

Un controller per sensori capacitivi



Gli array di sensori capacitivi vengono utilizzati in un'ampia gamma di applicazioni, ma non sempre è facile interfacciarli con i circuiti digitali

Nella quasi totalità delle attuali applicazioni di tipo elettronico l'interfaccia hardware uomo-macchina viene attivata tipicamente attraverso controlli a pressione, siano essi a tasti o a membrana. Questi controlli, in seguito all'attivazione, provvedono di fatto a chiudere un contatto elettrico, realizzando quindi un "corto" fra due conduttori, che viene poi rilevato da un circuito di decodifica, analogo ai comuni "keyboard encoder" usati nelle

Fig.1 - L'uso dei sensori capacitivi a sfioramento permette di conferire maggior ergonomia e migliore funzionalità all'applicazione, permettendo inoltre di migliorarne l'aspetto

tastiere dei computer, siano essi portatili oppure desktop. Del tutto analoga la tecnica utilizzata anche nei comuni telefoni cellulari, dove la pressione dei tasti porta una membrana in gomma a creare un contatto fra un piccolo disco conduttore e due piazzole del circuito stampato sottostante. Identica la situazione nelle interfacce di controllo industriale.

Paolo De Vittor

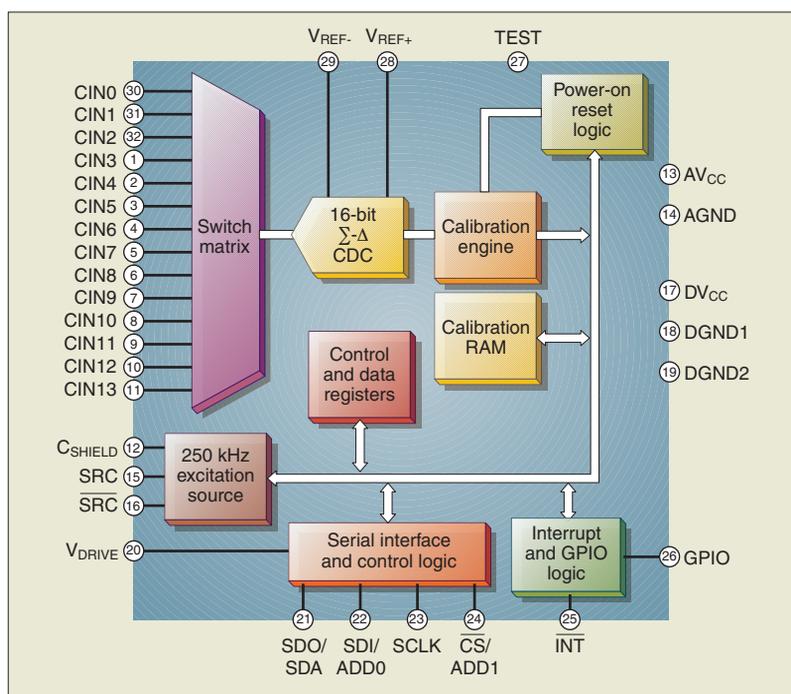


Fig. 2 - Schema a blocchi interno e piedinatura del capacitance-to-digital converter AD7142 di Analog Devices

Il controllo a sfioramento

Un'alternativa di tipo innovativo alla tecnica ora esposta è quella che in letteratura viene denominata di "touch control", detta comunemente "a sfioramento". Si tratta di una tecnica che utilizza un array di sensori capacitivi che permettono - opportunamente codificati - di ottenere un controllo di tipo progressivo, semplicemente sfiorando una zona sensibile. Questa descrizione porta subito alla mente la funzionalità svolta dall'area di "touchpad" di un normale notebook, che per l'appunto si serve proprio di questa tecnica. Il poter sfruttare una funzionalità simile anche per altri tipi di controlli presenti su molte interfacce sarebbe non solo utile, ma permetterebbe anche di conferire una maggior ergonomia e migliore funzionalità all'applicazione, permettendo inoltre di migliorarne l'aspetto.

Non solo, ma i sensori capacitivi si dimostrano robusti, accurati, sensibili e di basso costo se paragonati ai classici controlli a tasti.

