

***Nonostante siano fra i dispositivi elettronici più "antichi",
i convertitori di tensione non cessano di arricchirsi soprattutto
in termini di flessibilità e prestazioni***

Mikael Appelberg
Anders Petersson
Ericsson Power Modules

I convertitori DC/DC sono sempre più strategici per garantire la qualità dei sistemi elettronici

Molte industrie stanno valutando i benefici delle architetture di alimentazione distribuite (DPA, distributed power architecture) sui convertitori DC/DC. Il continuo miglioramento nelle prestazioni dei processori implica la progressiva diminuzione della tensione applicata e il corrispondente aumento della corrente circolante sul silicio: due fattori che hanno direttamente contribuito alla nascita dei sistemi di alimentazione distribuiti. Le industrie che hanno raccolto per prime

l'idea di realizzare le architetture distribuite sono state quelle del comparto delle telecomunicazioni, forse perché sono le prime che hanno avvertito la necessità di localizzare l'alimentazione a livello delle singole schede in modo tale che, utilizzandone numerose, sia possibile avere ogni modulo indipendente dagli altri non solo nelle funzioni e nelle prestazioni, ma anche dal punto di vista dell'alimentazione.

La diretta conseguenza di ciò è l'implementazione di un convertitore DC/DC

su ogni scheda. D'altra parte, all'aumentare della rete di corrente e prestazioni nei sistemi, segue la proporzionale crescita d'importanza delle caratteristiche d'efficienza, affidabilità e stabilità nei convertitori DC/DC.

Fra i fattori che più hanno influito nel migliorare i convertitori DC/DC, c'è sicuramente il perfezionamento dei componenti a bassa tensione, fino a 100 V, specialmente riguardo ai condensatori ceramici e ai transistor Mosfet. Questi componenti sono stati migliorati sia dal punto di vista delle prestazioni, sia nella riduzione dell'ingombro: si può stimare la riduzione nell'area occupata dai soli condensatori ceramici nell'ordine della decina di volte in dieci anni.

I moderni sistemi richiedono tensioni di alimentazione sempre più basse, comprese fra 1,8 V e 3,3 V. I transistor mosfet disponibili oggi hanno una resistenza di conduzione più bassa e minor carica in base, prerogative che comportano la proporzionale attenuazione del pilotaggio sulla base, il che si concretizza nella diminuzione delle dimensioni dei dispositivi, nonostante l'aumento nelle prestazioni rispetto ai convertitori DC/DC del passato. Attualmente la larghezza dei pin nei package che conten-

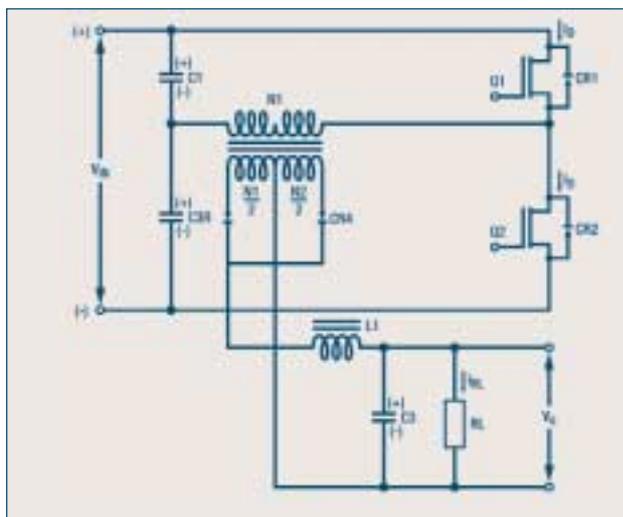


Fig. 1 - Un esempio di convertitore forward sincrono

gono i mosfet è di 0,62 mm e consente un ottimo ed efficiente transito della corrente, senza creare problemi di saldatura nell'assemblaggio delle schede. Oltre a ciò, i moderni mosfet offrono anche ottime e veloci risposte ai transitori.

