

# Eseguire misure precise di correnti di bassa intensità

Robert Green  
Senior marketing  
development manager  
Keithley Instruments

Alcuni suggerimenti per minimizzare il rumore del sistema, un fattore critico per la misura di correnti di basso livello

I dispositivi elettronici portatili operanti in modalità wireless sono oramai divenuti accessori indispensabili sia per i consumatori sia per tutti coloro impegnati in qualsiasi attività lavorativa. I consumatori, soprattutto quelli "affamati" di nuove tecnologie, richiedono in continuazione nuovi e sempre più sofisticati prodotti wireless, costringendo quindi le aziende del settore a realizzare in tempi rapidi smartphone e tablet innovativi. Il comune denominatore di tutti questi dispositivi wireless è il fatto che sono progettati per funzionare con batterie.

La necessità di aumentare la durata della batteria di un prodotto wireless mediante la riduzione dei consumi ha spinto i produttori di circuiti integrati a sviluppare dispositivi capaci di operare con livelli di corrente estremamente bassi. Per caratterizzare in maniera efficace il livello di corrente consumato da questi dispositivi è necessario effettuare misure di corrente di basso livello con un elevato grado di accuratezza. Si tratta di un problema sicuramente non trascurabile poiché il livello di corrente può avvicinarsi al quello della soglia del rumore del setup di collaudo. La minimizzazione del rumore del sistema è quindi un fattore critico per la caratterizzazione di correnti di basso livello.

## Una vasta scelta

Gli ingegneri di collaudo hanno a disposizione un'ampia gamma di strumenti per la misura di correnti di basso valore.

**Multimetri digitali (DMM):** se un DMM portatile a 3 ½ digit di basso costo non rappresenta la soluzione adeguata per misure di bassi livelli di corrente, un DMM da laboratorio a elevata precisione è in grado di misurare correnti di soli 10 Pa.

**Elettrometri:** un elettrometro si può definire un multimetro in continua (DC) sofisticato. Per tale motivo, può essere utilizzato per eseguire molte delle misure tipiche di un multimetro DC. Oltre a ciò, l'elevata impedenza di ingresso dell'elettrometro (spesso di valore pari a 1 TΩ o superiore) abbinata all'alta sensibilità, consente di effettuare misure di tensione, corrente, resistenza e carica che vanno decisamente al di là delle possibilità di un DMM tradizionale. Alcuni strumenti, come ad



Fig. 1 – Un elettrometro/misuratore di elevata resistenza come il mod. 6517B di Keithley Instruments può misurare correnti di livello uguale a quello della corrente di offset di ingresso del dispositivo

esempio l' elettrometro/misuratore di elevata resistenza mod. 6517B (Fig. 1) di Keithley Instruments può misurare correnti di livello uguale a quello della corrente di offset di ingresso del dispositivo, che in alcuni casi può essere di soli 1 fA.

**Amperometri:** gli amperometri ottimizzati per la misura di bassi livelli di corrente sono noti sotto il nome di picoamperometri. Rispetto a un elettrometro, un picoamperometro è caratterizzato da un valore di caduta di tensione ai capi dello strumento bassa (molto simile a quello dell'elettrometro), velocità assimilabile o maggiore, minore sensibilità e prezzo più contenuto. L'amperometro può integrare caratteristiche particolari, come ad esempio risposta logaritmica a elevata velocità oppure integrare un generatore di tensione.

**SMU (Source Measure Unit):** le SMU come gli strumenti della serie 2600A di Keithley Instruments (Fig. 2) abbinano le funzioni di generatori di corrente e di tensione di precisione con quelle tipiche dei voltmetri e degli amperometri a elevata sensibilità. Una SMU è in grado di erogare, misurare o assorbire simultaneamente correnti e tensioni. Uno strumento di questo tipo di elevata precisione può essere caratterizzato da una sensibilità che arriva fino a 10 aA (attoAmpere).

