

IL CONTROLLO ELETTOIDRAULICO NEL TRATTORE

L'esigenza di una maggiore produzione e di un maggior comfort nel settore agricolo hanno imposto un sensibile aumento del livello di automazione delle trattrici



Il trattore agricolo può essere identificato come un vero 'sistema meccatronico' dove vanno a interagire sinergicamente le componenti meccanica, elettronica, informatica e di controllo per conseguire un funzionamento flessibile e favorire l'interazione con l'uomo, figura 1.

Nuova frontiera della meccanica, la meccatronica porta a vantaggi generali in termini di maggiore produttività, superiore qualità, minori costi operativi, aumentata sicurezza ed efficienza.

Nel passaggio dai manufatti meccanici od elettromeccanici ai moderni prodotti meccatronici, assieme alla qualità del prodotto, è presente un numero crescente di nuovi dispositivi elettronici, per loro natura più vulnerabili (sensori, trasduttori, elettrovalvole). L'affermarsi della tecnologia meccatronica richiede che i prodotti meccatronici dimostrino una affidabilità uguale o superiore ai loro precursori meccanici anche in condizioni di funzionamento estreme.

Questo filone copre i metodi e le tecniche volti a garantire l'affidabilità del prodotto meccatronico, intesa come capacità di svolgere una data

funzione, per un dato periodo di tempo, sotto date condizioni operative ed ambientali. Scopo della ricerca è l'aumento dell'affidabilità in esercizio del prodotto meccatronico, al fine di ridurre le perdite economiche connesse ai fuori servizio e

di aumentare la sicurezza d'uso.

Altro aspetto considerevole nell'affermarsi dello sviluppo tecnologico sul trattore agricolo è la progressiva sostituzione delle comunicazioni cablate con le innovative trasmissioni su 'bus di campo', tra le quali si è affermato lo standard Can (Controller area network).

L'adozione di una struttura a controllo distribuito su rete Can permette la gestione integrata delle funzionalità della macchina e un aumento complessivo della sicurezza dovuto alla supervisione di funzionalità delle diverse unità logiche di controllo.

IL CONTROLLO ELETTOIDRAULICO

Si consideri il caso di figura 2, dove il sistema da controllare è costituito da una trasmissione meccanica basata su un cinematismo a tre alberi, interposto tra motore e cambio, con due frizioni multidisco in bagno d'olio.



2. Gruppo frizioni elettroidrauliche.



corrente sono dell'ordine dei 100. Tolleranze meccaniche ed elettriche estremamente basse. E infine, stabilità, prontezza di risposta, assenza di undershot e overshoot nel controllo in corrente delle valvole da parte dell'elettronica di comando.

SISTEMI IN CATENA CHIUSA

L'approccio al controllo del sistema suddetto trova un preciso riferimento nella teoria dei controlli automatici ed è illustrato nella figura 4. L'oggetto da controllare può essere considerato come un sistema carat-

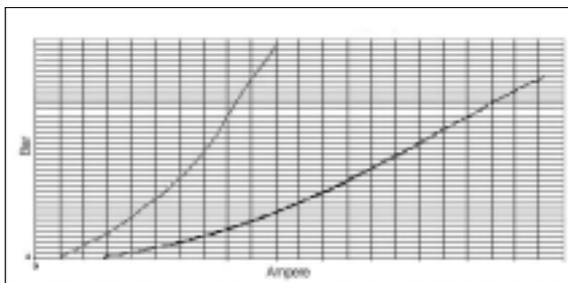
ottenere accuratezza nel seguire il profilo della traiettoria (feedforward) inteso come 'andamento ideale' della variabile controllata $r(t)$; ridurre al massimo i valori assoluti di errore statico, overshoot/undershoot, figura 5. Nel caso specifico si è assunto l'utilizzo di un regolatore Pid standard, con la possibilità di adattare i parametri del regolatore stesso entro ampi limiti, al fine di ottimizzare le prestazioni del sistema. Il regolatore Pid è il più generale: scegliendo opportunamente i parametri che ne caratterizzano il comportamento si possono ottenere le azioni di tutti i tipi di regolatori. Nel caso specifico la messa a punto dei parametri risulta un'attività del tutto sperimentale, estremamente impegnativa in termini di risorse e tempo.