Inoltre, il ridotto numero dei componenti implica un miglior layout delle schede, al punto che oggi l'implementazione di un convertitore DC/DC a bordo di una scheda non causa più alcuna penalizzazione delle prestazioni in termini di figura MTTF.

Questione di topologie

Ci sono diverse tipologie utilizzate nel disegno dei convertitori DC/DC, ma nessuna è nettamente preferita rispetto alle altre. Il fatto è che ci sono anche numerosi fattori a influenzare la scelta definitiva come tipo di alimentazione, duty cycle, dimensioni, costi, processi di fabbricazione e di assemblaggio, eventuali package a montaggio superficiale, eccetera. È importante, sia per il costruttore sia per l'utente, considerare vantaggi e svantaggi di ciascuna topologia circuitale.

Esaminiamo le quattro topologie attualmente più diffuse nel progetto dei convertitori DC/DC, ovvero note come Forward, Bridge, Flyback e Buck.

Innanzitutto occorre premettere che le prime due sono similari in quanto entrambe usano trasferire direttamente l'energia dall'ingresso all'uscita, mentre la terza lo fa solo dopo un certo opportuno ritardo di tempo. Inoltre, tutte e tre possono essere usate per realizzare convertitori isolati, mentre, senza gli opportuni accorgimenti, la topologia Buck permette di realizzare solo convertitori non isolati. Per massimizzare l'efficienza è comunque sempre necessaria una fase di rettificazione attiva e sincrona e, per questo motivo, tutti i diodi presenti sul lato secondario vengono sempre realizzati con transistor mosfet.

Ci sono anche altre topologie, alcune note da tempo ai progettisti, altre dagli acronimi un po' più "esotici": Buck (step down), Boost (step up), Buck-Boost (step down/up), Sepic, Cuk (step up/down), Push-Pull, Two-Switch

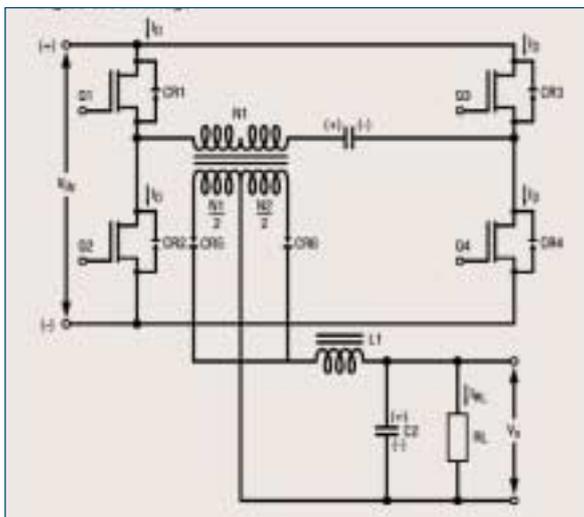


Fig. 2 - La topologia Half Bridge permette un più facile controllo dei Mosfet rispetto alla Full Bridge

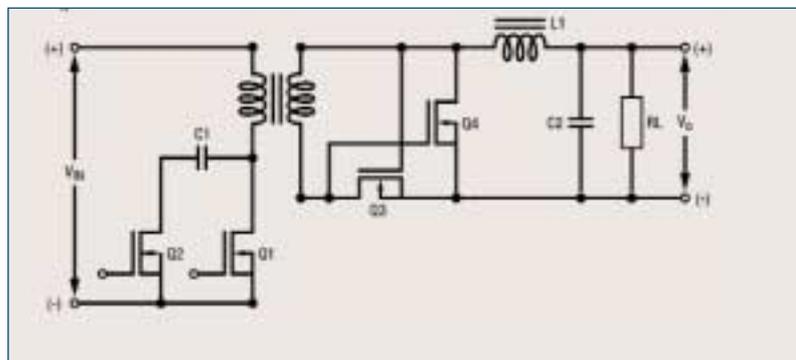


Fig. 3 - Grazie alla minor corrente sul trasformatore, i convertitori Full Bridge supportano livelli di potenza più elevati

Forward, Half Bridge, Full Bridge. Consideriamo, però, solo le più importanti, assumendo che la potenza di uscita sia quella tipicamente prodotta dai convertitori con area superficiale compresa fra 5 e 40 cm².

