

Come ottimizzare la precisione di un RTC

Jason Ngai
Application engineer
Precision Analogue products group
Intersil

Con una semplice procedura di taratura da utilizzare per l'RTC ISL12022 è possibile ottenere livelli di precisione estremamente elevati

Gli RTC (Real Time Clock) contengono un oscillatore e normalmente richiedono un cristallo per operare con il livello di precisione richiesto. Gli oscillatori a cristallo più comunemente usati operanti a 32,768 kHz sono caratterizzati da una tolleranza in frequenza di ± 20 ppm a 25 °C e una deriva in temperatura parabolica non lineare "Alfa" di $-0,34$ ppm/°C². "Alfa" è intrinsecamente parabolica e la situazione peggiora nel momento in cui la temperatura del cristallo devia da T0 (temperatura di turnover – ovvero la temperatura in corrispondenza del picco della curva parabolica), solitamente pari a +25 °C. L'esempio che viene riportato mostra gli effetti della tolleranza in frequenza e di "Alfa" sulla precisione dell'RTC. Un oscillatore a cristallo è caratterizzato da un errore di frequenza di -15 ppm a 25 °C e da un valore di "Alfa" di $-0,034$ ppm/°C². A 40 °C, il cristallo evidenzia una deriva totale di $-22,7$ ppm (-15 ppm $+ [-0,034$ ppm/°C² * $(40$ °C $- 25$ °C)²). Un valore di $-22,7$ ppm in un secondo significa un rallentamento pari a $22,7$ μ s in 1 s, quantità sicuramente molto piccola ma che si accumula nel corso del tempo. Una deriva pari a $-22,7$ ppm in un secondo si traduce nella perdita di 2 s al giorno, 14 s in una settimana, 59 s in un mese e 716 s (11,9 min) in un anno.

Questo problema con cui è necessario convivere utilizzando un tradizionale RTC può essere risolto utilizzando il clock in

tempo reale ISL 12022 di Intersil che integra una funzione di compensazione della temperatura.

Nel corso dell'articolo viene descritta la procedura di taratura da utilizzare per ottimizzare la precisione dell'RTC ISL12022 e presentati i risultati per differenti tipi di cristalli

Architettura di ISL12022

Nella figura 1 viene riportato lo schema a blocchi di ISL12022. I blocchi identificati come "Sensore di temperatura" e "Controllo di frequenza" sono componenti essenziali per la compensazione degli effetti imputabili alla tolleranza in frequenza e ad "Alfa".



Il sensore di temperatura produce un'uscita di tensione analogica che viene inviata all'ingresso del convertitore A/D e produce un valore di temperatura a 10 bit in gradi Kelvin. Il sensore di temperatura misura la temperatura dell'ambiente che circonda il dispositivo, compreso l'attiguo cristallo, e può fornire una compensazione adeguata per la temperatura misurata.

Il controllo di frequenza è diviso in cinque

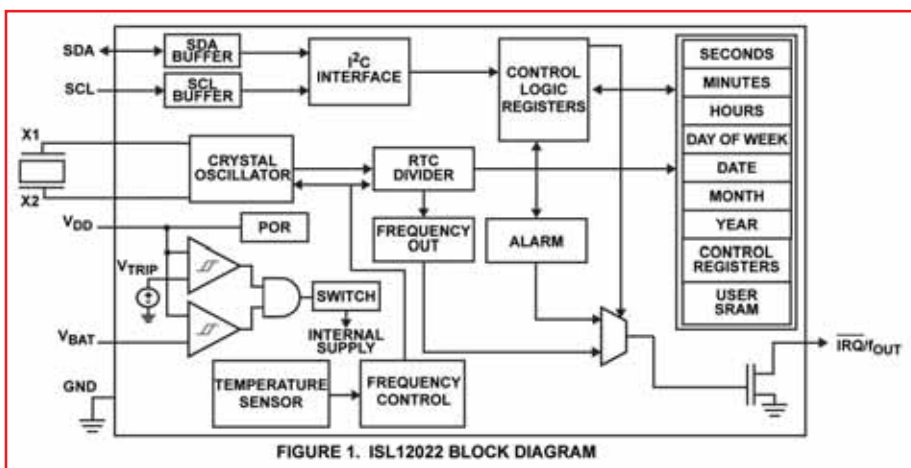


Fig. 1 – Schema a blocchi dell'RTC ISL12022 di Intersil

registri di controllo, qui di seguito brevemente descritti:

- 1) Registri analogici e digitali iniziali (ITR0) – utilizzati per tarare l'errore iniziale (tolleranza in frequenza) a 25 °C. L'impiego della taratura analogica (ATR) e digitale (DTR) combinata consente di ottenere un intervallo compreso tra +62,5 e -61,5 ppm.
- 2) Registro "Beta" – che si occupa delle variazioni di Cm (capacità dinamica) del cristallo. Il valore di Cm per parecchi cristalli è di circa 2,2 fF.
- 3) Registro "Alfa" (Cold) – rappresentazione digitale del coefficiente di temperatura da -40 a 25 °C.
- 4) Registro "Alfa_H" (Hot) – rappresentazione digitale del coefficiente di temperatura da 25 a 85 °C. È previsto l'uso di due registri "Alfa" perché un cristallo può avere un comportamento parabolico diverso nei due intervalli di temperatura (anche se i produttori di cristallo specificano un solo valore di "Alfa").
- 5) Registro della temperatura del punto di turnover (XT0) – L'apice della curva di "Alfa" si verifica in un punto denominato temperatura del punto di turnover. Nei cristalli questa temperatura ha un valore compreso tra +20 e +30 °C e il valore più diffuso è solitamente pari a +25 °C.

Esempio di taratura

Di seguito viene riportato un esempio di taratura che viene effettuata in laboratorio con l'RTC ISL12022 sfruttando i dati raccolti. Il cristallo utilizzato è CM200S di Citizen operante a 32,765 kHz con capacità standard di 12,5 pF.

Tra le altre caratteristiche di rilievo da segnalare le seguenti: tolleranza in frequenza tipica di ± 20 ppm, temperatura di turnover di $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ e coefficiente di temperatura di $-0,034 \pm 0,006$ ppm/°C².

Le operazioni da effettuare sono le seguenti:

- 1) Selezionare la frequenza di uscita IRQ/f_{OUT} : il pin IRQ/f_{OUT} è collegato mediante un resistore di pull up da 2 kOhm a V_{DD} . I bit FO nel registro INT