### Minimizzare il rumore

Indipendentemente dallo strumento scelto dall'ingegnere di test per misurare correnti di basso livello, il rumore (sia interno sia esterno allo strumento) limiterà la sua sensibilità. Il dispositivo sottoposto a test (DUT – Device Under Test) influenza il livello di corrente che uno strumento è in grado di rilevare perché la resistenza del generatore del DUT ( $R_s$ ) stabilisce il livello di rumore Johnson ( $I_J$ ), ovvero quel rumore di basso livello prodotto dagli effetti della temperatura sugli elettroni in un conduttore. Questo rumore, che può essere espresso in termini di corrente o tensione, è essenzialmente il rapporto tra la tensione di rumore del dispositivo e la resistenza dello stesso:

$$\begin{aligned} I_J &= V_J / R_s \\ &= \frac{\sqrt{4kTB}R_s}{R_s} \\ &= \sqrt{4kTB/R_s} \end{aligned}$$

Dove  $k$  = costante di Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

$T$  = Temperatura assoluta del generatore (in gradi Kelvin)

$B$  = ampiezza di banda di rumore (in Hz)

$R_s$  = resistenza del generatore (in Ohm)

Il rumore Johnson è influenzato quindi sia dalla temperatura sia dall'ampiezza di banda del rumore. Una riduzione di tali parametri comporta una diminuzione del rumore Johnson. Il raffreddamento criogenico, ad esempio, viene spesso usato per ridurre il rumore del dispositivo o campione sottoposto a collaudo, degli amplificatori e di altri circuiti, a fronte di un aumento sia del costo sia della complessità. La riduzione mediante filtraggio dell'ampiezza di banda di rumore, pur contribuendo alla diminuzione del rumore Johnson, rallenta la velocità di misura.

Esistono numerose fonti potenziali cause di corrente di rumore, compresi i cavi utilizzati per collegare gli strumenti di collaudo gli uni con gli altri oppure al DUT. Quando i tradizionali cavi di test coassiali vengono piegati, essi possono generare una corrente superiore alle decine di nanoAmpere quando la schermatura esterna del cavo di collaudo coassiale sfrega contro l'isolamento del cavo. Nel momento in cui ciò si verifica, gli elettroni sono letteralmente "strappati" dall'isolante e si aggiungono quindi alla corrente totale. In alcune applicazioni, la corrente generata da questo effetto triboelettrico può superare il livello di corrente che deve essere misurato dal DUT.

Il rumore imputabile all'effetto triboelettrico può essere minimizzato utilizzando un cavo triassiale a basso rumore con un



**Fig. 2 - Le SMU come gli strumenti della serie 2600A di Keithley Instruments sono strumenti in grado di erogare, misurare o assorbire simultaneamente correnti e tensioni**

isolatore interno di polietilene ricoperto con grafite al di sotto della schermatura esterna. Inoltre è necessario che i cavi di test siano il più corti possibile e isolati dalle vibrazioni.

Le sollecitazioni meccaniche sul DUT possono provocare errori di misura di correnti di basso livello. Questo effetto piezoelettrico varia in funzione dei materiali. I dielettrici in politetrafluoroetilene (PTFE), ad esempio, possono produrre correnti di valore relativamente elevato in presenza di sollecitazioni e vibrazioni di una certa entità, mentre materiali ceramici generano correnti di valore inferiore. Per ridurre la quantità di corrente prodotta da questo effetto è necessario minimizzare le sollecitazioni meccaniche sugli isolatori e realizzare qualsiasi sistema di collaudo per basse correnti utilizzando materiali isolanti con proprietà piezoelettriche minime. Isolatori sporchi o contaminati possono produrre correnti di rumore dell'ordine dei nanoampere. Sull'isolatore, la contaminazione forma una batteria a bassa corrente in un nodo sensibile al passaggio della corrente all'interno dell'isolatore. Per cercare di evitare la possibilità che si verifichi questo tipo di errore, gli operatori devono indossare guanti quando maneggiano gli isolanti, oppure evitare di toccarli. L'uso della lega saldante deve essere minimizzato, mentre le aree saldate dovrebbero essere pulite con un solvente appropriato, come ad esempio alcool isopropilico.

Inoltre, i campi magnetici distribuiti possono generare correnti di rumore. L'uso di fixture di test e strumenti schermati in modo corretto contribuirà a impedire il verificarsi di false letture.

La misura di correnti di basso livello può risultare abbastanza complessa. Un'accurata progettazione delle fixture e del sistema di test permette di minimizzare la corrente di rumore, a tutto vantaggio dell'accuratezza di misura. Per ulteriori suggerimenti e tecniche sulla caratterizzazione di basse correnti è possibile scaricare una copia gratuita del white paper: "Optimizing Low Current Measurements and Instruments" all'indirizzo:

[www.keithley.com/data?asset=55765](http://www.keithley.com/data?asset=55765) ■