Forward

Generalmente è usata per i convertitori DC/DC nelle applicazioni di media potenza, cioè fra 10 e 100 W. Innanzitutto, si tratta di una topologia che supporta efficacemente le uscite multiple, offre un relativamente basso numero di componenti e ha un elevato rendimento (meglio della flyback) nelle medie potenze.

L'unica attenzione che va fatta è che richiede un'induttanza d'uscita di valore piuttosto basso, il che complica leggermente la caratterizzazione del trasformatore, ma il vantaggio è che è in grado di sopportare elevate correnti di ripple e offre un buon isolamento.

Nei convertitori forward si usa, in prati-

ca, il solo quadrante positivo del loop d'isteresi, mentre nel caso dei bridge, per esempio, si usano entrambi i quadranti positivo e negativo. Infatti, nei convertitori forward si usa solo la metà dell'intera escursione di flusso tipica delle topologie bridge, nonostante quest'ultima usi un trasformatore già piuttosto piccolo: ciò conferma che in realtà le topologie forward sfruttano davvero poco il trasformatore.

Inoltre, dato che viene usato il solo quadrante positivo, il trasformatore deve poter essere periodicamente resettato per permettere la saturazione del circuito e ciò si può fare riportando l'energia indietro fino all'ingresso allo scopo di migliorare l'efficienza del processo. Il lato secondario della topologia forward è tale che il reset del trasformatore limita anche il duty cycle e implica l'uso di una tensione relativamente alta sul transistor Q1. Questo si vede nel diagramma di figura 1 che mostra un tipico esempio di convertitore forward sincro-

no. La differenza fra questa configurazione e quelle più tradizionali è l'eliminazione di un avvolgimento e di un diodo, sostituiti da un mosfet e da una capacità, mentre i diodi sul lato secondario sono realizzati con transistor mosfet (rettifica sincrona).

Bridge

Questa categoria comprende le topologie half bridge e full bridge; entrambe creano una forma d'onda quasi quadrata sull'avvolgimento di un trasformatore senza usare alcun componente in continua. In questo caso il reset del trasformatore non è necessario, mentre si ottiene un buon isolamento fra ingresso e uscita.

La topologia half bridge è usata per lo più nelle applicazioni con un modesto assorbimento di potenza, tipicamente compreso fra 50 e 300 W. Offre un basso numero di componenti e un più facile controllo dei transistor mosfet rispetto alla full bridge.

Tuttavia, sul lato secondario i circuiti half bridge hanno un numero relativamente maggiore di componenti e un più alto ripple di corrente sulle capacità C1 e C2, con possibilità d'interferenza in

conduzione fra i transistor Q1 e Q2 (Fig. 2). Le topologie full bridge implementano una serie di transistor mosfet in più e di conseguenza hanno un layout più complesso e un numero di componenti maggiore rispetto alle half bridge. Tuttavia, mentre in queste ultime sull'avvolgimento del trasformatore appare solo la metà della tensione d'ingresso, nei circuiti full bridge viene replicata l'intera tensione. Pertanto, a parità di energia in transito sui trasformatori, gli half bridge presentano un livello di corrente doppio rispetto ai full bridge. Il principale svantaggio è la possibilità d'interferenza in conduzione fra tutti e quattro i transistor Q1, Q2, Q3 e Q4, ma il vantaggio che si ottiene è il supporto di una molto più ampia gamma di potenze, tipicamente fra 100 e 600 W (Fig. 3). Tanto gli half bridge, quanto i full bridge offrono delle prestazioni suppletive che sono lo sfruttamento ottimo del trasformatore, il buon isolamento e la possibilità di comandare uscite multiple. Fra i vantaggi comuni a entrambe le configurazioni, ci sono la corrente I_d ridotta a una frazione del rapporto $N2/N1$, il ripple in uscita piuttosto basso e la possibilità d'implementare la com-

mutazione a tensione zero. Per contro, è necessaria una corrente d'ingresso con un ripple relativamente alto.