Le applicazioni tipiche vanno dai lettori MP3 ai telefoni cellulari, dalle fotocamere digitali alle videocamere, dalle console dei videogiochi ai monitor e televisori LCD, dai telecomandi alle interfacce di controllo, dagli apparecchi medicali alla strumentazione in genere (Fig. 1).

Non si dimentichi inoltre che i sensori capacitivi vengono usati anche in altri importanti ambiti, come ad esempio la misura di precisione di piccoli spessori, nella misura dell'umidità, della pressione, nei sensori di livello, di flusso, di prossimità e di posizione.

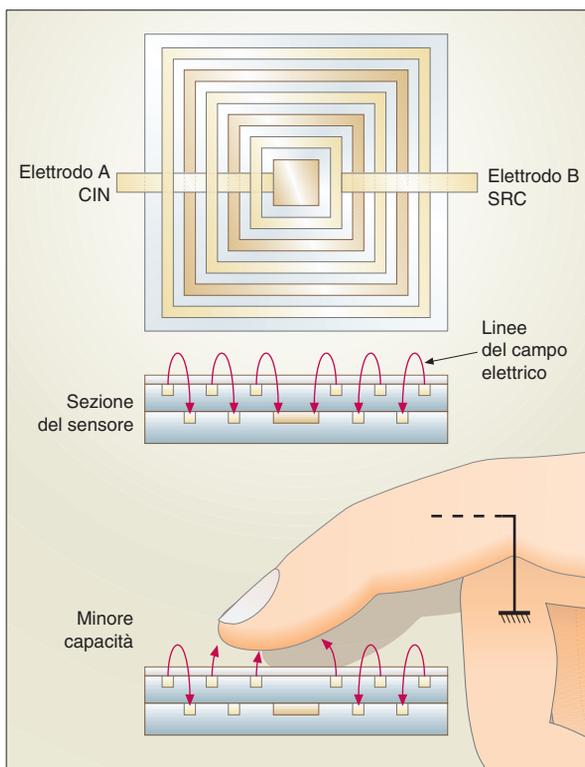


Fig. 3 - L'avvicinamento del dito al sensore capacitivo provoca una diminuzione della capacità

una sezione analogica e ad uno o più chip digitali dedicati. Non solo, ma il problema è complicato dal fatto che i valori capacitivi tipici dei sensori capacitivi vanno dai 50 fF ai 20pF, ciò che crea difficoltà nel rilevare con certezza le piccole variazioni dovute al semplice sfioramento.

Viene in aiuto - a questo proposito - una serie di CDC (Capacitance to Digital Controller) realizzati da Analog Devices, che si è di fatto specializzata in questo settore. I dispositivi offerti sono in grado di interfacciarsi con un

Il problema dell'interfaccia

Il problema, in soluzioni a sensori capacitivi, è però quello del circuito di interfaccia verso il sistema di controllo, poiché è necessario "mappare" un intero array di condensatori, ciò che richiede non solo un elevato numero di linee di collegamento, ma estese funzionalità di signal-processing nonché il ricorso ad

massimo di 14 sensori, offrono una risoluzione fino a 24-bit, un throughput-rate fino a 100 campionamenti al secondo ed offrono interfacce seriali standard SPI e I²C.

A merito di Analog Devices, vale la pena di ricordare che il capacitance-converter AD7445 ha vinto il premio "Best of Sensor Expo Award, Gold Award" già nel 2005: il converter, basato su di un Adc di tipo sigma-delta con una risoluzione di 24-bit, è in grado di rilevare cambiamenti di capacità d'ingresso di soli 20 aF