La centralina di controllo opera in due modi sostanzialmente diversi qualora venga richiesta l'esecuzione di 'comandi automatici' (intesi come tutte quelle operazioni che non coinvolgono il controllo del pedale frizione), o 'comandi manuali' (comandi dove si utilizza il pedale frizione).

In tal senso si possono distinguere due grandi aree nella logica di controllo.

CONTROLLO DI VELOCITÀ

È la logica utilizzata nella gestione di tutte le operazioni automatiche di partenza, inversione, cambiata, figura 6. La variabile controllata è rappresentata in tal caso dalla velocità del veicolo, che è un dato di ingresso alla scheda. Nella memoria dell'unità di controllo sono mappati tutti i profili ideali di traiettoria per ciò che riguarda la gestione delle fasi partenza, decelerazione-accelerazione durante l'inversione, cambiata con il pulsante declutch.



3. Caratteristica pressione-corrente.

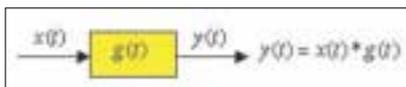
4. Modello del sistema.

La funzione del gruppo suddetto è di regolare, con variazioni di $\pm 25\%$ di velocità, la potenza trasmessa dal motore al cambio e di consentire la gestione del moto in tutte le condizioni operative ed anche sotto carico (inversioni di marcia, cambio marce, controllo del pedale frizione).

La gestione del trasferimento del moto ai componenti di cui sopra è affidata a due sole frizioni elettroidrauliche, controllate da valvole riduttrici di pressione proporzionali, pilotate da una scheda elettronica mediante uscita Pwm.

La scelta delle valvole proporzionali è decisiva in relazione alla prestazione complessiva del controllo che si vuole ottenere. In particolare devono essere valutate con attenzione: caratteristica pressione corrente, figura 3. Si richiede a tal proposito che nella regione dove si gioca la prima parte dell'innesto della frizione (tra i 2 e 3 bar) vi sia una caratteristica sufficientemente 'sdraiata' al fine di potere avere un buon range per il controllo in corrente.

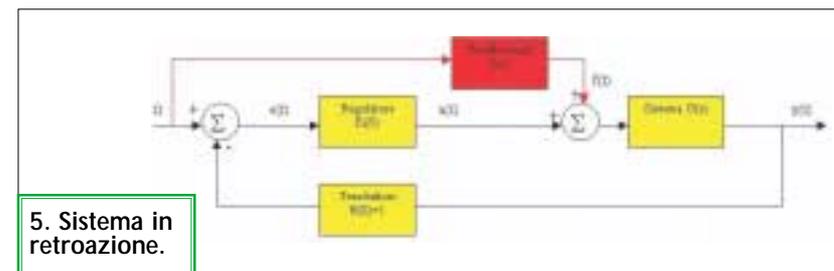
Isteresi ridotta. Vale a dire valori dell'ordine dei 10mA sono ottenuti nella regione attorno ai 2 bar. Tempi di risposta all'impulso molto brevi. I valori di risposta all'impulso di



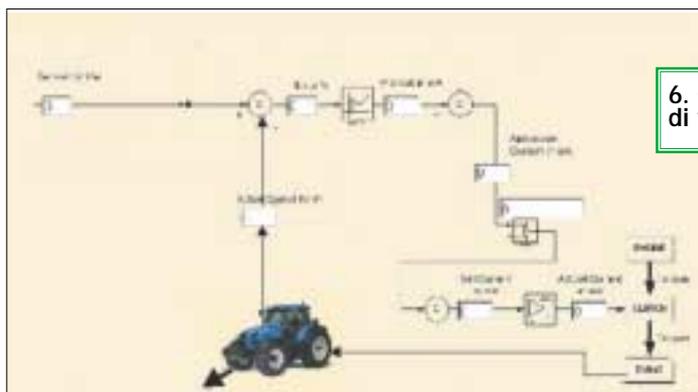
terizzato da una risposta impulsiva $g(t)$, la cui stabilità asintotica è garantita dal fatto che la risposta impulsiva stessa tenda asintoticamente a zero (o in alternativa i poli della trasformata $G(s)$ siano a parte reale negativa).

