

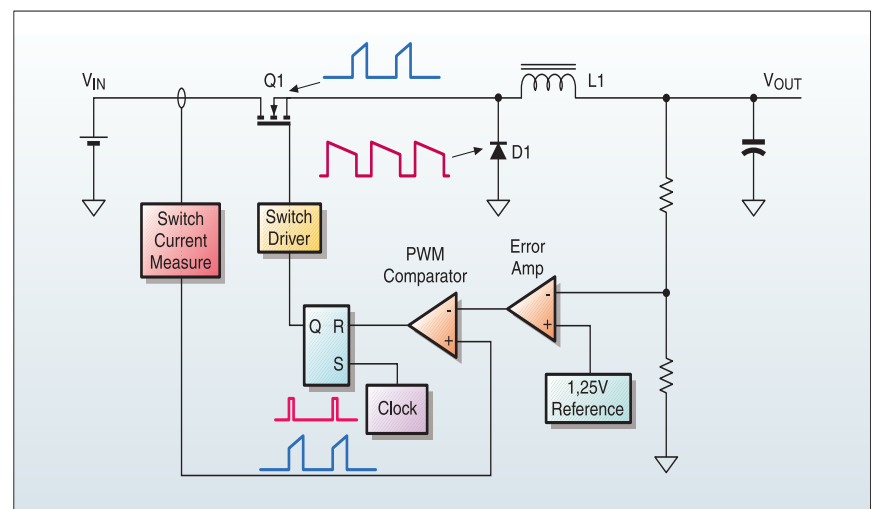
## Risolvere i problemi di progettazione dei regolatori step-down con tensioni di ingresso superiori a 40 V

Robert Bell  
Application engineer  
National Semiconductor

*I nuovi regolatori integrati di National Semiconductor che utilizzano il controllo ECM (Emulated Current Mode) permettono di superare tutte le problematiche legate al controllo della modulazione dei regolatori buck*

I regolatori a commutazione vengono solitamente impiegati per trasformare una tensione di ingresso non regolata di valore elevato in una tensione di uscita regolata di valore inferiore (step-down). Nelle applicazioni che richiedono la conversione c.c./c.c. a partire da una tensione di ingresso relativamente alta, un regolatore a commutazione permette di migliorare sensibilmente il rendimento di conversione rispetto ai regolatori lineari. Due delle più diffuse topologie di convertitori c.c./c.c. basati sono trasformatore sono quelle flyback e forward. Queste topologie risultano molto efficaci in presenza di rapporti di riduzione tra ingresso e uscita molto elevati poiché il rapporto tra le spire del trasformatore può essere impostato in modo consentire la realizzazione della maggior parte delle conversioni step-down. Per esempio, l'equazione di conversione da utilizzare per un convertitore forward è del tipo:

$$V_{OUT} = V_{IN} \times D \times N_s / N_p$$



dove  $D$  è il ciclo utile del commutatore modulante e  $N_s/N_p$  sono il numero di spire degli avvolgimenti primario e secondario del trasformatore.

Nel caso  $V_{IN}$  sia pari a 66 V e  $V_{OUT}$  uguale a 3,3 V (rapporto di riduzione 20:1), il rapporto tra le spire può essere posto pari a 1:10 in modo che il duty cycle del commutatore di modulazione sia pari al 50%. Nel caso si operi a una frequenza di 500 kHz, un duty cycle del 50% corri-

**Fig. 1 – Schema di un regolatore buck che utilizza il controllo in current mode**

sponde a un tempo di innesco (on-time) dello switch di 1  $\mu$ s. Nelle applicazioni che non richiedono l'isolamento a massa, la topologia buck rappresenta la soluzione ideale. Si tratta infatti di una

soluzione a basso costo in quando non è previsto il ricorso a una trasformatore. L'equazione di conversione in questo caso è semplicemente:  $V_{OUT} = V_{IN} \times D$ . Nelle applicazioni caratterizzate da un rapporto di riduzione tra ingresso e uscita parecchio elevato, il valore del duty cycle è piccolo. Ciò, abbinato al funzionamento a elevata frequenza, comporta una sostanziale riduzione del tempo di on del commutatore di modulante. L'abbinamento tra l'alta frequenza e l'elevato rapporto di riduzione pone problemi di non poco conto al controllore PWM. In un regolatore buck in cui  $V_{IN}$  sia pari a 66 V e  $V_{OUT}$  uguale a 3,3 V operante a 500 MHz, il tempo di on sarà di 100 ns.