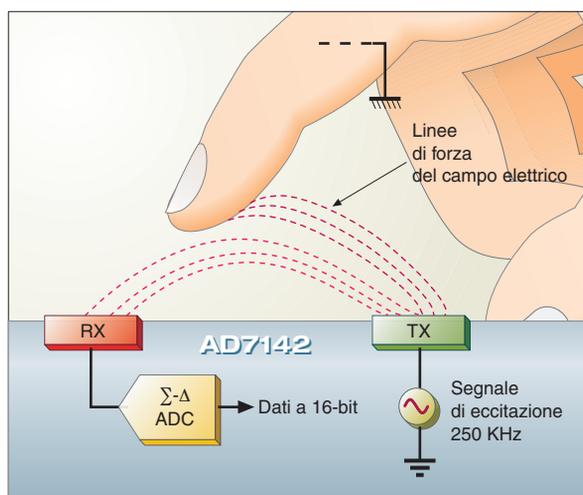
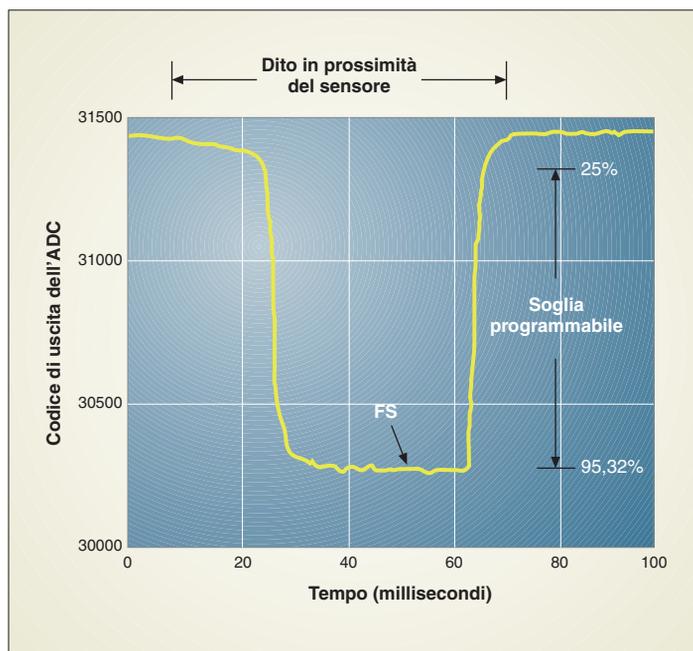


Fig. 4 - La variazione di capacità viene rilevata dal circuito del capacitance-to-digital converter interno all'AD7142

Fig. 5 – Tipico andamento di variazione del codice digitale fornito dal converter in corrispondenza del contatto del dito



(attoFarad, ovvero un milionesimo di picoFarad).

Ma come operano questi CDC? Come si collocano nel finale? Quali scelte effettuare? Di seguito alcuni esempi.

I capacitance-to-digital converter

Un tipico rappresentante della famiglia di CDC prodotti da Analog Devices è l'AD7142, il cui schema a blocchi interno è visibile in figura 2. Il chip integra la possibilità di effettuare una calibrazione al fine di consentire l'impiego di nuove modalità di ingresso definite dall'utente, ed è in grado di interfacciarsi con sensori che svolgono le funzioni di bottoni capacitivi, scroll-bar, rotelle (quale la famosa "scroll-wheel dell'iPod) o combinazioni di questi tipi.

Fig. 6 - L'insieme delle linee di controllo e di interfaccia fra sensore, CDC e processore di sistema

Come si può notare dallo schema a blocchi, le 14 linee d'ingresso sono connesse ad una matrice di commutazione la cui uscita pilota un converter di tipo sigma-delta con una risoluzione di 16-bit, ovvero in grado di rilevare variazioni di capacità inferiori a 1 femtoFarad. Il flusso di dati in uscita al converter subisce una correzione da parte di una "calibration engine" che provvede alla calibrazione automatica periodica della soglia e della sensibilità della risposta al variare delle condizioni ambientali,

VDRIVE per il circuito di interfaccia. Sono altresì disponibili un'uscita di interrupt ed una di I/O generico GPIO. L'alimentazione può andare da 2,6 a 3,6 V e la corrente assorbita va da 1 mA in modalità full power a soli 50µA in low-power, modalità che può essere proficuamente utilizzata quando l'utente non modifica alcun sensore.