La struttura meccanica del sistema e le molteplici variabili che intervengono (temperatura olio, tolleranze meccaniche, tempi di risposta) hanno suggerito l'impostazione del controllo mediante un sistema in catena chiusa, dove in tempo reale l'unità di controllo elabora i dati che giungono dalla periferia e agisce sui dispositivi di attuazione.

Questo consente di: migliorare le prestazioni dinamiche delle risposte;



5. Sistema in retroazione.



6. Controllo di velocità.

È evidente che la gestione in catena chiusa è un elemento fondamentale nel controllo poiché consente l'adattività del sistema alle diverse condizioni di carico e la compensazione delle tolleranze degli organi meccanici-idraulici coinvolti nell'azionamento.

CONTROLLO DI SLITTAMENTO (SLIP)

È la logica utilizzata nella gestione di tutti i comandi dove la priorità è assegnata al pedale della frizione. La variabile controllata è lo slittamento istantaneo della frizione; questo dato è disponibile all'unità di elaborazione dalla relazione illustrata in figura 7. I segnali di frequenza in ingresso f_{in} ed in uscita dalla frizione f_{out} sono dati disponibili in ingresso all'unità di controllo.

Il segnale di riferimento è in questo caso la posizione del pedale frizione, il cui valore è un dato disponibile come ingresso direttamente dal sensore di posizione posto sulla corsa del pedale stesso, figura 8.

La modularità e la precisione nel comando del pedale frizione sono un elemento essenziale per valutare nel complesso la prestazione del sistema di controllo di una trattoria.

La non linearità del sistema ha imposto l'introduzione non solo del blocco Pid in retroazione ma anche di un blocco non lineare tempo in-

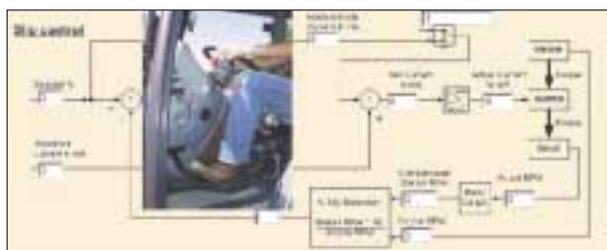


7. Calcolo dello slittamento.

variante con una caratteristica ingresso uscita a compensazione dell'isteresi del sistema.

SISTEMA DI COMUNICAZIONE A BORDO MACCHINA

Il Can (Controller area network) è un protocollo di comunicazione ideato da Bosch Automotive negli anni '80, per realizzare una rete di comunicazione seriale robusta e affidabile. Il pensiero principale degli ideatori era di rendere le automobili più affidabili e sicure, pur riducendo la complessità, il costo e il peso dei cablaggi. Il Can è una soluzione efficiente, sicura e con un throughput (quantità di dati in grado di transitare sulla rete nell'unità di tempo) elevato per realizzare una rete di area, tipicamente un'area di estensione abbastanza limitata, che supporta componenti distribuiti e sistemi ad architettura distribuita nell'area. Le reti di tipo Can sono utilizzate per interconnettere nodi o moduli elettronici (unità di calcolo a microprocessore).



