

## Criteri di scelta dei convertitori A/D nella progettazione di sistemi RADAR/LIDAR

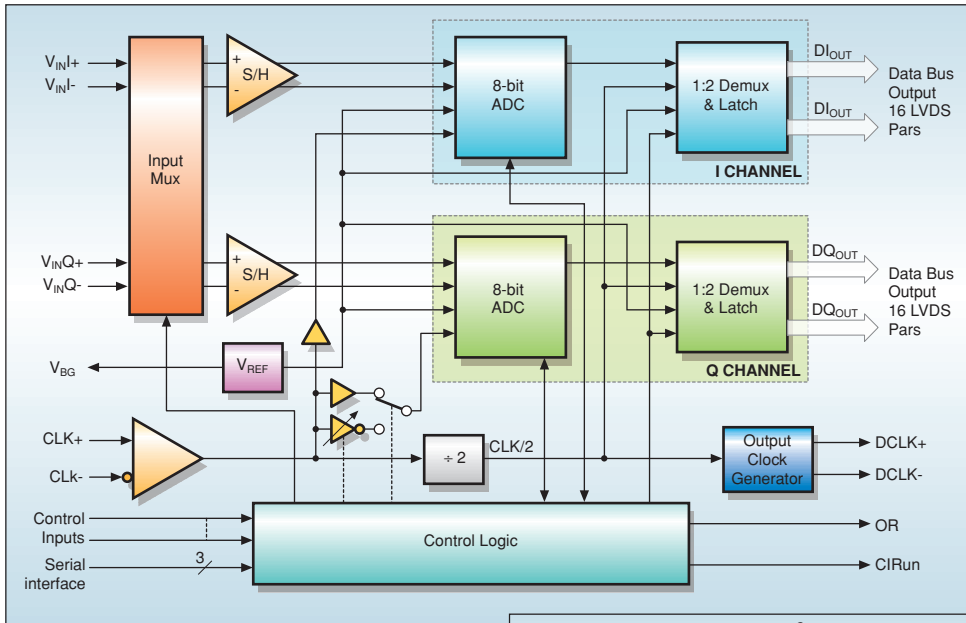
Elevate velocità di campionamento, prestazioni dinamiche di tutto rispetto, ampiezza di banda analogica estesa e bassa dissipazione sono le caratteristiche fondamentali dei convertitori A/D presenti nel percorso di ricezione del front end dei LIDAR, sistemi che trovano sempre più vasto impiego nei settori industriale e automobilistico

**Paul McCormack**  
Applications engineer data conversion division Europe  
National Semiconductor



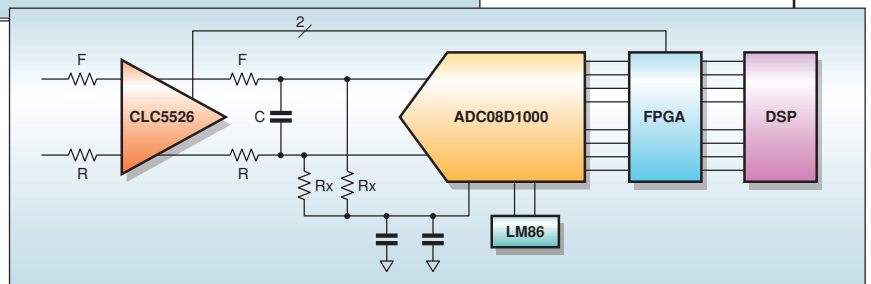
el momento in cui l'analogica prosegue nella sua corsa verso nuovi traguardi in termini di prestazioni, si scoprono sempre nuove e per certi versi sorprendenti applicazioni. I progettisti di sistemi che operano in ambito automobilistico stanno sviluppando sofisticati sistemi LIDAR dotati di un livello di "intelligenza" sufficiente per controllare la velocità di un veicolo e la funzionalità dell'impianto frenante in modo da consentire loro di adeguarsi alle condizioni del traffico o di prevenire eventuali problemi. Sistemi di questo tipo possono anche controllare le distanze che intercorrono tra altri veicoli o da eventuali ostacoli, come pure dispositivi di sicurezza quali gli airbag. Una tale evoluzione tecnologica permette di migliorare sia il comfort sia la sicurezza. Quelle appena descritte sono alcune tra le innumerevoli possibilità di impiego rese possibili dai recenti sviluppi nel campo dei sistemi LIDAR. Le applicazioni sono le più svariate e spaziano dai sistemi di ricerca per uso militare che possono operare nel raggio delle centinaia di chilometri ai sistemi per il rilevamento di veicoli presenti nei caselli di pedaggio caratterizzati da una portata di pochi metri. Indipendentemente dal tipo di applicazione, il componente analogico fondamentale presente nel percorso di ricezione del front end del sistema è il convertitore A/D impiegato per la digitalizzazione gli impulsi stretti riflessi dagli oggetti vic-