Il tutto ospitato in un package da 5 x 5 millimetri a 32-pin (LFCSP_VQ) in grado di operare anche in range automobilistico, da -40 a +150°C. Importante

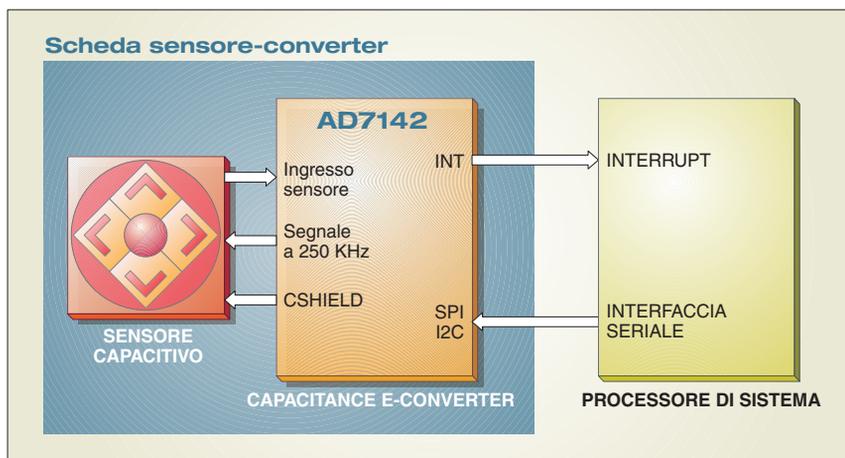
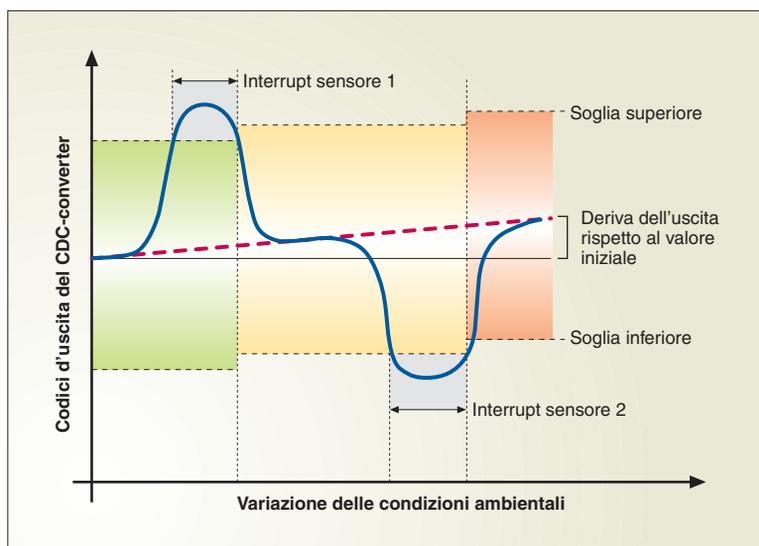


Fig. 7 - Al variare delle condizioni ambientali, il circuito del CDC provvede a traslare le soglie di rilevamento in funzione della deriva del valore capacitivo a riposo



Tale variazione viene rilevata dal circuito del capacitance-to-digital converter interno all'AD7142 (Fig. 4) che provvede ad inviarne segnalazione al sistema tramite il bus seriale. Non appena viene digitalizzato il dato corrispondente ad uno dei sensori, è possibile

anche la protezione contro le scariche elettrostatiche, che raggiunge i 2,5 KV. Gli altri converter della famiglia possono operare da 3 a 5 V, possono interfacciarsi ad un ridotto numero di sensori (1, 2, 3 e 4) e possono integrare un sensore di temperatura di precisione con una risoluzione di 0,1°C ed un'accuratezza di $\pm 2^\circ\text{C}$, mentre la precisione può essere di 16, 21 o 24-bit. Esistono versioni (come ad esempio gli AD7745 e AD7746) in grado di accettare una tensione d'ingresso, utile per interfacciarsi con sensori di temperatura quali RTD, termistori o diodi.

comune vernice isolante o analoghe resine, lacche o gomme. Vi sono varie geometrie utilizzabili, che vanno dalle strutture "a pettine" a quelle concentriche. Fra ciascuna delle armature adiacenti le linee del campo elettrico si disperdono anche verso la superficie esterna (Fig. 3), e l'avvicinamento del dito - connesso a terra - provoca una diminuzione del valore capacitivo.

intervenire per programmare i livelli di sensibilità di soglia di ogni singolo sensore settando il corrispondente registro a 16-bit. I livelli di soglia possono essere regolati dal 25% al 95% del fondo scala fornito dal sensore, in modo da personalizzare l'applicazione. Nel diagramma di temporizzazione di figura 5 è visibile un tipico andamento di variazione del codice digitale fornito dal converter in corrispondenza del contatto del dito.

