

L'evoluzione dei sensori di corrente per sistemi ad alta affidabilità

Ken Yang
Luciano Bordogna
Maxim Integrated Products Inc., Sunnyvale, CA

Il sensore di corrente a resistenza è semplice, facile da usare, a basso costo, estremamente lineare e non richiede calibrazione. L'asserzione che la tensione ai capi di una resistenza è direttamente proporzionale alla corrente che la attraversa è comunemente conosciuta come la legge di Ohm: $V = IR$. Si noti che tutte le resistenze dissipano potenza quando vengono attraversate da corrente. Poiché la dissipazione produce a sua volta calore che influenza la resistenza, la dissipazione di potenza in una resistenza sensore deve essere accuratamente stabilita.

Per monitorare e misurare la corrente elettrica possono essere utilizzati sensori termici ed elettromagnetici, anche se il metodo più semplice è quello di sfruttare la legge di Ohm. Questa semplice tecnica di rivelazione di corrente viene utilizzata in applicazioni particolari quali monitoraggio di corrente, controllo di connessione a caldo, misurazione di carica e fault protection e permette di far emergere alcuni problemi pratici di progettazione, esaminati in questo articolo

Un valore di resistenza più grande garantisce una maggiore accuratezza, ma dissipa più potenza: $P = I^2R$, dove I è la corrente misurata e R la resistenza sensore. L'ampiezza della corrente misurata è una specifica dell'applicazione piuttosto che un parametro di progetto. Il valore della resistenza sensore dovrebbe essere quindi il più basso possibile per minimizzare l'effetto Joule.

Selezionando un valore basso di resistenza sensore si ottiene un

livello basso di tensione ai suoi capi, cosicché è necessario utilizzare un amplificatore per innalzare il livello di tensione e adattarlo a un comparatore, a un convertitore analogico-digitale o ad altri circuiti esterni. I sensori a bassa tensione sono soggetti a errori di misura indotti dalla corrente di polarizzazione e dalla tensione di "offset" dell'amplificatore. Per esempio, il fondo scala reale di un sensore potrebbe avere un'escursione da 50mV a 200mV. Se la tensione massima di offset dell'amplificatore è ± 5 mV, l'errore di misura è del $\pm 10\%$ a 50mV (fondo scala) e anche peggio a correnti più basse.

L'amplificatore del sensore di corrente deve avere una bassa tensione di offset e una bassa corrente di polarizzazione. Un amplificatore dedicato per il sensore di corrente sul lato alto, (Fig. 1), inter-

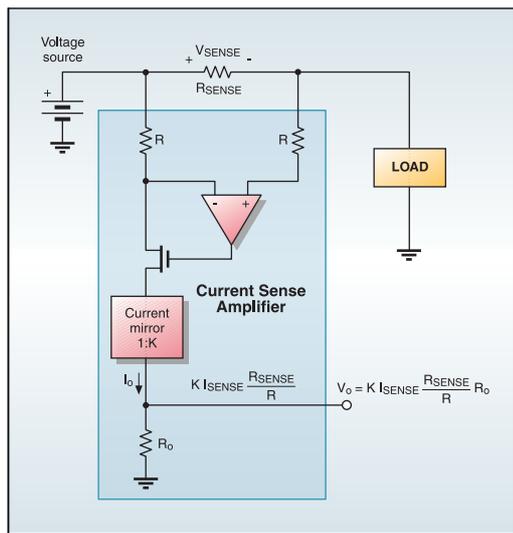


Fig. 1 - Questo sensore di corrente sul lato alto, sfrutta la legge di Ohm per misure di corrente

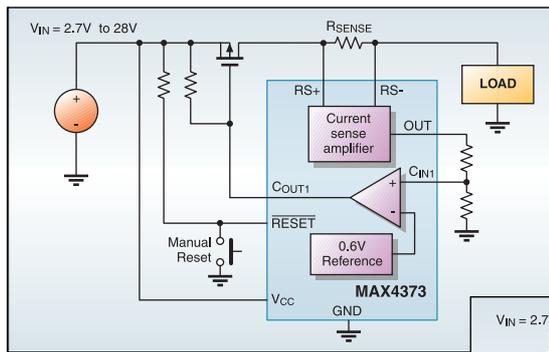


Fig. 2a - Quando l'IC rileva un problema di sovraccarico, il suo circuito di protezione al corto circuito spegne il Mosfet a canale P interrompendo il carico