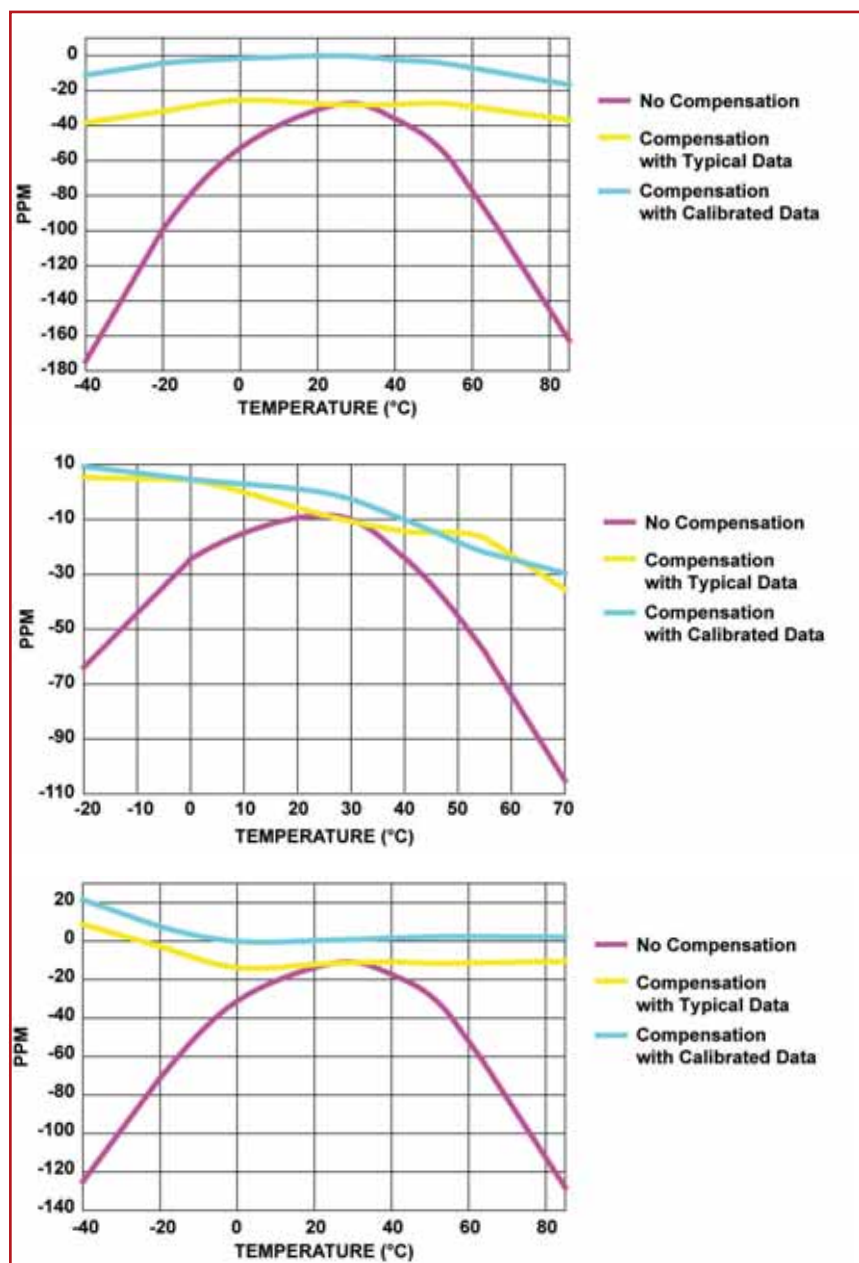


Fig. 2 a)b)c) - Sfruttando la funzione di compensazione della temperatura di ISL 12022 e una semplice procedura di calibrazione è possibile ottenere una precisione di ± 10 ppm da 0 a 40 °C o ± 20 ppm da -40 a 85 °C

(indirizzo = 08h) sono settati a 0011b per selezionare una frequenza di 1024 Hz per le misure di taratura.

- 2) Misurare f1 e calcolare fppm1: settare il registro ITR0 (indirizzo 0Bh) a 00h e ricavare il valore di f1 pari a 1024,009523 Hz dalle misure prese sul pin IRQ/f_{OUT} . Il valore di fppm1 sarà dato da: $fppm1 = [(1024,009523/1024) - 1] * 106 = 9,3$ ppm.

- 3) Misurare f2 e calcolare fppm2: settare

il registro ITR0 (indirizzo 0Bh) a 3Fh e ricavare il valore di f2 pari a 1023,935181 Hz dalle misure prese sul pin IRQ/f_{OUT} . Il valore di fppm2 sarà dato da: $fppm2 = [(1023,935181/1024) - 1] * 106 = -63,3$ ppm.

- 4) Misurare f3 e calcolare fppm3: settare il registro ITR0 (indirizzo 0Bh) a 20h e ricavare il valore di f3 pari a 1023,971328 Hz dalle misure prese sul pin IRQ/f_{OUT} . Il valore di fppm3 sarà dato

da: $fppm3 = [(1023,971328/1024)-1]*106 = -28 \text{ ppm}$.

5) Calcolare "Beta" a partire da $fppm1$ e $fppm2$. $Beta = |(9,3 - (-63,3))| / 63 = 1,152$.

6) Taratura di "Beta": a partire dal valore di "Beta" trovato in precedenza, quello più prossimo nelle tabelle di ricerca del datasheet è 1,125. il codice di "Beta" corrispondente per questo valore è 10001b o 11h. Settare il registro "Beta" (indirizzo 0Dh) a 1001b. "Beta" a questo punto è tarato.

7) Taratura di ATR: a) verificare se DT è richiesto. Essendo $fppm3$ pari a -28 ppm (che è $> 32 \text{ w } < -31$), DT non è richiesto, per cui si setta DTR a 00b. b) poiché DT non è richiesto viene quindi utilizzato il valore di $fpp3$ originale pari a -28 ppm. A questo punto si calcola il codice di taratura per ATR (DeltaAT): $\Delta AT = |-28| / 1,152 = 24,3 = 24$. c) Determinare il codice ATR. Se $fppm3 < 0$, allora $ATR = 32 - 24 = 8$ o 001000b d) Si ottiene dunque $ATR = 001000b$ e $DTR = 00b$. A questo punto si setta il registro ITR0 (indirizzo 0Bh) a 00001000b. ATR è quindi tarato.

8) Taratura di XTO: dai datasheet di CM200S, si ricava che il valore tipico di XTO è pari a 25°C : dalle tabelle di ricerca si ottiene che un valore di XTO di 25°C corrisponde a 00000b o 10000b. Per il codice di XTO si sceglie il primo e si setta il registro XTO (indirizzo 2Ch) a 0000b. XTO risulta pertanto tarato.

9) Taratura di "Alfa" e "Alfa_H" - Dal datasheet di CM200S si osserva che il valore tipico di "Alfa" è pari a $-0,034 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$. il valore normalizzato di "Alfa" è pari a $(|-0,034| \times 2048 = 69,6 = 70 = 1000110b)$. Settare il registro "Alfa" (indirizzo 0Ch) e il registro "Alfa_H" (indirizzo 2Dh) a 1000110b. I due registri sono così tarati.