8. Utilizzo pedale frizione con controllo di slittamento.

L'aspetto fisico più comune di una rete Can è una coppia di cavi twisted, con o senza schermo per i disturbi elettromagnetici, che sono utilizzati per l'interconnessione tra i vari nodi della rete; i nodi sono generalmente dispositivi elettronici dotati di microprocessore in grado di acquisire ed elaborare le informazioni provenienti dalla rete ed eventualmente anche da dispositivi e sensori direttamente collegati, al fine di realizzare azioni di controllo e regolazione di apparati e sistemi sotto osservazione. Il Can è nato essenzialmente per soddisfare necessità dell'industria automobilistica europea, ma poi, in seguito ai larghissimi consensi ricevuti in diversi campi di applicazione nei quali è stato testato, è divenuto uno standard internazionale (Open international standard). Tale protocollo è nato per permettere la trasmissione seriale di pacchetti di dati, di dimensioni più piccole rispetto ai pacchetti scambiati tra sistemi elettronici mediante altri protocolli più complessi (come ad esempio il protocollo Ethernet o Usb), garantendo standard di sicurezza e velocità non garantiti da nessuna altro bus di campo utilizzato nel campo dei sistemi embedded. Le ragioni per le quali il Can è stato in grado di diventare in un tempo così breve uno standard è da ricercare nella evoluzione delle specifiche del protocollo realizzate da Bosch: le specifiche Bosch Can 2.0 B sono stabili dal 1991 e, di fatto, sono divenute uno standard per la progettazione dei chip che implementano le regole di codifica e di controllo dei dati che transitano sulle reti Can. Per comprendere le ragioni tecnologiche e di mercato che hanno favorito lo sviluppo di sistemi di controllo basati sull'utilizzo di reti con protocollo Can e, più in generale, sistemi ad architettura di controllo con elettronica distribuita, è necessario analizzare i costi di un sistema di controllo embedded.

Oltre ai citati problemi della ricerca di un controllore di dimensioni adeguate e di costo contenuto, altri fattori hanno contribuito al cambio di mentalità dei progettisti elettronici: in ambienti quali l'oleodinamica, sia fissa sia mobile, si è sviluppata la ne-

cessità sempre più spinta di collocare sistemi di controllo embedded, ovvero a bordo di apparati considerati rilevanti per questioni di sicurezza o di necessità di rapidità di intervento nel controllo durante le normali operazioni di marcia; spesso, quindi, ci si trova a dover introdurre nel layout di cablaggio degli impianti, tratti di cavo di lunghezza non trascurabile (alcuni metri) per posizionare un sensore in un tratto di tubo e su un attuatore oppure per comandare un'elettrovalvo-

lettroniche per la gestione di un intero sistema, ferma restando la necessità di un controllo integrato degli impianti, sia fissi sia mobili (figura 9). I sistemi di controllo sono stati divisi in funzione ai dispositivi controllati, e dislocati in punti diversi dell'impianto, riducendo la complessità di ogni singolo sistema di controllo, anche se, di fatto, la complessità totale dell'impianto risulta aumentata. Come ultima ragione per comprendere l'introduzione dei supporti di re-

vitare che i diversi realizzatori di sistemi tralasciassero le norme Bosch Can per adattare il protocollo alle proprie esigenze, soprattutto per quanto concerne i mezzi fisici di comunicazione, la Society of automotive engineers (Sae) e la International standard organization (Iso) hanno definito alcuni protocolli dove la specifica Bosch standard è applicata ai primi due livelli Iso-Osi. In particolare: Iso 11898 standard per applicazioni ad alta velocità; Iso 11519 standard per applicazioni a bassa velocità; J1939 (Sae) standard per applicazioni su camion, trattori e bus; Iso 11783 (Isobus).

L'introduzione di un Virtual terminal con funzioni di visualizzazione informazioni, gestione e controllo sui dispositivi collegati alla rete secondo lo standard Iso 11783 (Isobus) è la prospettiva più immediata e tecnologicamente avanzata nel campo delle trattorie agricole. La rete può consistere di uno o più bus con segmenti collegati in base alla specifica J1939.

