

Perché non è possibile collegare in serie i carichi elettronici per ottenere tensioni più elevate?

Bob Zollo
Agilent Technologies, Inc.

Molti dispositivi odierni funzionano a tensioni elevate, come i semiconduttori in carburo di silicio, i sistemi di distribuzione della corrente continua, le batterie per i veicoli elettrici e i moduli di potenza

Per collaudare i dispositivi che possono erogare potenza è necessario utilizzare un carico elettronico (e-load) durante le prove. Ma quando le tensioni salgono a 400V, 600V o addirittura 1000V, sono pochi i carichi elettronici presenti sul mercato compatibili con tali valori. Si potrebbe ipotizzare di collegare in serie alcuni di questi carichi, ma purtroppo non è possibile farlo in modo sicuro con la maggiore parte dei sistemi, come spiegato in questo articolo.

Come funziona un carico elettronico?

I carichi elettronici più semplici possono funzionare in modalità a corrente costante (CC) o a tensione costante (CV). Alcuni carichi elettronici possono offrire anche altre modalità operative, come a resistenza costante, a potenza costante o anche a impedenza costante. Ma tutte queste opzioni sono derivate dalle funzioni base di tipo CC o di tipo CV.

Un carico di tipo CC viene utilizzato per collaudare una sorgente di tipo CV, come l'uscita di un convertitore DC/DC. Analogamente, un carico di tipo CV andrebbe impiegato per collaudare l'uscita di un generatore di corrente di tipo CC.

Analizzando in dettaglio l'architettura di un carico elettronico programmabile a corrente costante (Fig. 1) si osserva che il carico elettronico controlla la quantità di corrente che scorre regolando la resistenza di canale (R_{ds}) di un FET di potenza. La corrente che scorre effettivamente è misu-

rata da un resistore in serie (detto di shunt). Questo segnale differenziale ai capi del resistore di shunt viene amplificato e confrontato con un set-point fornito da un DAC utilizzato per programmare il sistema al livello di corrente desiderato. Il segnale errore viene quindi utilizzato per pilotare il gate del FET e per regolare la corrente. Se scorre troppa corrente, la retroazione negativa aggiusterà la tensione di gate per incrementare la R_{ds} e ridurre così la corrente. Se la corrente è inferiore, l'anello di retroazione reagirà cambiando la tensione di gate per ridurre la R_{ds}, aumentando così la corrente. Se la corrente desiderata supera il massimo richiamabile dal carico, il circuito retroazionato accenderà completamente il FET, portando la R_{ds} al valore minimo: sostanzialmente un corto circuito. La massima corrente che scorre sarà quindi pari a $I = V/R$ dove V è la tensione di uscita del convertitore DC/DC e R

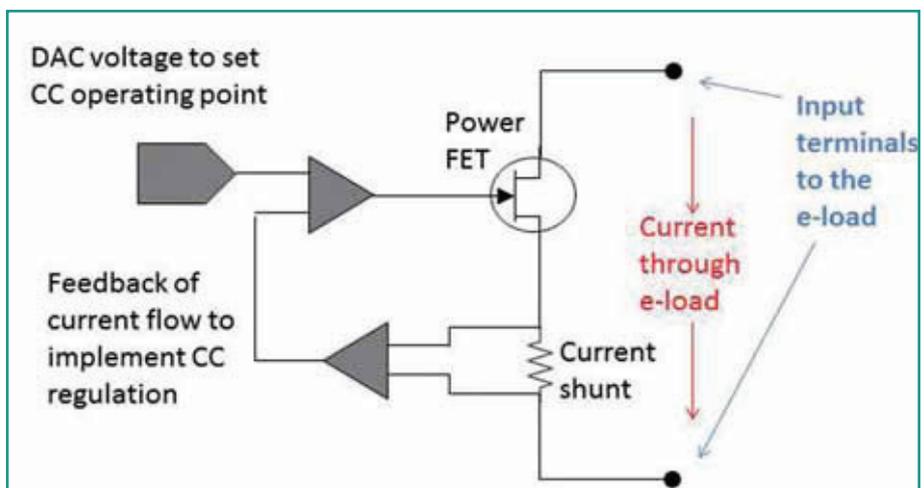


Fig. 1 – Schema a blocchi di un generico carico elettronico funzionante in modalità CC

pari alla somma di $R_{ds(on)}$ del FET e R_{shunt} . Raggiunto questo limite, il carico elettronico non funzionerà più in modalità CC, non potendo assorbire la corrente programmata, comportandosi piuttosto quasi come un corto circuito. Questa condizione corrisponde alla minima resistenza del carico, indicata come resistenza minima di on o resistenza di corto circuito.