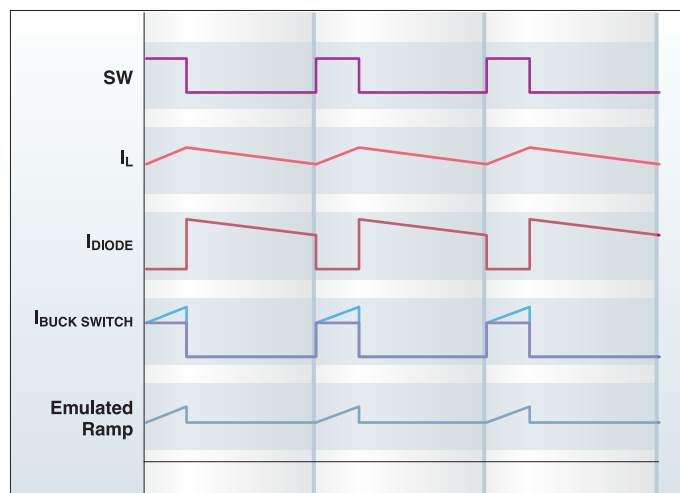
### Controllo della modulazione

I metodi per il controllo della modulazione più usati nei regolatori buck sono i seguenti: VM (Voltage Mode), CM (Current Mode) e COT (Constant On-Time). Il controllo in modalità current mode assicura semplicità di compensazione dell'anello e compensazione feed-forward intrinseca della linea: per tali peculiarità è senza dubbio il più apprezzato tra i progettisti di sistemi di potenza. Il controllo in voltage mode è meno sensibile al rumore ma fornisce prestazioni inferiori rispetto alla tecnica current mode in termini di risposta ai transitori e semplicità di stabilizzazione. Il controllo di tipo COT, infine, permette di eliminare la maggior parte dei problemi legati alla stabilità e assicura un'ottima risposta ai transitori della linea e del carico. Comunque, i regolatori controllati per mezzo di questa tecnica non operano a una frequenza di commutazione costante e non possono essere sincronizzati a un clock esterno.

### Controllo current mode

Nella figura 1 viene riportato lo schema a blocchi di un regolatore buck che utilizza il metodo di controllo current mode. La tensione di uscita viene monitorata e confrontata con un riferimento e il segnale di errore risultante viene

**Fig. 2 - Andamento delle forme d'onda del regolatore buck**



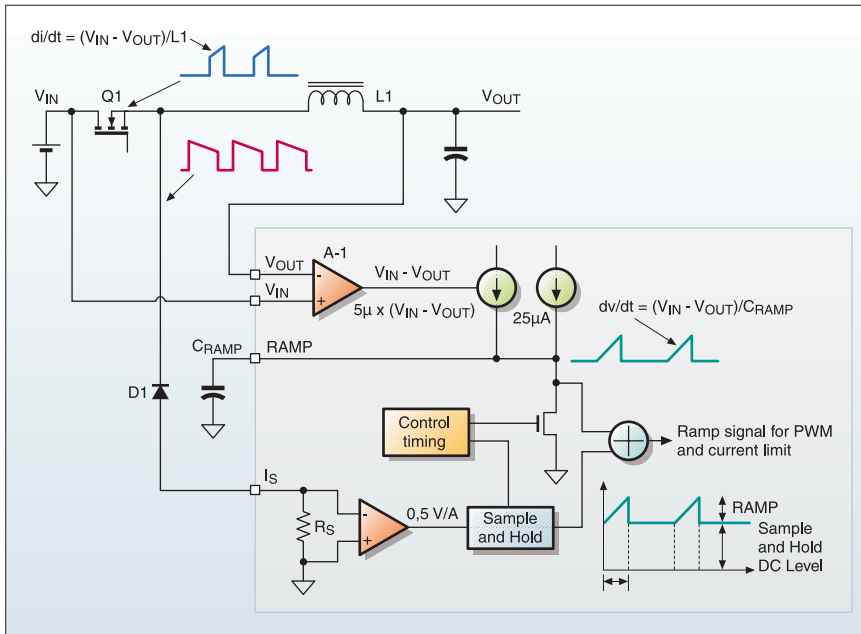
applicato al controllore PWM. L'origine della rampa modulante è l'elemento che differenzia il controllo voltage mode da quello current mode. In quest'ultimo caso, la rampa è un segnale proporzionale alla corrente del commutatore del regolatore buck. La corrente dell'induttore fluisce attraverso il commutatore durante il tempo di on del commutatore stesso. Durante questo periodo di tempo la forma d'onda della corrente dell'induttore ha una pendenza positiva pari a  $(V_{IN} - V_{OUT})/L$ . Per creare la rampa modulante è necessario effettuare una misura veloce e accurata della corrente del commutatore. Il principale svantaggio del controllo in current mode è rappresentato dalle difficoltà che si incontrano nella generazione del segnale di corrente del commutatore.

