

Misure di corrente - Architetture: "Low Side" vs. "High Side"

Arpit Metha
Strategic Applications engineer
Maxim Integrated Products Inc.
Sunnyvale - USA

a cura di
Massimo Caprioli
Senior FAE Maxim Italy
Maxim Integrated Products Inc.
Milano - Italia

Il sistema di alimentazione di apparati elettronici viene reso efficiente attraverso un'adeguata distribuzione della potenza. Un aspetto critico di tale approccio è la misura di corrente che permette di mantenere il livello di potenza desiderato, controllare lo "stato di salute" della macchina e anche prevenire potenziali guasti. Questo articolo descrive due comuni modi "intrusivi" di misurare la corrente analizzandone vantaggi e svantaggi

Due sono i circuiti comunemente usati per misurare la corrente che circola in un apparato; si potrà misurare il campo magnetico indotto da un conduttore sottoposto a corrente oppure inserire una piccola resistenza sul percorso elettrico e misurarne la relativa caduta di tensione ai capi. Il primo approccio non prevede intrusioni né provoca perdite di inserzione ma è particolarmente

costoso nonché sensibile agli effetti della non-linearità e agli errori introdotti dalle variazioni di temperatura. Pertanto, l'uso di tale modalità viene confinato a quelle applicazioni ove l'elevato costo è giustificato dalla richiesta di limitare le perdite di inserzione.

Questo articolo si focalizzerà sulle tecniche di misura in corrente per mezzo di resistenze e semiconduttori che provve-

dono soluzioni economiche con adeguata accuratezza in svariate applicazioni. Vengono quindi analizzate le architetture "Low Side" e "High Side" con esempi che aiutino i progettisti a identificare l'approccio più indicato per le proprie applicazioni.

Misura per mezzo di resistenze

L'inserzione di una resistenza a basso valore ohmico in serie al "carico" produce una piccola caduta di tensione che, dopo esser stata amplificata, produce un segnale che sarà proporzionale alla corrente circolante verso il carico.

Due sono le configurazioni utilizzabili per svolgere tale funzione.

"Low-Side" quando la resistenza di misura è posizionata tra il carico e la massa (Fig. 1a) e "High-Side" quando la resistenza di misura è posizionata tra l'alimentazione e il carico (Fig. 1b); in entrambi i casi, la caduta di tensione risultante potrà essere amplificata usando un semplice amplificatore operazionale. Tuttavia, in funzione dell'applicazione e del posizionamento della resistenza di misura questa tecnica può creare alcuni "problemi" all'amplificatore usato nel circuito.

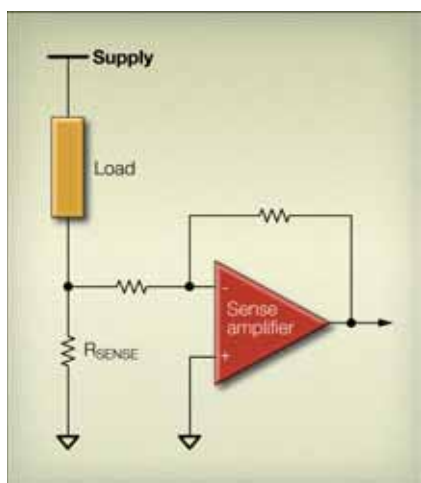


Fig. 1a - Configurazione base "Low-Side"

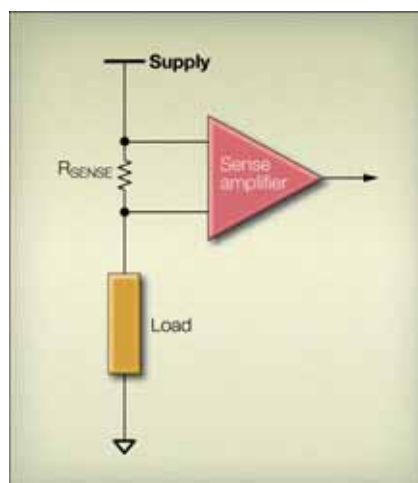


Fig. 1b - Configurazione base "High-Side"