ni o lontani. Questi convertitori devono garantire elevate velocità di campionamento abbinate a prestazioni dinamiche di tutto rispetto, ampiezza di banda analogica estesa e bassa dissipazione. I componenti la famiglia di convertitori A/D operanti nel range dei GHz introdotti da National Semiconductor sono in grado di digitalizzare segnali di ingresso analogici a una velocità che arriva a 3 Gsps assicurando un numero effettivo di bit (Enob) superiore a 7. Il mod. ADC08D1000, ad esempio, può garantire un ENOB pari a 7,5 campionando 1 Gsps alla frequenza di Nyquist. L'ampiezza di banda particolarmente estesa, pari a 1,7 GHz, permette in molti casi di effettuare la conversione diretta del segnale RF senza dover ricorrere a costosi e complessi blocchi circuitali di conversione verso il basso. La possibilità di sincronizzare più convertitori A/D consente di aumentare le frequenze di funzionamento oltre i 3 Gsps, come richiesto nei sistemi telemetrici caratterizzati da un livello di precisione molto elevato. Nel corso del presente articolo sono descritti i vantaggi derivati dall'uso di tecniche di sovracampionamento del segnale ricevuto e quelli ascrivibili all'uso di ADC8D1000 in un sistema LIDAR. Inoltre viene riportato un esempio relativo all'impiego di CLC5526, un amplificatore a guadagno variabile digitale, grazie al quale è possibile aumentare il range dinamico del front end analogico di un sistema LIDAR.



**Fig. 1 - In questo schema a blocchi vengono evidenziate le caratteristiche principali del convertitore A/D**

**Fig. 2 - Esempio della modalità di impiego di CLC5526 per il pilotaggio degli ingressi differenziali del convertitore A/D ADC08D1000**



## Vantaggi derivati dal sovracampionamento

Il livello di accuratezza di misura del range che è possibile conseguire è direttamente collegato alla frequenza di campionamento del convertitore A/D. Poiché la velocità della luce,  $c$ , è pari a circa 300.000 Km/s, essa può percorrere 100 metri in 333,33 ns. Alla velocità di 1 Gps, il periodo di clock del convertitore è pari a 1 ns. Nell'istante di campionamento della durata di 1 ns, la luce percorre 30 cm. Per esempio, su una distanza di 100 metri, è possibile ottenere una precisione di misura pari a  $\pm 15$  cm a una velocità di campionamento di 1 Gps. L'errore ovviamente è destinato a crescere al diminuire della frequenza di campionamento.

La velocità del bersaglio è misurata per mezzo della variazione della lunghezza d'onda dell'impulso luminoso riflesso (si faccia riferimento al riquadro: "Sistemi LIDAR: concetti di base"). Per misurare la variazione nella lunghezza d'onda di un impulso di 2-3 ns, il convertitore A/D dovrebbe avere una velocità di campionamento dell'ordine del GHz o superiore. La forma dell'impulso ricevuto contiene informazioni inerenti le proprietà del bersaglio. La forma può essere determinata solamente utilizzando un rapporto di sovracampionamento elevato. Il sovracampionamento è utile anche nel dominio digitale in termini di guadagno di elaborazione, come verrà spiegato più avanti.