I ritardi di propagazione e la suscettibilità al rumore rendono quasi impossibile l'impiego del controllo current mode tradizionale in presenza ampie tensioni di ingresso e rapporti di riduzione elevati dove i tempi di on richiesti sono molto ridotti. La misura della corrente del commutatore è un'impresa ardua. Per effettuare tale operazione si utilizzano solitamente due tipi di approcci: la misura della tensione ai capi del resistore di shunt o la resistenza di on del commutatore oppure l'utilizzo di uno specchio di corrente accoppiato al commutatore. Ognuno di questi metodi richiede una traslazione di livello per spostare il segnale misurato al riferimento a massa per la successiva applicazione al comparatore PWM. Anche con l'adozione delle

migliori procedure di progetto, i circuiti per la traslazione del livello e il rilevamento della corrente sono responsabili di un ritardo di propagazione di notevole entità. Un altro problema si verifica allorché il commutatore viene innescato, perché in questo caso il diodo di ricircolo (free-wheel) indicato con D1 in figura 1 si porta nello stato di interdizione (off). A questo punto una corrente di recupero inverso inizierà a scorrere attraverso il diodo e il commutatore, provocando uno spike di corrente sul fronte di salita e l'avvio di un lungo periodo di oscillazione. Questo spike può produrre un innesco prematuro del comparatore PWM, causa questa di errori irregolari. La soluzione più comunemente adottata prevede l'aggiunta di funzioni di filtraggio o di soppressione dello spike sul fronte di salita al segnale del circuito di rilevamento di corrente. I tentativi che vengono fatti per filtrare o azzerare questo spike contribuiscono a ridurre il tempo di on minimo controllabile del commutatore.

### Controllo ECM (Emulated Current Mode)

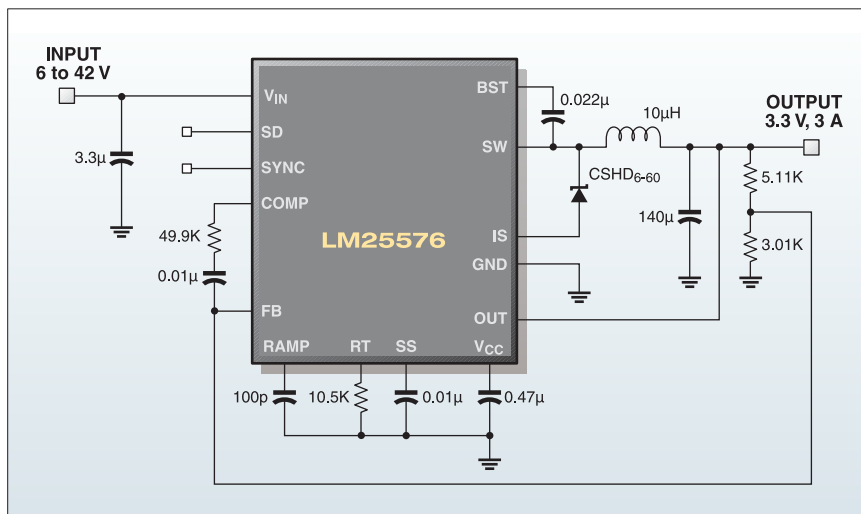
I problemi legati a una misura accurata e veloce della corrente del commutatore possono essere evitati adottando una nuova metodologia che permette di emulare la corrente del commutatore senza dover effettuare una misura effettiva. In un regolatore buck, la corrente dell'induttore è la somma della corrente del commutatore e di quella del diodo di ricircolo, come riportato in figura 2. La