Misurare la variazione di capacità

Un vantaggio dei sensori capacitivi è rappresentato dal fatto di poterli comodamente realizzare direttamente sul circuito stampato sfruttando le normali piste di rame, e come dielettrico lo stesso supporto epossidico ricoperto da una

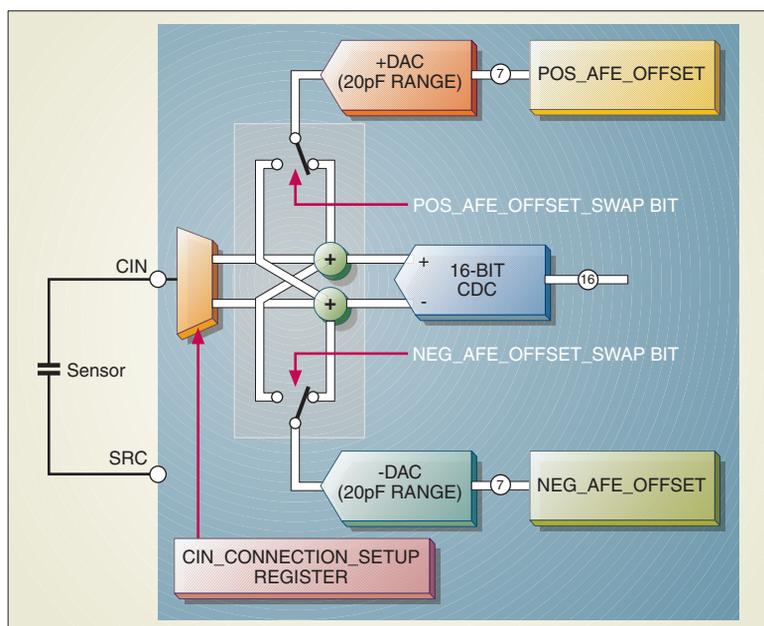


Fig. 8 - Inserendo un opportuno valore nei registri di offset dell'AD7142 è possibile programmare i due Dac interni in modo da compensare gli effetti delle capacità parassite