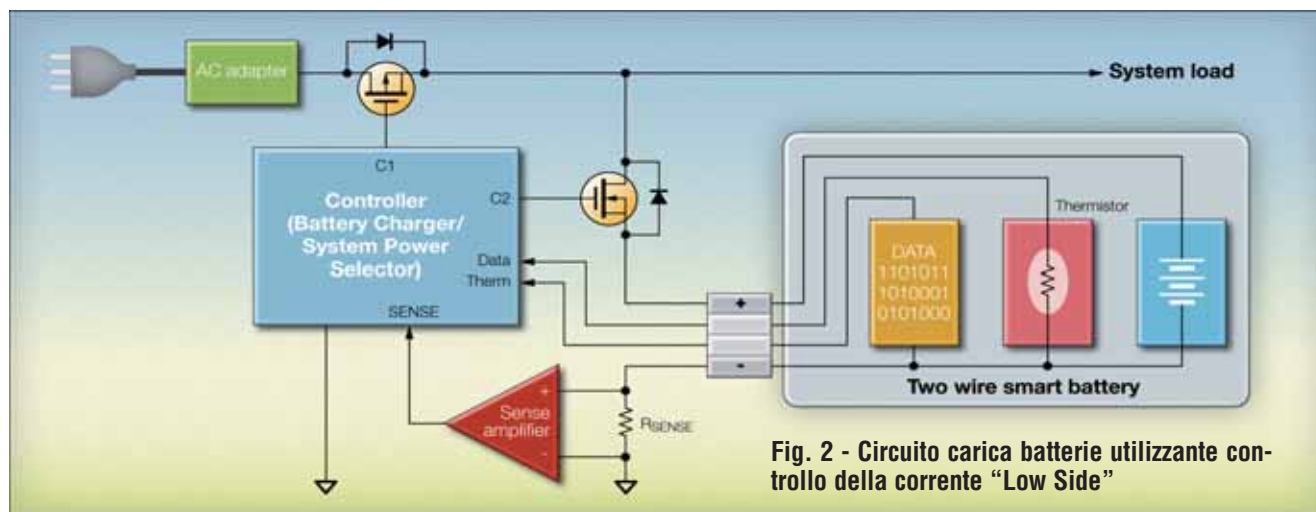


Fig. 2 - Circuito carica batterie utilizzando controllo della corrente "Low Side"

Un primo compromesso dovrà essere affrontato mantenendo l'accuratezza desiderata; al fine di limitare la dissipazione di potenza, il valore della resistenza di misura verrà scelto di valore il più basso possibile ma, al contempo, elevato a sufficienza per poter generare una tensione rilevabile dall'amplificatore.

Inoltre, è da notare che tale misura di un segnale differenziale ai capi della resistenza spazia tra i limiti della tensione di modo comune che nella configurazione "Low Side" è prossima alla massa (0V) mentre nella configurazione "High Side" è prossima alla tensione di alimentazione. Pertanto, la variazione della tensione di modo comune di ingresso all'amplificatore dovrà includere tali limiti (Gnd / LS e Vcc / HS).

Dal momento che la tensione di modo comune in un circuito "Low Side" è piuttosto bassa l'amplificatore selezionato sarà un semplice dispositivo a bassa tensione e di basso costo.

Tuttavia, molte applicazioni non tollerano i disturbi di massa indotti nella resistenza di misura; in sistemi che integrano più blocchi funzionali collegati allo stesso riferimento di massa, questo problema viene ancor più aggravato dal fluire di correnti alte che provocheranno uno spostamento del potenziale di massa che influirà sull'accuratezza di sistema o peggio ancora generando indesiderati potenziali di tensione differenti. Per meglio

capire questo problema, si consideri un circuito carica batterie (Fig. 2) che gestisce l'energia di un "AC Adapter" per caricare un pacco di batterie intelligente e usa un circuito di misura "Low Side" per controllare il costante fluire della corrente nelle batterie stesse.