**Fig. 3 – Generatore di rampa utilizzato nel controllo di tipo ECM**

forma d'onda della corrente del commutatore può essere suddivisa in due parti: una base o piedistallo e una rampa. La base rappresenta il minimo valore della corrente dell'induttore (o valle) durante il ciclo di commutazione. La corrente dell'induttore è minima nel momento in cui il diodo di ricircolo è in interdizione, poiché il commutatore viene innescato.

**Fig. 4 – Schema del regolatore buck LM25576 di National Semiconductor**



Il commutatore e il diodo hanno il medesimo valore minimo di corrente, in corrispondenza della “valle” della corrente dell'induttore. Una misura di tipo sample/hold della corrente del diodo free-wheel, campionata nell'istante precedente l'innescio del commutatore può essere usata per acquisire l'informazione relativa alla componente di base della corrente.

L'altra porzione della forma d'onda della corrente del commutatore è rappresentata dalla rampa. La tensione ai capi dell'induttore è la differenza tra le tensioni di ingresso e uscita quando il commutatore è nello stato di on. Questa tensione provoca una corrente che aumenta con una pendenza positiva attraverso l'induttore e il commutatore. La pendenza di

questa corrente è uguale a  $di/dt = (V_{IN} - V_{OUT})/L$ . Un segnale equivalente può essere creato mediante un generatore di corrente controllato in tensione e un condensatore. La pendenza relativa a una tensione in aumento di un condensatore ( $C_{RAMP}$ ) pilotato da un generatore di corrente ( $I_{RAMP}$ ) è pari a  $dv/dt = I_{RAMP}/C_{RAMP}$ . Se il generatore di corrente è regolato in maniera tale da risultare proporzionale alla differenza tra le tensioni di ingresso e uscita, la pendenza della rampa del condensatore sarà pari a:  $dv/dt = K \times (V_{IN} - V_{OUT})/C_{RAMP}$  dove  $K$  è il fattore di scala e  $C_{RAMP}$  è il condensatore di rampa. Il valore di quest'ultimo può essere selezionata in modo che la pendenza della tensione del condensatore sia proporzionale a quella della corrente dell'induttore (Fig. 3).

### Un componente “ad hoc”

Nella figura 4 è riportato lo schema a blocchi di LM25576, uno dei più recenti regolatori buck integrati introdotti da National Semiconductor in grado di implementare lo schema di controllo ECM appena descritto. Nella parte superiore dello schema sono riportati i componenti per la commutazione di potenza del regolatore buck. L'anodo del diodo di ricircolo è collegato a massa attraverso il controller. Per misurare la corrente del diodo vengono impiegati un resistore per il rilevamento della corrente di ridotto valore e un amplificatore. Il circuito di sample/hold si attiva a ogni ciclo, appena prima dell'innescio del commutatore, rendendo quindi disponibile la base del segnale del circuito di rilevamento della corrente emulato.

Il circuito LM25576 rileva le tensioni di ingresso e di uscita per creare un generatore di corrente che carica un condensatore di rampa esterno ( $C_{RAMP}$ ). Durante ogni ciclo quando il commutatore viene innescato, il condensatore di rampa viene scaricato. Per assicurare un comportamento corretto, il condensatore di rampa è proporzionale al valore dell'induttore di uscita. Un ottimo punto di partenza è rappresentato dalla scelta

di  $C_{RAMP} = L \times 10^{-5}$  dove  $L$  è espresso in Henry e  $C_{RAMP}$  in Farad. L'ultimo passo necessario per completare la generazione del segnale di corrente del commutatore emulato è effettuare la somma dell'informazione relativa alla porzione della base (desunta dal circuito di sample/hold) al segnale di tensione del condensatore di rampa. Il risultato finale è rappresentato da un controllore che si comporta in modalità peak current mode senza i ritardi e gli effetti transitori nel segnale del circuito di rilevamento della corrente.

