

# Come scegliere il miglior LDO a bassissima $I_Q$

Pawel Holeksa  
ON Semiconductor

L'utilizzo dei regolatori di tensione lineari a bassa caduta di tensione, o LDO (Low Drop-Out), nel progetto di un sistema può avere un impatto significativo sul consumo generale di energia

Una delle sfide chiave che i progettisti affrontano attualmente è la minimizzazione della potenza assorbita dal sistema che stanno progettando. L'utilizzo dei regolatori di tensione lineari a bassa caduta di tensione, o LDO (Low Drop-Out), nel progetto di un sistema può avere un impatto significativo sul consumo generale di energia. I regolatori LDO che offrono una bassissima corrente di riposo ( $I_Q$  - quiescent current) si propongono come una valida soluzione. La corrente  $I_Q$  indica il consumo di corrente verso massa quando nessun carico è collegato e contribuisce significativamente a mantenere sotto controllo il budget di potenza disponibile.

Spesso, vi è comunque la necessità di combinare una  $I_Q$  minima con prestazioni dinamiche elevate per assicurare un riferimento di tensione stabile e privo di rumore. Conciliare questi due fattori, che sono spesso mutuamente esclusivi, non è un compito semplice. Questo articolo illustra le relazioni tra  $I_Q$  e prestazioni dinamiche che possono essere prese in considerazione nella scelta di un regolatore LDO e discute alcune tecniche che possono essere utilizzate per ottenere il miglior compromesso tra esigenze discordanti. Le

prestazioni dinamiche dei regolatori a bassa caduta di tensione e a bassissima  $I_Q$  con livelli di  $I_Q$  uguali o molti simili, possono differire radicalmente. Sono due i fattori principali che determinano le prestazioni dinamiche in questi dispositivi. Il primo è il processo di fabbricazione utilizzato. La maggior parte dei moderni regolatori LDO è realizzata usando tecnologie CMOS o BiCMOS avanzate. Il secondo è la tecnica adottata nella progettazione del regolatore LDO. Esistono vari tipi di regolatori LDO a  $I_Q$  ultra ridotta basati su diverse tecniche e che differiscono in termini di prestazioni dinamiche:

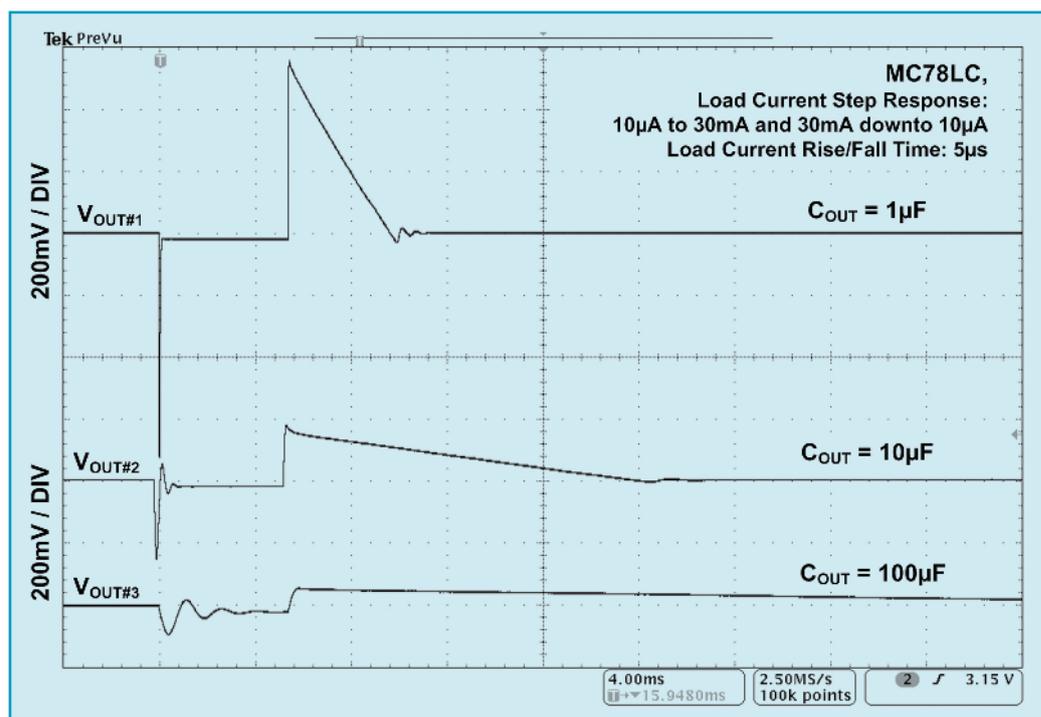


Fig. 1 - Miglioramento del transitorio di carico

**1. LDO a polarizzazione costante** - Tradizionalmente i regolatori LDO a bassissima  $I_Q$  usavano schemi a polarizzazione costante, nei quali il consumo di corrente verso massa viene mantenuto relativamente costante sull'intero intervallo disponibile di corrente di uscita. Tali dispositivi sono particolarmente adatti per applicazioni alimentate a batteria con requisiti di prestazioni meno stringenti. Il loro principale svantaggio sono le prestazioni dinamiche relativamente limitate,

in termini di transitori di carico e di linea, rapporto di reiezione dell'alimentazione (power supply rejection ratio, PRSS), rumore in uscita, e così via. Spesso è possibile "affinare" queste prestazioni dinamiche usando condensatori di uscita di valore maggiore. La figura 1 mostra come sia possibile migliorare le sovra e sottoelongazioni del transitorio di carico di uno di questi regolatori aumentando  $C_{OUT}$  da 1  $\mu F$  a 100  $\mu F$ . Sfortunatamente, a fronte di una diminuzione dell'ampiezza del transitorio, aumenta il tempo di assestamento.

Bisogna anche notare che quando si usano condensatori di uscita di elevata capacità potrebbe essere necessario aggiungere nel sistema un diodo di protezione per proteggere il regolatore da un'eccessiva corrente inversa.

**2. LDO a polarizzazione proporzionale** - Per migliorare il comportamento dinamico dei regolatori a

polarizzazione costante ( $I_{GND}$  costante), nei dispositivi più moderni la corrente di massa cambia proporzionalmente con la corrente di uscita. Ciò assicura che per carichi ridotti il consumo di corrente del regolatore LDO risulti praticamente costante e corrisponda molto fedelmente alla specifica di  $I_Q$  riportata nel datasheet del componente. Sebbene la tecnica a polarizzazione proporzionale fornisca parametri dinamici migliori rispetto ai regolatori LDO con  $I_{GND}$  costante, in applicazioni di precisione che richiedono un'alimentazione molto "pulita" e  $I_Q$  ultra contenuta, queste prestazioni possono essere comunque insufficienti.

**3. LDO a polarizzazione adattativa** - Al fine di migliorare i parametri dinamici e mantenere contemporaneamente un bassissimo valore di  $I_Q$ , ha fatto la sua comparsa sul mercato una nuova famiglia di regolatori LDO che utiliz-

zano una tecnica chiamata corrente di massa adattativa. Questi dispositivi sono in grado di aumentare la corrente di massa quando la corrente di uscita supera un certo livello, senza compromettere l'efficienza per carichi ridotti. Grazie a questo meccanismo, l'applicazione finale può sfruttare i vantaggi legati alle eccellenti caratteristiche in termini di transitori di carico/di linea, al PSRR elevato e al basso rumore in uscita. Tali dispositivi sono ottimizzati per alimentare circuiti analogici sensibili e a radio frequenza, in ambienti che richiedono lunga durata delle batterie e soluzioni compatte.