Come illustrato in figura 2, al fine di ridurre il numero di connessioni a un massimo di 4 fili, un pacco batteria intelligente usa un interfacciamento per il trasferimento dati a singolo filo (secondo il protocollo Dallas - 1wire) per la corretta gestione delle informazioni sullo stato di funzionamento e un termistore per controllarne la temperatura. Il polo negativo della batteria, un capo del termistore e il pin di Gnd del componente intelligente sono collegati allo stesso terminale del pacco batterie (-). Utilizzando un controllo della corrente di tipo "Low Side", una resistenza di misura (R_{sense}) verrà collegata tra il terminale "-" del pacco e la massa di sistema. La caduta di tensione su R_{sense} , prodotta dalla corrente che fluisce nella batteria, viene quindi amplificata e il segnale di uscita all'amplificatore inviato al controllore di carica che, conseguentemente, attuerà la necessaria regolazione della potenza erogata durante la fase di carica. Le variazioni della caduta di tensione su R_{sense} (dovute alle variazioni di corrente nella batteria) produrranno variazioni della tensione al terminale "-" del pacco batteria rendendo inaccurata la misura di

temperatura. Un altro svantaggio della misura di tipo "Low Side" è rappresentato da un possibile/accidentale corto circuito tra il terminale "-" e la massa di sistema che non verrà discriminato.

Nel circuito di figura 2 un corto circuito tra la tensione di alimentazione positiva (System Load) e la massa di sistema potrà far circolare nel MOSFET S1 una corrente talmente elevata da provocarne il relativo danneggiamento.

Nonostante tale pericolo, la semplicità e il basso costo rendono più attrattiva una soluzione "Low Side", specie ove una protezione al corto circuito non è necessaria e/o i disturbi indotti dalla massa di sistema possono essere tollerati.

Perché usare un circuito di misura "High Side"?

L'inserzione di una resistenza tra l'alimentazione e il carico ("High Side", Fig. 1b) risolve il problema appena illustrato in quanto elimina i disturbi legati alla massa (tipici di una misura "Low Side") e permette di rilevare l'eventuale e accidentale corto circuito dell'alimentazione verso la massa di sistema.

Tuttavia, questo approccio richiede all'amplificatore di gestire una tensione di modo comune che è prossima alla tensione di alimentazione stessa.

Conseguentemente, a seconda della misura da effettuare, tale tensione di modo comune potrà variare dai pochi volt

del "Core" di un microprocessore (circa 1V) a centinaia di volt tipici di applicazioni industriali, automotive e telecom.

Alcuni esempi di applicazioni che prevedono l'uso di una batteria quale sorgente di alimentazione sono: computer portatili (17V : 25V), automotive (12V o 24V o 24), telecom (48V o 72V), controllo motori (24V : 100V), illuminazione a LED (5V : 100V), e così via, da cui si capisce quanto sia importante in una misura di corrente "High Side" che l'amplificatore usato sia in grado di gestire ampie variazioni della tensione di modo comune.

Circuiti di misura "High Side" Tradizionali

In applicazioni ove la tensione di alimentazione è bassa (e.g.: 5V) l'amplificatore di misura "High Side" potrà essere un semplice amplificatore strumentale (IA). Tuttavia, l'architettura dell' IA può determinare alcune restrizioni dovute alla limitata tensione di modo comune del suo ingresso; inoltre, gli IA possono risultare piuttosto costosi.

Un'apparente soluzione diretta al problema del dover gestire ampie variazioni della tensione di modo comune potrebbe essere quella di ridurre la tensione per

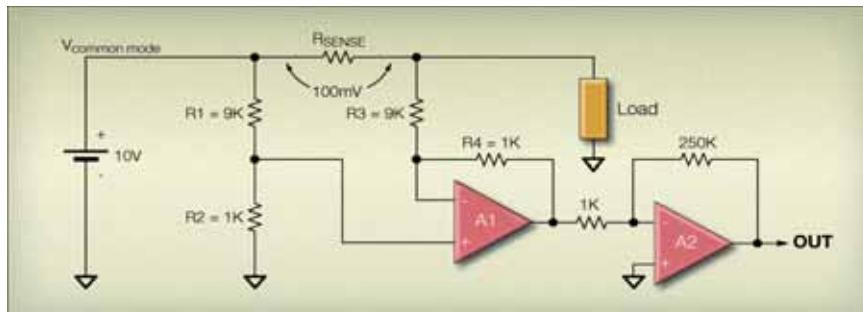


Fig. 3 - Tradizionale circuito "High Side" di misura e controllo della corrente

mezzo di un partitore resistivo; tuttavia, questo approccio potrebbe risultare ingombrante e costoso ma peggio ancor fornire risultati inaccurati. Di seguito si vedrà come.