## ADC08D1000: caratteristiche di base

Realizzato in tecnologia CMOS da 0,18  $\mu\text{m}$ , ADC08D1000 è un convertitore A/D doppio operante a 1 Gps. L'architettura con stadi in cascata e interpolazione (folding/interpolating), la presenza di un comparatore completamente differenziale, l'innovativo design dell'amplificatore S/H esterno e lo schema di autocalibrazione permettono di ottenere una risposta estremamente piatta relativamente a tutti i parametri dinamici oltre il valore della frequenza di Nyquist, garantendo un ENOB di 7,5 con un segnale di ingresso di 500 MHz e velocità di campionamento di 1 Gps, mentre il BER risulta essere pari a 10<sup>-18</sup>. Ciascun convertitore integra un multiplexer 1:2 che alimenta due bus LVDS e permette di ridurre la velocità dei dati in uscita a un valore pari alla metà di quello della velocità di campionamento. Un clock dei dati uscita differenziale (DCLK) consente l'acquisizione dei dati nel circuito di uscita digitale. Le caratteristiche di maggior rilievo del convertitore sono riportate nella figura 1.

Il componente digitale utilizzato per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati è solitamente un FPGA: oggi sono disponibili parecchi FPGA in grado di gestire velocità di trasferimento dati su bus LVDS comprese tra 0,5 e 1 Gps. Il costo di

### Sistemi LIDAR: concetti di base

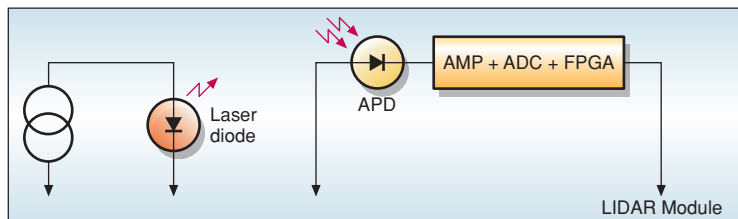
I sistemi LIDAR (acronimo di Light Detection and Ranging) sfruttano il medesimo principio dei radar che prevede l'invio di un impulso luminoso diretto verso un bersaglio. Nel caso di applicazioni in campo automobilistico, il bersaglio può essere rappresentato da un altro autoveicolo o da un ostacolo presente sul percorso. Il componente principale dello stadio di trasmissione è un laser in grado di inviare impulsi stretti nel range di interesse. L'impulso luminoso trasmesso interagisce con il bersaglio e subisce alcune modifiche. Parte dell'impulso luminoso viene riflesso/disperso verso il ricevitore dove viene analizzato. Il cambiamento delle proprietà dell'impulso luminoso consente di determinare alcune proprietà del bersaglio. Il tempo impiegato dall'impulso luminoso per raggiungere il bersaglio e tornare indietro al modulo LIDAR viene utilizzato per determinare la distanza dal bersaglio. In parecchi sistemi un fotodiodo a valanga (APD - Avalanche Photo Diode) presente nel ricevitore viene utilizzato per convertire l'impulso luminoso ricevuto in un segnale elettrico che solitamente viene amplificato prima di subire la digitalizzazione da parte del convertitore A/D. Frequenza di campionamento, ampiezza di banda di ingresso analogica e prestazioni dinamiche del convertitore A/D hanno una notevole influenza sull'accuratezza della misura del range e sulle informazioni che possono essere ricavate dal segnale ricevuto circa il bersaglio. L'impulso trasmesso viene di solito fortemente attenuato (ad esempio a causa delle con-