Risultati di test con e senza calibrazione con differenti cristalli

Per evidenziare i miglioramenti ottenuti con la calibrazione sono stati impiegati tre differenti cristalli operanti a 32,768 kHz e con capacità di 12,5 pF. Si tratta di CM200S di Citizen. MC-154 di Epson e AB26T di

Abracon. I primi due sono di tipo a montaggio superficiale operanti nell'intervallo compreso tra -40 e $+85^\circ\text{C}$, mentre l'ultimo è un cristallo di tipo cilindrico operante nel range compreso tra -20 e 70°C . La prova è stata effettuata con un valore di V_{cc} pari a 3,3 V, in condizioni di sovratemperatura e con tre differenti impostazioni in termini di compensazione: assenza di compensazione, compensazione eseguita con i dati forniti per default dalla fabbrica e compensazione con dati calibrati. Il primo caso si verifica quando la funzione di compensazione della temperatura di ISL 12022 è disabilitata. Per la disabilitazione è sufficiente settare il bit TSE (Temperature Sensor Enabled Bit, bit 7 indirizzo 0Dh) a 0. In assenza di compensazione la misura evidenzia il comportamento parabolico del cristallo o le prestazioni tipiche di un tradizionale RTC.

La compensazione mediante dati di default significa che ISL12022 effettua questa operazione con i dati pre-programmati nei cinque registri menzionati in precedenza. I dati risultano validi per dispositivi con tolleranza in frequenza di 0 ppm, capacità dinamica di 2,2 pF, "Alfa" uguale a $-0,034 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ e temperatura di turnover di 25°C . Nella compensazione con i dati di default, le misure possono mettere in risalto i vantaggi dell'utilizzo della funzione di compensazione della temperatura integrata in ISL12022 rispetto a un RTC tradizionale. Nel caso si impieghino i dati calibrati ISL 12022 effettua la compensazione in temperatura con i dati di ITR0, BETA, ALFA, ALFA_H e XTO desunti dalla procedura di calibrazione. Se si adotta questo tipo di calibrazione, le misure possono mettere in risalto i vantaggi di questa operazione. Come si può osservare dalle figure 2a, b e c, sfruttando la funzione di compensazione della temperatura di ISL 12022 e la semplice procedura di calibrazione descritta, è possibile ottenere una precisione di $\pm 10 \text{ ppm}$ da 0 a 40°C o $\pm 20 \text{ ppm}$ da -40 a 85°C . In definitiva, con una semplice procedura di calibrazione un RTC può raggiungere livelli di precisione molto elevata. Una volta eseguita la programmazione con i parametri di calibrazione, i dati

possono andare perduti una volta che il dispositivo viene spento completamente, compresa l'alimentazione della batteria di backup. Per ripristinare i dati calibrati, il sistema deve avere un modo per memorizzare i dati da qualche altra parte come ad esempio una EEPROM. Al fine di ottenere livelli di accuratezza estremamente elevati, dell'ordine di $\pm 3,5 \text{ ppm}$ o migliori nell'intervallo di temperatura tra -40 e $+85^\circ\text{C}$, l'utilizzatore deve poter avere una temperatura di turnover compresa entro $\pm 0,5^\circ\text{C}$ e un valore di "Alfa" compreso entro $\pm 0,0003 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ o $\pm 1\%$ del valore tipico dal produttore del cristallo. Ciò richiede il collaudo di almeno 3 punti di temperatura e l'esecuzione di un certo numero di calcoli al fine di determinare i parametri di "Alfa" e XTO. Questi test possono richiedere molto tempo, che potrebbero vanificare i vantaggi derivati dall'avere una precisione maggiore. Al fine di evitare il processo di caratterizzazione, Intersil propone ISL 12020M, dove M è l'iniziale di modulo, che prevede l'integrazione del cristallo e di ISL 12022 all'interno del modulo. ISL12020M è ospitato in un package DFN di dimensioni $4 \times 5 \text{ mm}$ ed è il più piccolo modulo RTC al momento disponibile in grado di assicurare una precisione di $\pm 5 \text{ ppm}$ o migliore nell'intervallo compreso tra -40 e $+85^\circ\text{C}$. ISL 12020M dispone di tutte le caratteristiche di ISL12022 e non richiede alcuna calibrazione. ISL 12020 M è tarato in fabbrica e tutti i dati sono immagazzinati in una memoria interna in modo da evitare la perdita dei dati quando viene a mancare l'alimentazione. Nei sistemi in cui è richiesta un'accuratezza uguale o superiore a $\pm 3,5 \text{ ppm}$ nell'intervallo compreso tra -40 e $+85^\circ\text{C}$, il modulo RTC ISL 12020M con cristallo integrato e funzione di compensazione inclusa rappresenta la soluzione migliore. Nel caso invece sia richiesta un'accuratezza di $\pm 10 \text{ ppm}$ da 0 a 40°C o $\pm 20 \text{ ppm}$ da -40 a $+85^\circ\text{C}$ l'RTC ISL12022 con compensazione integrata rappresenta la soluzione ideale quando di segue l'idonea procedura di calibrazione.

Intersil
readerservice.it n. 5