Si consideri ad esempio di dover misurare ai capi di una resistenza una tensione di 100mV che è sovrapposta a una tensione di modo comune di 10V; inoltre, l'uscita del circuito desiderata - corrispondente a 100mV - deve avere una tensione di fondo-scala di 2,5V con una accuratezza (caso peggiore) di 1%. Si supponga quindi di ridurre la tensione di modo-comune di un fattore 10 (10 V → 1 V) usando un semplice partitore di tensione resistivo come mostrato in figura 3.

Così facendo, l'amplificatore A1 - configurato come amplificatore di differenze - potrà facilmente gestire una tensione di modo comune di 1V; tuttavia, anche la tensione V_{sense} verrà scalata di un fattore 10 così da ridursi a 10mV all'ingresso di A1. Pertanto, al fine di fornire una tensione di uscita con valore di fondo-scala di 2,5V, si dovrà introdurre uno stadio di amplificazione A2 avente guadagno 250. È da notare che la tensione di offset dell'ingresso di A1 apparirà alla sua uscita priva di attenuazione mentre ciò che verrà fornito all'ingresso di A2 sarà amplificato di 250. Poiché tali tensioni di offset non sono correlate, per ottenere la tensione di offset equivalente, esse

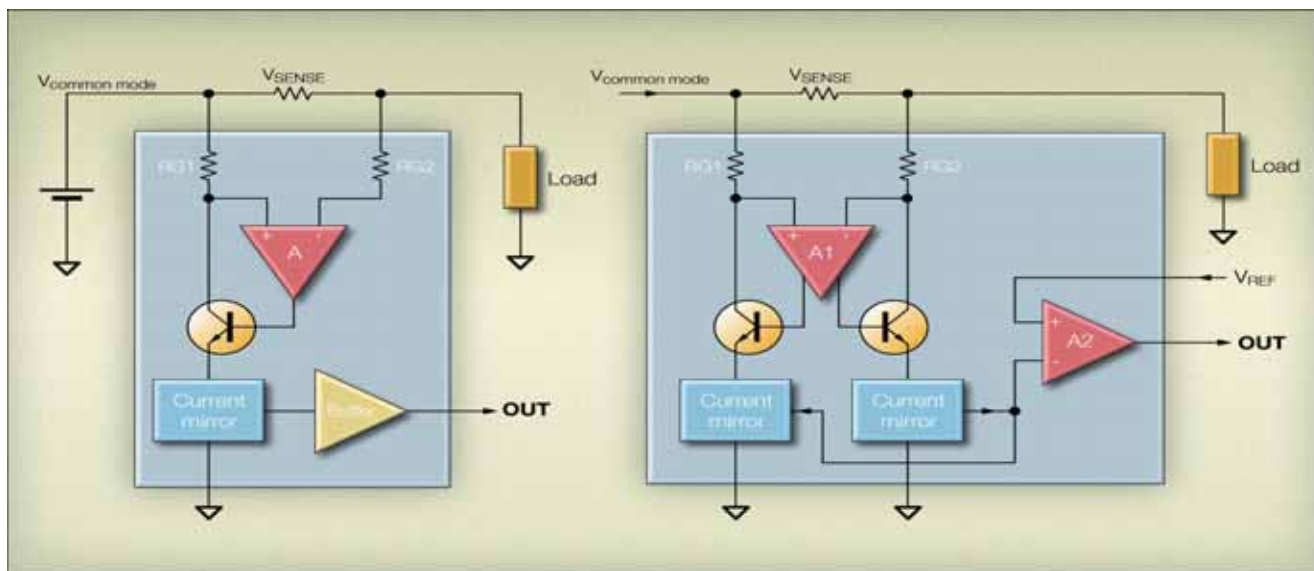


Fig. 4 - Circuito "High Side" integrato dedicato alla misura della corrente (Uni e Bi Direzionale).