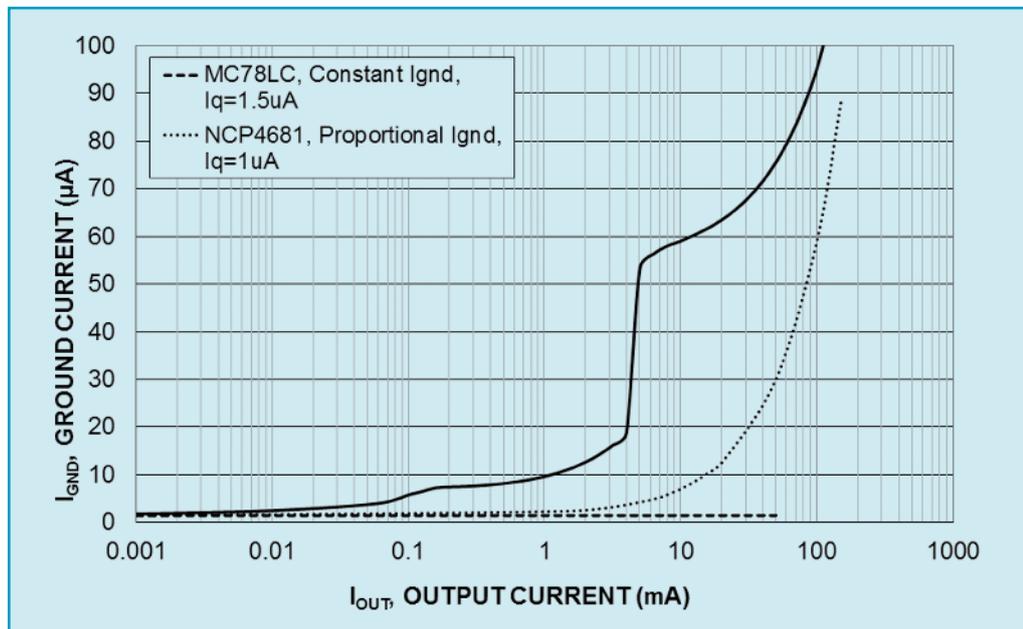


Fig. 2 - Confronto tra diversi tipi di regolatori LDO

Nella figura 2 viene riportato il confronto tra le correnti di massa in funzione della corrente di uscita per questi tre tipi di regolatori LDO a  $I_Q$  ultra ridotta. Ciascuno di essi ha una specifica di  $I_Q$  molto simile (da 1  $\mu A$  a 1,5  $\mu A$ ). Poiché le loro dipendenze della corrente di massa rispetto alla corrente di uscita sono molto differenti, così lo sono le loro prestazioni dinamiche.

In alcuni casi il valore di  $I_Q$  indicato nel datasheet del componente può differire notevolmente dal valore misurato. Ci sono molte ragioni alla base della discrepanza tra questi due valori. In primo luogo in alcuni casi il valore di  $I_Q$  riportato non tiene conto della corrente del pin di abilitazione (EN) dell'ingresso che scorre verso massa attraverso un resistore interno di pull-down. Le misure mostrano che questa resistenza interna di pull-down è dell'ordine di 1 M $\Omega$ . Se il pin EN è collegato al pin  $V_{IN}$ , la