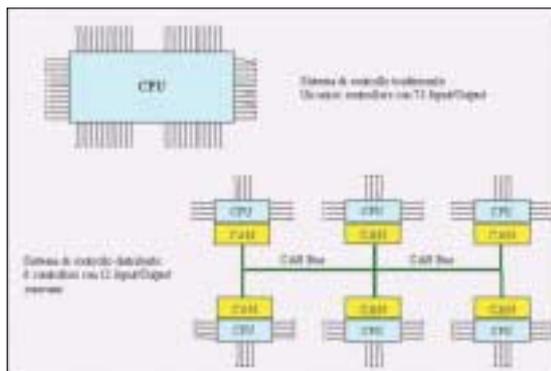
In figura 10 è rappresentata una rete tipica, secondo la specifica Isobus, che può essere costruita su un trattore. In particolare si considerino tre segmenti: bus del trattore (tractor bus). È l'attuale rete Can presente sul trattore che collega le centraline di controllo (Ecu) presenti a bordo macchina (Transmission controller, Cab Controller, Engine Controller, Display, Hitch Controller, ecc.).

Il secondo è il bus dell'attrezzo, che interconnette l'attrezzo e il trattore (implement bus).

Infine, la sub-rete dell'attrezzo collegata al bus dell'attrezzo da un ponte (implement subnetwork). Nella maggior parte dei sistemi, il bus del trattore e il bus dell'attrezzo saranno presenti.

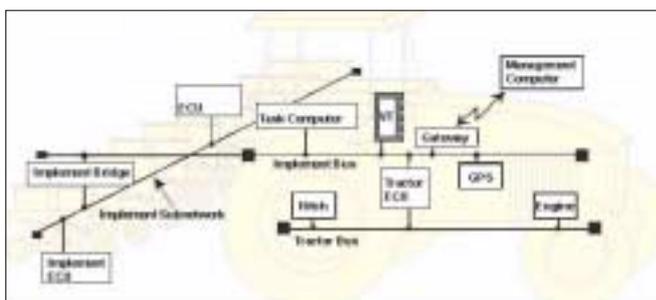
Si consideri a tal proposito la figura 10 dove le 'scatole' rappresentano gli Ecu. Molti degli Ecu richiedono una standardizzazione significativa e questo viene definito in accordo ai diversi paragrafi della normativa in particolare: 1) the virtual terminal (Iso 11783 parte 6); 2) the tractor Ecu (Iso 11783 parte 9).

M. Guerra, Landini.



9. Sistema di controllo tradizionale (in alto) e sistema di controllo distribuito (in basso).

10. Rete tipica di controllo secondo I a specifica Isobus.



la installata lontano dalla postazione di comando (basta pensare alle piattaforme aeree per esempio, oppure ai bracci degli escavatori o delle gru), dovendo

così fare i conti con problemi quali: attenuazione del segnale analogico proveniente dal sensore, dipendenza dalla temperatura ambiente, qualità dei cavi, protezione del cablaggio da rotture, disturbi elettromagnetici, ecc. Non si deve infatti dimenticare che l'ambiente in cui operano i mezzi agricoli e macchine movimento terra è l'ambiente esterno, ed è quindi legato alle condizioni climatiche, che sono estremamente variabili: queste classi di veicoli debbono essere sottoposti ai più severi test di funzionamento in condizioni estreme, sia di temperatura che di umidità, ed i sistemi elettronici di cui sono dotate debbono garantire una elevata immunità ai disturbi elettromagnetici. Tutto ciò ha spinto i progettisti a cercare soluzioni diverse dal tradizionale utilizzo di singole unità di controllo e-

te Can, infine, vi è il fatto che l'industria automobilistica, nella quale le reti Can sono state applicate con successo e sono divenute fondamentali per esigenze di controlli integrati tra gestione del motore endotermico, gestione di sistemi Drive by wire e gestione della trazione e dell'assetto, fa da traino per campi quali l'oleoidraulica mobile, nella quale i volumi di produzione sono normalmente più bassi e dove l'economia di scala ha dovuto attendere una generale riduzione dei prezzi per giustificarne l'applicazione, ma nella quale i problemi tecnologici da risolvere riguardanti l'elettronica sono della stessa natura.

Il protocollo Can definisce solamente i primi due livelli per il protocollo Iso-Osi, lasciando liberi tutti i livelli superiori. In modo particolare per e-