatamente per ottenere utili funzioni inverter. Tra gli esempi si possono citare l’ottimizzazione energetica – che riduce al minimo le perdite e la rumorosità del motore – e la frenatura del flusso che, anche se aumenta temporaneamente le perdite del motore, consente una frenatura più rapida del motore in assenza di speciali resistenze di frenatura.

La tecnologia DTC odierna e futura

Pur mantenendo i suoi fondamenti tecnici, nel corso degli oltre 25 anni della sua esistenza, il controllo diretto di coppia ha visto un costante miglioramento dell’hardware e del software. Essendo stata basata fin dall’inizio su DSP, la tecnologia DTC ha superato le limitazioni imposte dai primi processori per quanto riguarda la velocità dei calcoli degli algoritmi di controllo. In passato, le limitazioni del DSP limitavano anche la frequenza di commutazione massima del convertitore di frequenza e, quindi, la sua frequenza di uscita. Il DTC si basa su una rapida commutazione dei transistori del convertitore di frequenza per assicurare prestazioni ottimali e un aggiornamento tempestivo dei parametri del modello di motore. Ora, il mercato offre un’ampia disponibilità di processori potenti.

Attualmente, i convertitori di frequenza con DTC possono contare su una frequenza di uscita superiore che consente ai motori di girare più velocemente. Si tratta di una caratteristica importante per alcune applicazioni, come quelle per i banchi di prova e per le macchine utensili. I convertitori di frequenza ABB che controllano i motori asincroni di un’applicazione industriale erogano, normalmente, frequenze di commutazione a 2-4 kHz che ne ottimizzano l’efficienza, mentre i Machinery drive ABB che gestiscono motori sincroni PM forniscono, normalmente, commutazioni a 5-8 kHz per gestire i motori con il miglior livello dinamico possibile.

Un altro elemento chiave del successo dei DTC è stato il software. I miglioramenti e gli aggiornamenti, tra cui la riprogettazione e l’ottimizzazione del codice dell’intero sistema di controllo (dall’interfaccia utente all’albero motore) hanno consentito di migliorare ulteriormente i tempi di risposta e le prestazioni del convertitore di frequenza.

L’aggiornamento coinvolge regolarmente anche i vari modelli di motore. Gli algoritmi di controllo vengono periodicamente analizzati e i miglioramenti apportati vengono attentamente verificati con prove di laboratorio su diversi motori. Questa procedura prevede l’analisi di alcune idee di controllo o nuove funzionalità su motori esistenti o modificati, oppure la valutazione di alcuni requisiti particolari delle applicazioni dei clienti.

Dopo l’approvazione, un aggiornamento potrà essere adottato nel successivo rilascio del software, come parte del flusso progettuale. Ogni rilascio di software introduce alcune nuove funzionalità o migliori prestazioni di controllo. Se la

soluzione adottata per risolvere un problema specifico di un cliente è sufficientemente generalizzabile, potrà diventare parte integrante di una successiva versione del software.

Nel DTC è stato anche incorporato un algoritmo di identificazione del motore più efficace. Grazie ai sempre più potenti microprocessori del convertitore di frequenza, questo software migliora il processo di identificazione del motore in condizioni di stallo. Come detto in precedenza, l’algoritmo di identificazione rileva automaticamente le corrette proprietà di un motore per garantire un controllo ottimale in fase di messa in servizio del convertitore di frequenza, anche quando i valori riportati sulla targhetta non sono noti o sono imprecisi.

ABB ha sfruttato la sua lunga storia di ingegnerizzazione di convertitori di frequenza e ha investito sostanziali risorse nello sviluppo del controllo diretto di coppia. Attualmente, la tecnologia DTC è ancora valida e attiva, grazie a costanti sviluppi a partire da elementi di base solidi. Il risultato è che il DTC è cresciuto offrendo molto più di un semplice “controllo di coppia”; fra le altre caratteristiche sono state incorporate interfacce utente intelligenti, funzioni di manutenzione e di diagnostica del convertitore di frequenza e funzioni software di livello superiore.

Guardando al futuro, ABB intende seguire lo stesso percorso di sviluppo della tecnologia DTC. Gli utenti che utilizzano convertitori di frequenza ABB possono contare sui benefici offerti dalla tecnologia del controllo diretto di coppia con la certezza che gli investimenti effettuati si rifletteranno anche sul lungo termine.

Appendice 2: Benefici per i clienti della tecnologia DTC

I convertitori di frequenza ABB con controllo diretto di coppia (DTC) offrono varie caratteristiche che portano benefici alle specifiche applicazioni dell'utente. Gli utenti che operano in settori industriali come quello della carta, della produzione di materiali e di macchine per estrusione di pellicole possono contare sulla rapidità della risposta di coppia del DTC e sulla precisione del controllo di coppia che si traducono in una qualità produttiva più uniforme e in risultati di produzione più elevati. La linearità di coppia è un ulteriore vantaggio per mantenere costante la tensione di avvolgimento delle bobine richiesta da queste applicazioni.

Vi è la possibilità di ridurre i costi per i nastri trasportatori e le linee di trasferimento, così come quelli per le macchine confezionatrici, in quanto in molte applicazioni non è necessaria la presenza di un encoder o di altri dispositivi di retroazione della velocità/posizione del motore. Oltre ai costi iniziali, con il passare del tempo gli encoder richiedono manutenzione e controlli sulla precisione.

Inoltre, i produttori di macchine per il confezionamento, grazie al controllo di coppia fino alla velocità zero fornito dal DTC e alla sua capacità di mantenere la coppia al 100% fino alla velocità zero, potranno eliminare il freno meccanico. E' necessario tener presente, tuttavia, che se viene richiesta per più di pochi secondi una coppia di frenatura (rigenerativa) prossima allo zero, sarà necessario installare un sensore di velocità o di posizione. Se è necessaria una decelerazione rapida, il convertitore di frequenza dovrà prevedere una resistenza di frenatura o un'unità di alimentazione IGBT.

La capacità di monitorare con precisione lo stato del motore può portare ulteriori benefici ad altri tipi di applicazioni. La tempestiva rilevazione delle modifiche dei parametri di sistema e la risposta rapida del controllo del DTC consentono di ridurre al minimo i sovraccarichi e i carichi improvvisi. Il concetto può essere esteso alla rilevazione dei guasti del sistema motorizzato. Per esempio, un'improvvisa perdita di coppia potrebbe indicare una rottura di un nastro trasportatore, una richiesta di coppia maggiore al normale per produrre un risultato potrebbe indicare un inceppamento o un'usura anomala della macchina; ciascuna di queste condizioni richiede una risposta appropriata dell'utente per evitare ulteriori danni.

Come riportato nel testo principale, i convertitori di frequenza possono essere usati come elementi diagnostici del processo. Si tratta di una soluzione vantaggiosa per gli utenti di applicazioni di controllo di processo, in cui le modifiche delle variabili di sistema, come la pressione, la tensione o la posizione, possono essere ricondotte alle caratteristiche di coppia e di velocità del motore. Le alterazioni delle caratteristiche del motore possono essere un primo segnale di possibili modifiche indesiderate del processo.

Contact

Per chiarimenti su qualsiasi termine tecnico presente in questo comunicato stampa, visitare il sito Web www.abb.com/glossary

Ere Jääskeläinen
Marketing Manager

Pasi Pohjalainen
Marketing Manager

ABB Oy Drives
P.O.Box 184
FI-00381 Helsinki
Tél. : +358 (0)102211