dizioni atmosferiche) il che si traduce in notevoli differenze di intensità tra gli impulsi trasmessi e ricevuti. Gli oggetti situati in prossimità del trasmettitore possono anche riflettere l'intera potenza del segnale al ricevitore, per cui sono richieste prestazioni di tutto rispetto in termini di range dinamico (dell'ordine anche di 100 dB). Il ricevitore deve anche presentare elevate caratteristiche in termini di sensibilità per poter gestire impulsi riflessi che possono essere sia di bassa sia di elevata intensità. Per ottenere il range dinamico richiesto si fa ricorso a un VGA (amplificatore a guadagno variabile - Variable Gain Amplifier) o a un DVGA (VGA digitale) situati nel front end prima del convertitore A/D. Come segnalato nel corso dell'articolo, un componente come CLC5526 permette di incrementare il range dinamico in misura pari a 42 dB. Nella figura viene raffigurato lo schema a blocchi di un sistema LIDAR.

Esistono tre tipi di sistemi LIDAR: Range finders, DIAL e Doppler.

I primi sono senza dubbio i più semplici e vengono impiegati per misurare la distanza che intercorre tra il sistema LIDAR e un oggetto solido. La precisione di questa misura è direttamente correlata alla velocità del convertitore A/D presente nel modulo di ricezione.

Schema a blocchi di un tipico sistema LIDAR



tali dispositivi aumenta al crescere della velocità di trasferimento: le uscite demultiple 1:2 assicurano un risparmio in tutte le applicazioni dove il costo totale del sistema rappresenta un elemento critico. Le uscite di clock dei dati (DCLK) sono utilizzate per agganciare i dati di uscita nell'FPGA. Le uscite dati ritardate e non (0 e 180°) sono sincrone con questo segnale in modo da semplificare ulteriormente l'operazione di acquisizione dati.

Inoltre è possibile scegliere tra la modalità di uscita SDR (Single Data Rate) oppure DDR (Double Data Rate). Nel primo caso la frequenza del clock di uscita (DCLK) è la medesima della velocità di trasferimento dati dei due bus di uscita. Nel secondo caso, invece, la frequenza di DCLK è pari

alla metà della velocità di trasferimento dati e questi vengono inviati alle uscite su entrambi i fronti di clock di ingresso.

#### Prestazioni dinamiche ottimizzate

Per ottenere le migliori prestazioni dinamiche è necessario pilotare ADC08D1000 con un segnale di ingresso differenziale, mentre non è consigliato un segnale single-ended. È importante che gli ingressi, che siano accoppiati in alternata agli ingressi con il pin VCML a massa oppure accoppiati in continua con il pin VCML non a massa e una tensione di modo comune in ingresso eguagliano l'uscita VCML. Un dispositivo idoneo per il pilotaggio degli ingressi è CLC5526 di National Semiconductor. Quest'ultimo è un amplificatore a

I **DIAL (Differential Absorption LIDAR)** sono utilizzati per la misura di concentrazione chimiche (ad esempio ozono, vapore acqueo o agenti inquinanti).

Per misurare la velocità del bersaglio si fa invece ricorso ai **LIDAR di tipo Doppler**. Quando la luce trasmessa dal **LIDAR** colpisce un bersaglio che si muove nella direzione del **LIDAR** o in quella opposta, la lunghezza d'onda della luce riflessa/diffusa dal bersaglio verrà modificata. Tale fenomeno è conosciuto sotto il nome di **scorrimento Doppler**. Se il bersaglio si allontana dal sistema **LIDAR**, la luce di ritorno sarà caratterizzata da una lunghezza d'onda maggiore (talvolta nota come spostamento verso il rosso), mentre nel caso opposto la lunghezza d'onda sarà inferiore (scorrimento verso il blu). Poiché nei sistemi di tipo **Doppler** è necessario misurare con estrema precisione la lunghezza d'onda della luce riflessa e la forma, risulta indispensabile la presenza di un ricevitore - e quindi di un convertitore **A/D** - in grado di effettuare il sovracampionamento dell'impulso ricevuto. Poiché quest'ultimo è molto stretto (tipicamente la durata è dell'ordine dei nanosecondi), è necessaria la presenza di un convertitore **A/D** contraddistinto da un'elevata velocità di campionamento nel percorso di ricezione per conseguire la velocità di sovracampionamento richiesto. Il bersaglio può essere di tipo solido oppure di natura atmosferica - l'atmosfera contiene parecchia polvere microscopica e particelle di aerosol trasportate dal vento. Fenomeni atmosferici quali pioggia, neve, nebbia provocano una parziale riflessione della luce che il ricevitore deve essere in grado di distinguere dai bersagli solidi che sono di solito quelli che rivestono un maggior interesse.