pone una resistenza sensore tra la sorgente di tensione (per esempio una batteria) e il carico. Eliminando resistenze estranee verso massa, si semplifica di molto il disegno del circuito stampato e se ne migliorano le prestazioni. La corrente attraverso la resistenza sensore (R_{SENSE}) genera una caduta di tensione, amplificata dall'op amp, che pilota il MOSFET ad assorbire corrente attraverso R. La caduta di tensione ai capi di R è uguale alla tensione ai capi della resistenza sensore quindi:

$$K I_{SENSE} R_{SENSE} = I_0 R,$$

quindi: $I_0 = K I_{SENSE} (R_{SENSE}/R)$

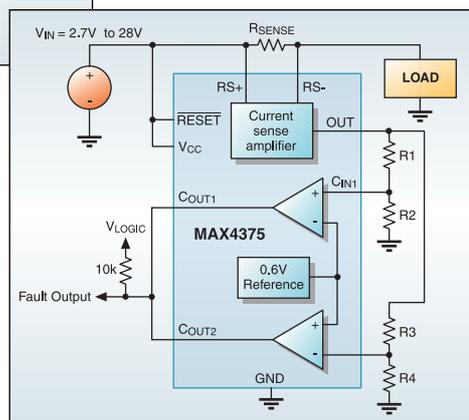
Perciò, $V_0 = K I_{SENSE} (R_{SENSE}/R) R_0$

L'uscita del sensore è proporzionale alla corrente di carico. Tipicamente, viene integrato uno specchio di corrente per incrementare la corrente d'uscita di un fattore K. Se si richiede una tensione in uscita, è sufficiente posizionare una resistenza d'uscita (R_0) fra l'uscita di corrente e la massa, per convertire la corrente in tensione. Le resistenze R e R_0 possono essere facilmente calibrate per ottenere una accuratezza del sensore di corrente del 1% o meglio.

Monitor di corrente e protezione

I circuiti di alimentazione ad alta affidabilità spesso incorporano protezioni per corto-circuiti e sovraccarichi (Fig. 2a). L'IC illustrato (un sensore di corrente

Fig. 2b - Un circuito di finestra di corrente (comprendendo R1-R4, comparatore e riferimento) rileva problemi di circuito aperto o corto circuito



MAX4373), integra un riferimento, un comparatore e la memoria. R1 e R2 impostano la soglia di corrente. Il comparatore confronta la tensione d'uscita del sensore di corrente con la tensione di riferimento. Quando la corrente di carico raggiunge il massimo consentito, l'uscita del comparatore spegne l'interruttore MOSFET a canale-P, bloccandolo a logica alta. Nessuna corrente fluisce al carico. Il MOSFET P rimane spento finché non viene azzerato o l'alimentazione viene interrotta e ripristinata. Carica batterie e altre applicazioni devono proteggersi da sovracorrenti causate da corto circuiti e correnti troppo basse dovute a circuiti aperti. A tale scopo, il rilevatore a finestra di corrente di figura 2b è simile al circuito di figura 2a, ma include un secondo comparatore per monitorare correnti troppo basse. Le uscite dei due comparatori sono a drain aperto e possono quindi essere unite in "OR" o tenute separate. Quando la corrente monitorata esce dalla soglia, l'IC allerta il sistema generando un segnale di guasto.

Controllore di connessione a caldo

Il controllore per connessione a caldo è un sensore specializzato e più sofisticato, inteso per l'uso con schede di sistema, quali ad esempio le schede di I/O in

un server. Permette di inserire o rimuovere una scheda mentre il sistema è in funzione, senza interromperlo. Senza un controllore di connessione a caldo, inserendo o rimuovendo una scheda si può provocare il corto circuito della tensione di alimentazione e causare quindi interruzioni alle operazioni del sistema. Inoltre, senza un controllore per inserzione a caldo, quando viene inserita una scheda, i condensatori a bordo della scheda stessa si caricano molto velocemente. La corrente di spunto risultante può portare temporaneamente l'alimentazione del sistema al di sotto del livello critico.

Il controllore per inserzione a caldo (Fig. 3) è progettato per risolvere questi problemi. Esso incorpora la funzione di avviamento

graduale per contenere la corrente di spunto entro livelli di sicurezza e quando si verifica un guasto per sovraccarico o cortocircuito, il controllore isola la scheda dal reso del sistema.

Ad esempio, il controllore di inserzione a caldo della famiglia del MAX5933A permette di inserire e rimuovere con sicurezza le schede da un circuito in tensione senza provocare picchi sulla linea di alimentazione. Durante l'accensione il controllore agisce come regolatore di corrente, una resistenza di sensore di corrente esterna e un MOSFET che limitano la quantità di corrente assorbita dal carico. Il circuito interno fa aumentare lentamente la corrente monitorata, evitando così una elevata corrente di spunto.