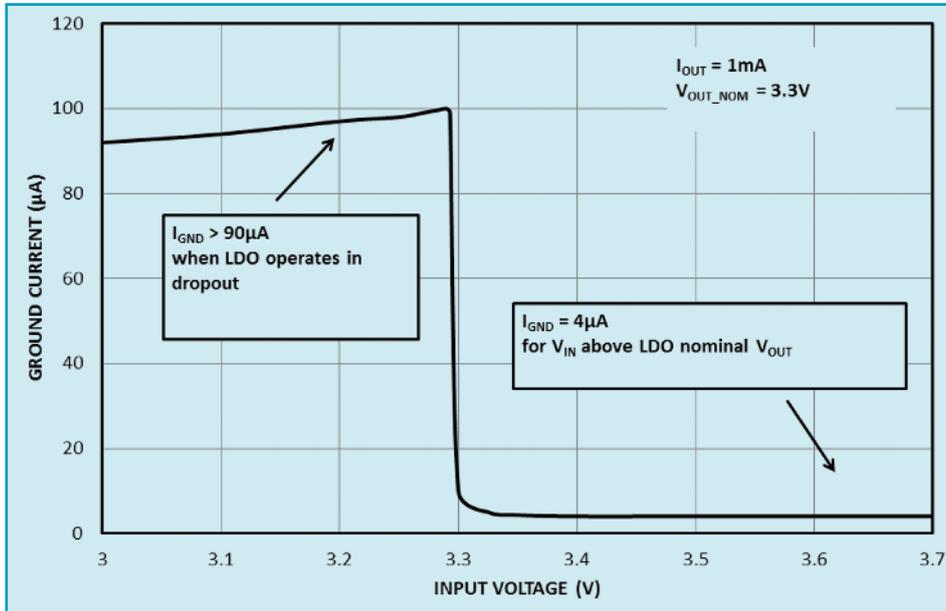


Fig. 3 - Parametri della  $I_{GND}$  in funzione di  $V_{IN}$

corrente verso massa sarà notevolmente influenzata dalla tensione di ingresso, il che si traduce in un consumo di corrente aggiuntivo dovuto alla resistenza di pull-down. Al contrario, altri dispositivi presenti sul mercato hanno una corrente di EN indipendente dalla tensione di ingresso. In secondo luogo, la corrente di massa adattativa usata in alcuni regolatori LDO è regolata in modo che la  $I_{GND}$  inizi a crescere già in presenza di correnti di uscita molto basse.

Un altro importante parametro del regolatore LDO che viene spesso trascurato è il consumo di corrente di massa se questo entra nella condizione di dropout. Nei prodotti alimentati a batterie Li-Ion o Li-Poly è prassi comune regolare l'alimentazione con un'efficienza ragionevolmente alta usando regolatori LDO per produrre una tensione di uscita di 3,3 V o 3,1 V. Comunque, poiché la batteria si scarica e la sua tensione decade, la tensione  $V_{IN}$  del regolatore può avvicinarsi alla  $V_{OUT}$  fino al punto in cui il regolatore entra nella regione di dropout. In tali casi, la maggior parte dei regolatori LDO a bassissima  $I_Q$  attualmente disponibili sul mercato inizia ad assorbire una corrente di massa significativamente maggiore di quella che ci si potrebbe aspettare basandosi unicamente sui valori dichiarati nel datasheet. Per illustrare questo problema, la figura 3 mostra la  $I_{GND}$  in funzione di  $V_{IN}$  per un tipico regolatore LDO a  $I_Q$  ultra ridotta. Nella regione di dropout il regolatore LDO inizia ad assorbire fino a 100  $\mu A$ . Per contrastare questo problema in applicazioni in cui il con-

sumo di potenza è critico, può essere consigliabile aggiungere un integrato di supervisione a bassissima potenza con soglie di isteresi regolabili per gestire il recupero della tensione della batteria una volta rimosso il carico. In alcuni casi in cui l'isteresi risulti insufficiente, può risultare più appropriato l'impiego di altri rivelatori di tensione con un'uscita a latch. Questo implica comunque la necessità di resettare il latch usando o un pulsante o l'informazione proveniente dal controllore della carica della batteria. Non è inusuale che la specifica di  $I_Q$  riportata nel datasheet di un regolatore LDO si riferisca a una condizione "perfetta" (assenza di carico) e

non al più realistico caso di un carico di uscita compreso tra 10  $\mu A$  e 100  $\mu A$ . A volte può essere di ausilio conoscere il comportamento della corrente di massa rispetto alla tensione di ingresso o rispetto alla temperatura. La corrente di massa per alcuni regolatori LDO presenti sul mercato aumenta considerevolmente se la tensione di ingresso diminuisce e il dispositivo entra nella sua regione di dropout. Un consumo di corrente aggiuntivo e imprevisto può avere un effetto negativo sul progetto, riducendo drasticamente la vita della batteria. Questi problemi possono essere particolarmente gravi per i progetti caratterizzati da funzionamenti prolungati in modalità sleep o idle con assorbimento di corrente minima. I progettisti dovrebbero leggere attentamente le note dei datasheet riguardanti le specifiche della  $I_Q$  e, dove possibile, esaminare i relativi grafici di  $I_Q$  in funzione di  $I_{LOAD}$  prima di scegliere un particolare regolatore LDO.

L'ultima generazione di regolatori LDO permette di ridurre la corrente richiesta senza dover completamente sacrificare le prestazioni dinamiche. Utilizzando tecnologie avanzate di fabbricazione a stato solido e sofisticate tecniche di progetto, sono ora disponibili regolatori LDO che permettono di ottenere un buon compromesso. Comunque, i progettisti di sistema devono essere coscienti delle "sfumature" riportate nei datasheet per comprendere completamente il funzionamento dei componenti e selezionare l'opzione migliore per la loro specifica applicazione. ■