saranno combinate all'ingresso di A2 come la Radice della somma dei quadrati (RSS). La tensione di offset equivalente sarà quindi il risultato della seguente equazione:

$$(V_{OS-EQ})^2 = (V_{OS-A1})^2 + (V_{OS-A2})^2$$

dove V_{OS-A1} e V_{OS-A2} sono le tensioni di offset di ingresso degli amplificatori A1 e A2. Assumendo che entrambi gli amplificatori abbiano una tensione di offset di ingresso pari a 1mV, l'offset equivalente sarà pari a:

$$(V_{OS-EQ}) = \sqrt{(1mV)^2 + (1mV)^2} = 1,4mV$$

La configurazione di figura 3 (che rappresenta la soluzione "scalata" con partitore) fornirà una tensione di errore all'uscita di A2 pari a:

$$G_{A2} * (V_{OS-EQ}) = 250 * 1,4mV = 350mV$$

che sarà dovuta al solo offset di ingresso. Pertanto, nel circuito sinora analizzato (Fig. 3), la tensione di offset degli amplificatori determinerà un errore di sistema pari al 14%.

Effetti del disadattamento tra resistenze sul CMRR

Con riferimento al circuito di figura 3, la seconda principale sorgente di errore è data dalla tolleranza delle resistenze usate ai capi dell'amplificatore A1. Il CMRR dell'amplificatore A1 dipende fortemente dal rapporto delle resistenze nei rami $R2/R1$ e $R4/R3$. Una piccola differenza dell'1% nel rapporto tra le resistenze dei due rami può produrre un guadagno di uscita di modo comune pari a $90\mu V/V$. Con resistenze con tolleranza

dell'1%, il rapporto tra i due rami potrà variare del $\pm 2\%$; ciò potrà tradursi in una tensione di errore di modo comune (caso peggiore) di $3.6mV/V$.

Perciò, una variazione di 10V della tensione di modo comune di ingresso produrrà una tensione di errore all'uscita di A1 pari a 36mV. Un errore di 36mV all'uscita di A1 è ovviamente inaccettabile perché causerà la saturazione di A2 (che ha guadagno $G=250$).

Errore totale

Sulla base di ciò che è stato analizzato sinora, l'errore totale sarà dato dalla combinazione "radice della somma dei quadrati" della tensione di offset A1, della tensione di offset A2 e della tensione di errore dovuta alle tolleranze delle resistenze usate. Si è visto come una tolleranza dell'1% delle resistenze usate e una

Providing Integrated Design Solutions



For more information visit www.mentor.com/italy or contact
Mentor Graphics in Italia | Piazza Montanelli 20 | 20099 Sesto San Giovanni (MI)
Tel. (+39) 02 24 98 94.1

readerservice.it n.23735

Mentor Graphics®, the technology leader in electronic design automation (EDA), provides software and hardware design solutions that enable you to develop better electronic products faster and more cost-effectively. We offer innovative products and solutions that help your designers to overcome the design challenges they face in the increasingly complex worlds of board and chip design. Mentor Graphics® has the broadest industry portfolio of best-in-class products and is the only EDA company with an embedded software solution.

**Mentor
Graphics®**

THE EDA TECHNOLOGY LEADER

variazione di 10V del modo comune potranno causare all'uscita di A1 un errore di 36mV e determinare la saturazione dell'amplificatore A2.

Ipotizzando che il rapporto tra i rami resistivi R2/R1 e R4/R3 possa variare dell'1% si otterrà un errore di disadattamento pari a 0,9mV; perciò, l'errore di ingresso totale RSS sarà dato dall'equazione:

$$(V_{TOTAL_OS})^2 = (V_{OS_A1})^2 + (V_{OS_A2})^2 + (V_{OS_MISMATCH})^2$$

dove V_{OS_A1} e V_{OS_A2} sono le tensioni di offset di ingresso degli amplificatori A1 e A2 mentre $V_{OS_MISMATCH}$ è l'errore introdotto dalla tensione di ingresso dovuto al disadattamento resistivo dei rami R2/R1 e R4/R3 pari a una variazione dell'1%. Pertanto, la configurazione di figura 3 fornirà una tensione di errore totale pari a:

$$V_{TOTAL_OS} = \sqrt{(1mV)^2 + (1mV)^2 + (0,9mV)^2} = 1,67mV$$

Pur trascurando l'effetto della variazione di temperatura, l'errore totale dovuto alle tensioni di offset degli amplificatori A1 / A2 e dal disadattamento dei rami resistivi R2/R1 e R4/R3 (1%) potrebbe risultare all'uscita di A2 pari a:

$$1,67mV (V_{TOTAL_OS}) * 250 (G A2) = 417,5mV$$

che rappresenta il 16,7% del valore di uscita fondo scala e avrà un inaccettabile impatto sull'accuratezza del sistema di misura.