Il resistore sensore imposta anche il limite di corrente. Se l'ingresso FB sente un corto circuito, il circuito integrato riduce, (in "foldback"), il limite di corrente di un fattore 3.9. Ad esempio, una resistenza sensore di 25mΩ, imposta il limite operativo di corrente a 1.88A, ma un corto circuito riduce in modo repentino tale limite a 480mA. I controllori di connessione a caldo spesso includono un temporizzatore che disattiva il MOSFET e protegge la linea di potenza quando il limite di corrente non viene ridotto entro un periodo di

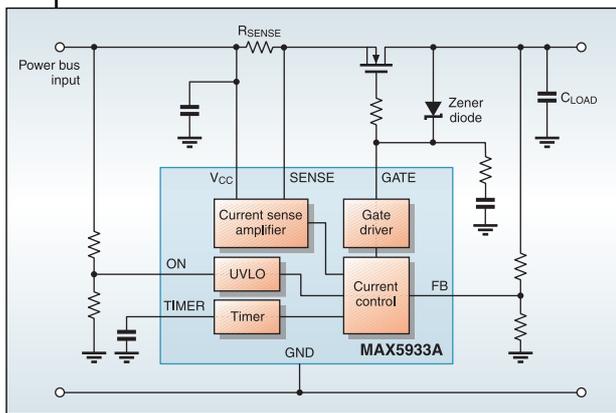


Fig. 3 - Il controllore hot-swap MAX5933A protegge il bus d'alimentazione contro picchi di corrente d'inserzione e problemi di corto circuito

tempo prestabilito. Altre funzioni dei controllori di connessione a caldo comprendono protezioni contro sotto-tensioni, sovratensioni e temperature eccessive.

Misura della carica e gestione della batteria

L'amplificatore del sensore di corrente, illustrato in figura 1, è un dispositivo di uso generale relativamente semplice. D'altro canto, applicazioni specifiche come la misurazione della carica e la gestione della batteria richiedono funzioni aggiuntive da integrare nel chip (Fig. 4).

La misurazione della carica è importante per applicazioni a batteria, nelle quali la capacità della batteria viene monitorata con precisione per ottimizzare le prestazioni del sistema e prolungare la vita della batteria stessa. Per esempio, la batteria in un computer laptop spesso integra un misuratore di carica intelligente per monitorarne e controllarne la carica e la scarica. Tali dispositivi normalmente hanno un contatore di Coulomb digitale che traccia le azioni di carica e scarica accumulate. Una batteria è carica completamente quando accetta un dato ammontare di carica (in

Coulomb). Similmente, una batteria è vuota (scarica) quando è stato prelevato un dato ammontare di carica. Si ricordi che un ampere di corrente è uguale a un Coulomb per secondo. Perciò, l'integrale nel tempo della corrente è uguale alla carica totale. L'amplificatore del sensore di corrente misura la corrente della batteria, e il contatore di Coulomb agisce

come un integratore di tempo che misura la carica totale che è fluita durante i cicli di carica e scarica.

Un sensore di corrente per applicazioni di misurazione di carica deve poter misurare la corrente in modo bidirezionale. Quando si ricarica un certo pacco batterie, la carica massima è impostata dall'utente. Raggiunto il valore impostato, il contatore di Coulomb allerta il microcontrollore che interrompe la carica, poiché la batteria è ricaricata completamente. Allo stesso modo, durante lo scaricamento dovuto al normale utilizzo, il misuratore di carica funziona come un indicatore di livello, informando l'utilizzatore sul livello di carica residua. Nel momento in cui il contatore di Coulomb raggiunge il limite minimo impostato, avvisa il microcontrollore

che la batteria è vuota, prevenendo così il sovra-scaricamento della stessa. In questo modo, evitando eccessive cariche o scariche il contatore di Coulomb prolunga la vita della batteria.

Inoltre, con il continuo monitoraggio del flusso di corrente, il sensore di corrente agisce come protezione a sovraccarichi e corto circuiti. Disattivando i MOSFET in seguito a un cortocircuito, l'amplificatore del sensore di corrente scollega la batteria proteggendola contro danni da cortocircuiti.