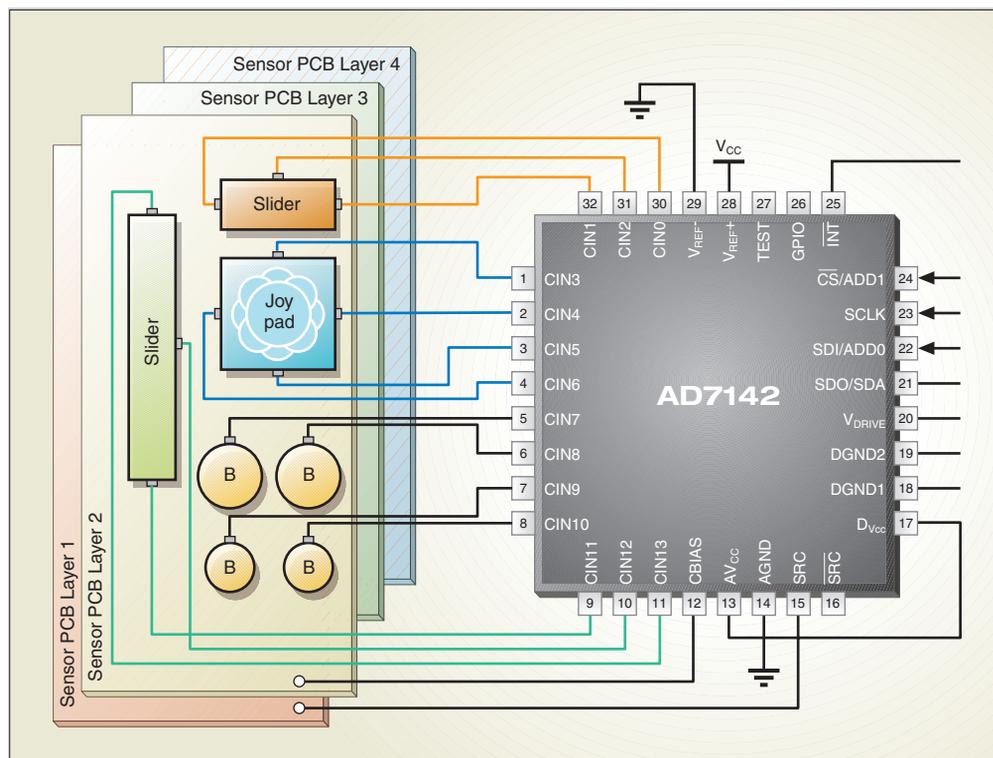


Fig. 9 - Converter quali l'AD7142 sono in grado di gestire un elevato numero di sensori a sfioramento, anche in più combinazioni

In figura 6 è visibile lo schema delle linee di controllo e di interfaccia fra sensore, CDC e processore di sistema.

La compensazione ambientale

Affinché l'applicazione sia affidabile, è necessario che l'insieme sensore-converter sia immune dagli effetti dovuti alle variazioni dell'ambiente in cui opera e sappia mantenere adeguati livelli di sensibilità in ogni condizione. Infatti, poiché il sensore capacitivo è spesso realizzato su di un layer di circuito stampato, le variazioni di umidità, di temperatura o dello spessore dello strato isolante sovrapposto al sensore possono far variare la costante dielettrica del materiale, con conseguente deriva della capacità, che è proprio il parametro che si va a monitorare. Non si pensi che variazioni di umidità e temperatura siano rare o ridotte: basti pensare ad esempio ad un cellulare che passi da un ambiente con aria condizionata all'esterno in caso di pioggia.

È ovvio che in queste condizioni il circuito del CDC (il capacitance-conver-

ter) deve essere in grado di effettuare una compensazione continua in tempo reale della deriva della capacità, se si desidera garantire l'accuratezza della misura. E infatti i dispositivi progettati da Analog Devices provvedono autonomamente anche a questa funzione, e ciò avviene modificando dinamicamente i livelli di soglia alto e basso, in modo da garantire un contatto ottimale del sensore capacitivo.

Come si può vedere in figura 7, infatti, il circuito del CDC provvede a traslare le soglie di rilevamento in funzione della deriva del valore capacitivo a riposo, ovvero quando l'utente non effettua alcun contatto con il sensore, dopo ogni segnale di interrupt.

Un altro problema applicativo è derivato dalle capacità parassite dei conduttori che collegano il converter al sensore o fra i diversi layer del PCB, con valori che possono raggiungere i 20pF. Per compensare tale effetto, il circuito del CDC può essere programmato per azzerare tale offset. Infatti, osservando il circuito interno dell'AD7142 di figura 8, si

può vedere come inserendo un opportuno valore nei registri a 7-bit di AFE_OFFSET è possibile programmare i due Dac interni con incrementi di 0,16 pF in modo da azzerare l'offset del CDC; questa operazione va effettuata solo durante la fase di caratterizzazione iniziale del sensore.

Un'altra fonte di disturbo può essere provocata dai disturbi elettromagnetici emessi dal processore di sistema, che possono essere intercettati dalle piste del circuito stampato. Per tale motivo è utile ridurre al minimo la lunghezza delle tracce che collegano il CDC al sensore capacitivo, e inoltre è bene utilizzare uno dei layer del circuito stampato come schermo di massa. Per quanto riguarda l'impiego pratico del pin di CSIELD si veda l'esempio applicativo dello schema di figura 9, in cui l'AD7142 gestisce 2 sensori di tipo slider, un "joy pad" e 4 bottoni a sfioramento.

Analog Devices
readerservice.it n. 19