Carichi elettronici in serie

Ogni carico elettronico è caratterizzato da un massima tensione operativa, ad esempio 60V. Se il convertitore DC/DC ha un'uscita a 100V, 10A, si potrebbe essere tentati di porre due carichi elettronici da 60V in serie, come mostrato in figura 2. Ogni carico andrebbe impostato per un assorbimento di 10A, in quanto la corrente che li attraverserebbe sarebbe la stessa. Tuttavia, non assorbiranno mai esattamente la stessa corrente a causa delle inevitabili inaccuratezze di programmazione. Quindi, il primo potrebbe assorbire 9,99A mentre il secondo 10,01A. Accendendo l'alimentatore si otterrebbe che il primo carico elettronico imponga correttamente il limite di corrente minore a 9,99A. Tuttavia, il secondo carico elettronico cercherebbe di assorbire più corrente, riducendo la R_{ds} ma non sarebbe in grado di raggiungere il set-point di corrente di 10,01A, a causa della limitazione imposta dal primo. Il secondo carico si porterebbe a lavorare in regime non controllato, come un corto circuito con ai suoi capi una tensione pari quasi a 0V. Ciò comporterebbe la caduta di tutta la tensione di 100V ai capi del primo carico. Questa tensione eccessiva

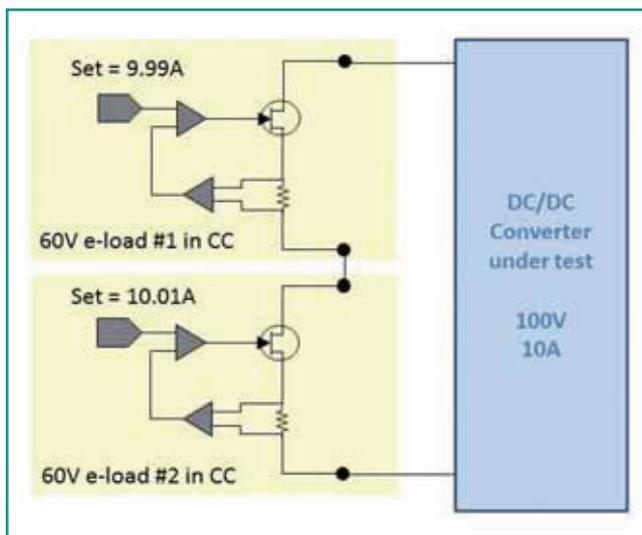


Fig. 3 – Due carichi attivi in serie. Il carico #1, in CC, impone una corrente di 10A. Il carico #2 è invece in modalità CV. Se uno dei due viene spento, il carico #1 diventa un corto circuito, mentre il carico #2 va in circuito aperto. Di conseguenza, si crea un partitore resistivo molto sbilanciato che applica 100V al carico #2, causandone la rottura

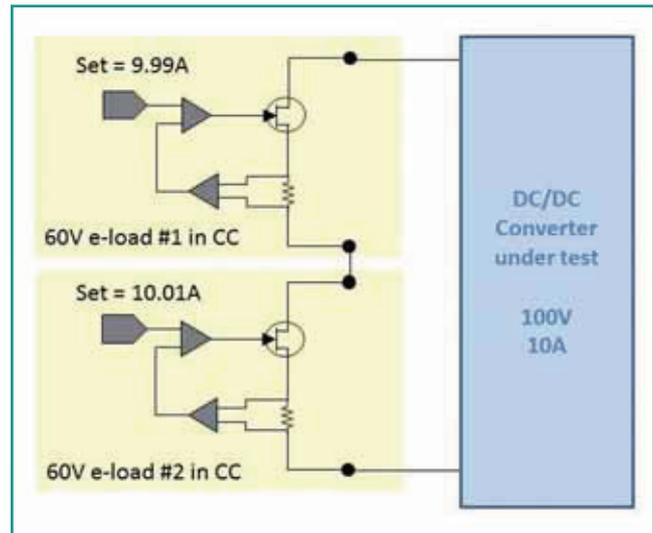


Fig. 2 – Due carichi attivi da 60V in modalità CC collegati in serie. Il carico #1 impone una corrente di 9,99A. Il carico #2 non può quindi raggiungere il set-point di 10,01A e si porta in corto circuito, causando la caduta di 100V ai soli capi del carico #1, provocandone così la rottura

forzerebbe lo spegnimento del primo regolatore e ne potrebbe potenzialmente danneggiare i circuiti di ingresso. Sebbene in questo esempio si siano considerati solo due carichi attivi in serie, lo stesso discorso vale per un numero maggiore di sistemi collegati in serie. Si conferma semplicemente che è impossibile che due o più dispositivi cerchino di regolare il flusso di corrente lungo lo stesso percorso.

Si potrebbe allora pensare di mettere un carico in modalità CC e gli altri in modalità CV, in modo che solamente uno cerchi di regolare la corrente. Tuttavia, anche in questa configurazione si potrebbe verificare un problema nel caso in cui si volesse intenzionalmente disattivare un regolatore o un carico elettronico entrasse in protezione e si spegnesse improvvisamente. Appena si interrompe il flusso di corrente, tutti i regolatori in CC cercheranno di abbassare il più possibile la propria resistenza per incrementare la corrente, portandosi così nella condizione di corto circuito. Nello stesso tempo i carichi programmati in CV si porteranno a lavorare a circuito aperto (resistenza più grande possibile) per cercare di raggiungere la caduta di tensione programmata ai capi della R_{ds} del FET, anche in assenza di corrente. Conseguentemente, la tensione elevata generata dal convertitore DC/DC cadrà ai capi del carico attivo con la resistenza maggiore, per effetto della partizione tra resistenze in serie (Fig. 3).

Non è prudente collegare in serie dei carichi elettronici se il sistema da collaudare è in grado di erogare una tensione maggiore della massima tollerabile da ciascun carico, in quanto tutta la tensione rischia comunque di cadere ai capi di un singolo carico. L'unica condizione sicura per collegare in serie dei carichi attivi sarebbe garantita dalla capacità di ciascun carico di sopportare la massima tensione del generatore, ma in questo caso non vi sarebbe ovviamente la necessità di impiegarne più di uno. ■