Controllore dinamico di alimentazione

Per l'amplificatore di potenza (PA) usato nelle applicazioni telefoniche portatili, un controllo accurato della corrente di alimentazione del PA permette di sfruttare al massimo l'uso della batteria e il tempo di conversazione. Quando un cellulare è vicino alla stazione base e non richiede quindi un'alta potenza di trasmissione, è possibile ridurre la corrente d'alimentazione del PA, mantenendo tuttavia un buon segnale di trasmissione. Viceversa, quando il cellulare è lontano dalla stazione base o sono presenti eccessive interferenze, il trasmettitore richiede alta potenza d'uscita e alta corrente d'alimentazione. Perciò, la regolazione dinamica della corrente d'alimentazione del PA riduce al minimo

il consumo mentre aumenta al massimo il tempo di conversazione.

Sebbene simile al sensore di corrente in figura 1, il controllore di corrente del PA (Fig. 5) incorpora un amplificatore d'errore e opera ad anello chiuso. Il suo funzionamento è simile a quello di un generatore di corrente. L'amplificatore di errore (A3) compara e integra ogni differenza di tensione tra le cadute di IR ai capi di R_{SENSE} e R_{G1} , e alimenta tale uscita all'ingresso del controllo di guadagno (GC) dell'amplificatore di potenza. A3 incrementa il guadagno e la potenza d'uscita del PA, e conseguentemente anche la corrente d'alimentazione, fino a che le

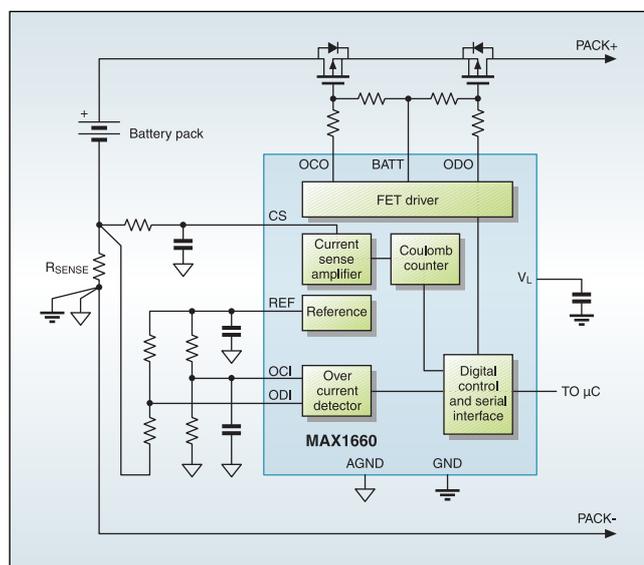


Fig. 4 - I dispositivi indicatori di carica tracciano le correnti di carica e scarica monitorando la corrente che entra o esce dal pacco batteria

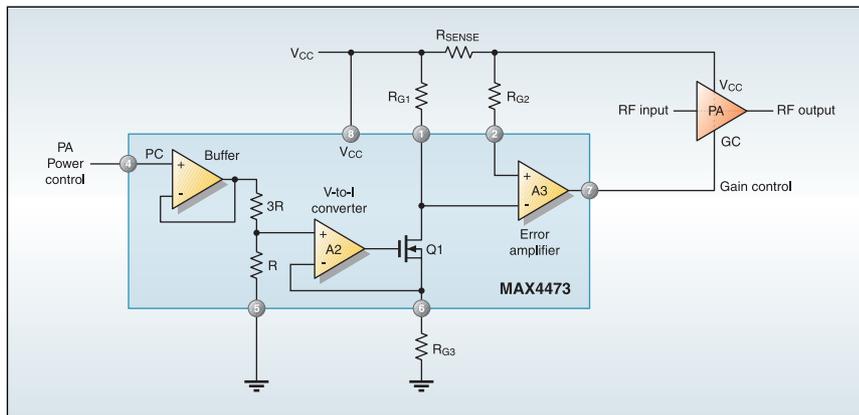


Fig. 5 - Il controllore di corrente MAX4473 regola in modo dinamico la corrente d'alimentazione per minimizzare il consumo di potenza mentre si mantiene una buona integrità di segnale

due cadute IR sono uguali. Il convertitore tensione/corrente comprendente A2, Q1, e R_{G3} controlla la caduta di tensione ai capi di R_{G1}, mentre gli utilizzatori controllano la corrente d'alimentazione del PA esternamente, attraverso l'ingresso del PC:

$$I_{CCPA} = \frac{V_{PC} * R_{G1}}{4 * R_{G3} * R_{SENSE}}$$

Sensori di potenza evoluti

Per la batteria in un notebook, la cui tensione terminale varia mentre la batteria si scarica, il monitoraggio della potenza è più sicuro e preferibile rispetto a un monitoraggio di corrente. La potenza fornita al carico è definita come la tensione sul carico moltiplicata per la corrente. Un monitor di potenza integrato deve comprendere un sensore di corrente con uscita in tensione e un moltiplicatore analogico. Il sensore di corrente sul lato alto fornisce una tensione d'uscita proporzionale alla corrente di carico; questa tensione viene moltiplicata per una frazione della tensione sul carico, per ottenere un'uscita di tensione proporzionale alla potenza assorbita dal carico. Il monitor di potenza integrato MAX4210, per esempio, è progettato per monitorare la batteria in un notebook. La sua escursione di tensione di

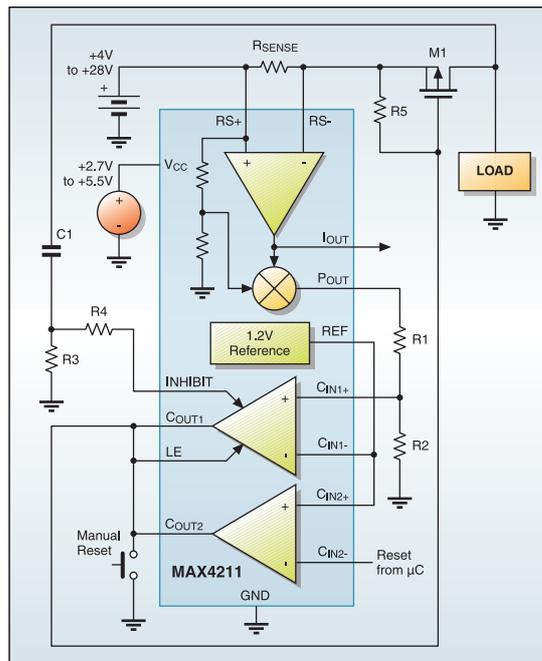


Fig. 6 - Il circuito d'interruzione sensibile alla potenza allo stato solido, toglie la corrente al carico come risposta a un problema di sovrappotenza. Premendo il pulsante di reset manuale o applicando un segnale logico alto a CIN2- si azzerano i comparatori d'interruzione. Se durante l'accensione si verifica un transitorio di tensione, l'ingresso d'INHIBIT previene falsi allarmi sospendendo temporaneamente il comparatore COUT1

modo comune, da 4V a 28V, si adatta a una varietà di tensioni di batteria. Per misurare la corrente, si inserisce una resistenza sensore nel percorso tra la sorgente d'alimentazione (batteria) e il carico. L'amplificatore del sensore di corrente quindi alimenta un ingresso del moltiplicatore analogico con una tensione proporzionale alla corrente di carico. L'altro ingresso del moltiplicatore è collegato a un partitore connesso al

carico. La tensione sul carico deve venire ridotta da un partitore, perché la tensione massima sull'ingresso del moltiplicatore è solo 1.1V. Moltiplicando queste due tensioni si genera un'uscita di tensione proporzionale alla potenza sul carico. Come nel caso del sensore di corrente, questo moltiplicatore analogico è calibrato in fabbrica per garantire una buona accuratezza.

Un circuito interruttore allo stato solido, sensibile alla potenza (Fig. 6), utile per proteggere batterie da corto circuiti e sovraccarichi, blocca la corrente sul carico quando rileva un sovraccarico. Quando si verifica un guasto, il MOS a canale P (M1) si spegne e resta spento fino a che non viene premuto il pulsante di azzeramento manuale o si invia un segnale a logica alta all'ingresso CIN2-.

Si può anche azzerare il circuito di interruzione spegnendo e riaccendendo l'alimentazione che provoca l'abbassamento del pin LE e sblocca l'uscita del comparatore OUT1. La rete RC connessa al comparatore (R3-R4-C1), previene false transizioni durante i transitori d'accensione. In conclusione, i sensori basati sulla legge di Ohm sono circuiti semplici e tuttavia efficienti, adatti a una varietà di applicazioni: protezione per alimentatori, indicatore di carica di batteria e controlli dinamici di alimentatori. I moderni IC integrano la maggior parte dei componenti necessari per implementare un sistema di misura di corrente ad alte prestazioni e basso costo. Con un'accuratezza inferiore all'1% calibrata in fabbrica, tali IC migliorano le prestazioni del sistema, l'affidabilità e la sicurezza.

Maxim Integrated Products
readerservice.it n. 13