Nelle applicazioni in cui il duty cycle è superiore al 50%, i regolatori controllati in peak current mode sono soggette a un'oscillazione subarmonica. L'aggiunta di un segnale a rampa di tensione a pendenza fissa (compensazione della pendenza) al segnale del circuito di rilevamento della corrente permette di evitare l'insorgere di tale oscillazione. Facendo riferimento al circuito di generazione della rampa, una corrente di offset aggiuntiva di 25  $\mu$ A rende disponibile una pendenza aggiuntiva al segnale a rampa di tensione del condensatore. Nelle applicazioni caratterizzate da un valore molto elevato del duty cycle, il generatore di corrente di 25  $\mu$ A può essere integrato con un resistore di pull-up oppure diminuire il valore del condensatore di rampa per aumentare la pendenza della rampa ed evitare l'insorgere dell'oscillazione subarmonica.

### Protezione dai sovraccarichi

La protezione di sovraccarichi dell'uscita di LM25576 viene eseguito con un comparatore per la limitazione della corrente dedicato che ha il compito di limitare la corrente di picco emulata su base ciclica. La tecnica ECM permette anche di acquisire l'informazione sulla corrente dell'induttore prima dell'innesco del commutatore.

Nel caso la componente di base della corrente superi la soglia del comparatore, il commutatore salta alcuni cicli concedendo un lasso di tempo superiore

Utilizzati da oltre 20 anni dai progettisti di tutto il mondo, i regolatori della serie SIMPLE SWITCHER di National Semiconductor rappresentano la soluzione ideale per tutti coloro – progettisti di sistemi, apparati digitali e dispositivi di alimentazione – che devono affrontare problematiche sempre più complesse. Di recente la società, leader nel campo dei regolatori di tensione con una quota di mercato del 14%, ha ampliato questa linea con l'introduzione di sei nuovi regolatori buck che adottano la tecnologia ECM (Emulated Current Mode) per ottimizzare le prestazioni e ridurre i tempi di progettazione e quindi il time-to-market.

I nuovi regolatori sono LM5574 (0,5 A), LM5575 (1,5 A) e LM5576 (3 A) che operano con una tensione di ingresso compresa tra 6 e 75 V e consentono di utilizzare una frequenza di commutazione da 50 a 500 KHz cui si aggiungono LM25574 (0,5 A), LM25575 (1,5 A) e LM25576 (3 A) che operano con una tensione di ingresso variabile da 6 e 42 V e consentono di regolare la frequenza di commutazione nel range da 50 kHz a 1 MHz.

Oltre all'ampliamento della linea SIMPLE SWITCHER, National Semiconductor ha arricchito le potenzialità di Webench, il proprio tool di progettazione on-line che permette di sviluppare un alimentatore a commutazione completo in quattro semplici fasi: stesura delle specifiche di progetto, scelta del controllore a commutazione più appropriato e dei componenti discreti esterni, simulazione termica ed elettrica e prototipazione finale con la realizzazione di schede di valutazione custom per una rapida verifica. Grazie alla funzione di "dial-in" con Webench il progettista è ora in grado di trovare in tempi brevissimi il miglior compromesso tra efficienza e occupazione di area per il sistema di alimentazione in fase di sviluppo".

per la riduzione della corrente dell'induttore, in modo da evitare derive di corrente.

Il controllo current mode assicura parecchi vantaggi. Nel caso di regolatori buck che richiedono tempi di on particolarmente ridotti la generazione della rampa modulante è alquanto difficoltosa.

Attraverso l'uso di un segnale a rampa emulato è possibile risolvere in maniera brillante un problema alquanto spinoso.

## Si amplia la famiglia SIMPLE SWITCHER



National Semiconductor ha arricchito il proprio ambiente di progettazione Webench con l'aggiunta della funzione "dial-in"