Perciò, volendo applicare il circuito di figura 3, l'errore totale potrà essere ridotto a valori di 'accuratezza di sistema' accettabili solo usando resistenze con tolleranza dello 0,1% e/o usando amplificatori aventi tensioni di offset più contenute.

Inoltre, è da notare che i partitori resistivi R2/R1 e R4/R3 rappresentano una bassa impedenza di modo comune verso massa; anche in assenza di carico, essi determineranno quindi un problema in apparati di misura alimentati a batteria causando una rapida scarica delle batterie stesse.

Pertanto, al fine di ottenere misure accurate, l'uso di un circuito come quello raffigurato in figura 3 comporterà un importante impegno progettuale, un numero di componenti considerevole (possibili problemi di spazio) e costi elevati.

Alternative – Circuiti di misura High Side dedicati

Quanto visto finora dimostra l'importanza, in sistemi di misura di corrente accurati, dell'utilizzo di dispositivi in grado di sostenere elevate tensioni di modo comune, che abbiano un eccellente CMRR nonché un bassa tensione di offset di ingresso.

La figura 4 mostra il circuito base di un amplificatore "current-sense" (CSA) "High Side" che è ora disponibile come circuito integrato dedicato ed è fornito in contenitori molto piccoli che permettono di minimizzare lo spazio sulla scheda. Il processo ad alta tensione usato per la produzione permette a tali dispositivi di gestire tensioni di modo comune di 80V anche quando essi siano alimentati a soli 2,8V.

La corrente che fluisce nella resistenza di misura (R_{sense}) crea una piccola differenza di tensione (V_{sense}) che è rilevata dall'amplificatore attraverso la resistenza di guadagno R_G .

Questa corrente (proporzionale a V_{sense}) viene riflessa e processata per fornire un'uscita in corrente riferita a massa e ottenere così l'adeguata e desiderata traslazione di livello rispetto al lato alto. Questa uscita verrà poi convertita da corrente in tensione per mezzo di un ulteriore amplificatore.

I CSA "High Side" prodotti da Maxim soddisfano appieno i requisiti di tali appli-

cazioni fornendo un'elevatissima impedenza di modo comune di ingresso, una bassa tensione di offset di ingresso, un'accuratezza inferiore all'1% e un CMRR tipico di 100dB. La combinazione di queste caratteristiche e la disponibilità in piccoli contenitori (2,2mm x 2,4mm SC70, 3mm x 3mm SOTs, 1mm x 1,5mm USCPs, e così via) fornisce - a basso costo e spazi contenuti - una soluzione a tutti i problemi normalmente dibattuti durante il progetto di un tradizionale circuito CSA "High Side".

Dispositivi Maxim disponibili:

- MAX4372, MAX9928/29 e MAX9938, adatti per apparecchiature alimentate a batteria;
- MAX9937 e MAX4080/1, adatti per applicazioni industriali o telecom;
- MAX4069 e MAX9923, ottime scelte quando sussista la necessità di una particolarmente bassa corrente di offset.

Quando in un sistema di alimentazione di apparati elettronici bisogna misurare accuratamente la corrente per ottenere un'efficiente distribuzione della potenza e mantenerne il livello desiderato, un circuito di misura "High Side" viene preferito a uno "Low Side" perché è insensibile ai disturbi di massa indotti, non introduce indesiderati potenziali di tensione differenti e permette di proteggere l'alimentatore da eventuali cortocircuiti tra il carico e la massa.

A questo proposito i Current Sense Amplifier "High Side" prodotti da Maxim (MAX4372, MAX9928/29, MAX9938, MAX9937, MAX4080/1, MAX4069 e MAX9923) soddisfano appieno i requisiti di tali applicazioni, permettendo di controllare efficientemente lo "stato di salute" del sistema e di prevenire efficacemente l'insorgenza di potenziali guasti. Infine, un circuito dedicato è da preferirsi a una soluzione a discreti per motivi di accuratezza, spazio e costo.

Maxim Integrated Products
readerservice.it n. 15