---

guadagno variabile a controllo digitale (**DVGA - Digital Variable Gain Amplifier**) che permette di impostare 8 valori del guadagno nell'intervallo da -12 a +30 dB in passi di 6 dB. **CLC5526** conserva un'ampiezza di banda di 350 MHz sull'intero intervallo di attenuazione e guadagno da +30 a -12 dB. Il controllo digitale viene effettuato per mezzo di ingresso di controllo del guadagno parallelo a 3 bit e un pin "data valid" per l'aggancio dei dati. Esso può essere impiegato unitamente a **ADC08D1000** e l'**FPGA** per incrementare il range dinamico del canale di ricezione. Il **DVGA**, abbinato all'**FPGA**, forma un anello di livellamento automatico che comprime il range dinamico del segnale di ingresso prima del campionamento da parte del convertitore **A/D**: in questo modo, il range dinamico del convertitore può

## HARDWARE LIDAR


essere incrementato fino a 42 dB. In pratica, l'anello di guadagno viene realizzato nel modo seguente. L'FPGA viene impiegato per misurare la potenza del segnale di uscita del convertitore A/D e controllare direttamente il guadagno di CLC5526 sulla base di questa misura di potenza. Tale operazione dovrebbe essere compiuta in modo tale che i passi del guadagno del DVGA siano trasparenti per l'utente, ovvero la funzione di compensazione del guadagno presente nell'FPGA dovrebbe essere in grado di rimuovere i passi del guadagno in uscita. L'allineamento temporale di questo circuito di compensazione del guadagno dovrebbe essere regolato in modo da supportare la latenza del convertitore A/D, pari a 13 - 14,5 cicli di clock per ADC08D1000. Nella figura 2 viene riportato un esempio della modalità di impiego di CLC5526 per il pilotaggio degli ingressi differenziali di ADC08D1000.

Il filtraggio digitale dell'FPGA rende disponibile ulteriore range dinamico sotto forma di guadagno di elaborazione (PG - Processing Gain), che risulta funzione della velocità di campionamento del convertitore A/D. Le prestazioni in termini di rumore nel convertitore A/D sono limitate dal rumore termico. Quando un convertitore viene specificato, l'ampiezza di banda di rumore è definita come ampiezza di banda di Nyquist. Ciò permette di effettuare una misura del rumore relativa al fondo scala (dBFS) nell'ampiezza di banda di 500 MHz per ADC08D1000. Nel momento in cui l'uscita di quest'ultimo viene filtrata in modo digitale, in uscita viene resa disponibile un'ampiezza di banda più limitata. Questo processo di filtraggio fornisce il guadagno di elaborazione del rumore in funzione della riduzione dell'ampiezza di banda. Ad esempio, nel caso l'ampiezza di banda di uscita sia pari a 10 MHz, il guadagno di elaborazione sarà pari a:

$$PG = 10 \log \frac{BW_{OUT}}{F_s}$$

$$PG = 10 \log \frac{10 \text{ MHz}}{100 \text{ MHz}}$$

$$PG = -20 \text{ dB}$$

Questo valore rappresenta un considerevole incremento per quel che concerne il range dinamico, aumento reso possibile dalle operazioni di filtraggio digitale e sovracampionamento del convertitore A/D. 

**National Semiconductor**

readerservice.it n. 40