Flyback

I convertitori Flyback sono caratterizzati dall'aver un elevato isolamento (imposto

dal trasformatore), dalla mancanza dell'induttore sull'uscita secondaria e dal basso numero di componenti.

Questo particolare circuito è tale che la corrente di collettore viene ridotta in proporzione al rapporto fra gli avvolgimenti del trasformatore. Dunque, il trasformatore viene usato poco e solo per immagazzinare l'energia. Inoltre, la corrente d'uscita ha un ripple elevato e il CR1 necessita di un recupero inverso veloce (Fig. 4).

I convertitori Flyback sono generalmente utilizzati nelle applicazioni con bassa potenza, fra 1 e 25 W.

Buck

La topologia Buck è notoriamente utilizzata per lo più nelle applicazioni con svariati punti di carico (Point of Load) di piccole dimensioni.

Un convertitore Buck a singola fase può essere usato fino a circa 20 A, anche se più tipicamente i Buck sono usati in configurazione step down con tensioni inferiori a 15 V.

In realtà, si tratta di una topologia che offre elevata efficienza con un minimo numero di componenti e un disegno relativamente semplice, caratterizzato dall'assenza di trasformatori. L'uscita è idealmente compresa fra il 10% e il 90% dell'alimentazione, mentre i problemi di commutazione sono generalmente bassi e alla portata dei filtri più banali. Inoltre, il ripple in uscita è basso.

Lo svantaggio dei buck è la mancanza d'isolamento (a meno che l'isolamento non sia garantito in altro modo) che comporta il rischio di sovratensioni nel caso che il transistor Q1 vada in corto. Questo pericolo limita, di fatto, l'uso dei

Buck ad una sola uscita. Inoltre, nella maggior parte dei casi è necessaria una sostanziosa corrente di pilotaggio con un ripple relativamente alto, mentre l'uso delle tensioni negative non è consentito. Un tipico circuito Buck è riportato nella figura 5.

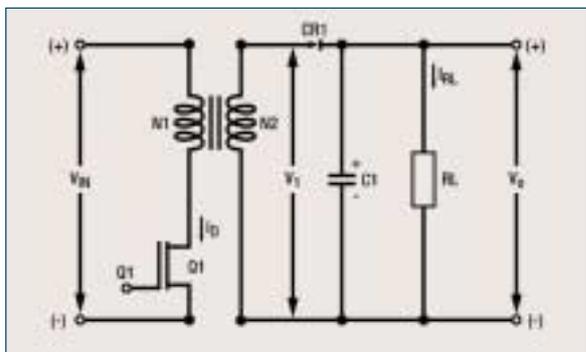


Fig. 4 - I convertitori Flyback sono utilizzati nelle applicazioni a bassa potenza

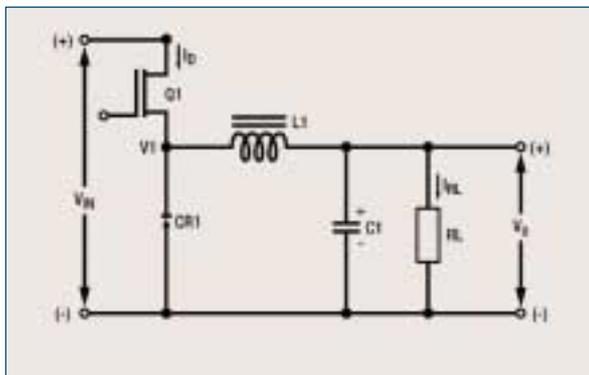


Fig. 5 - Un circuito convertitore in topologia Buck non offre isolamento fra ingresso e uscita

Flessibilità e qualità

Uno dei principali fattori che hanno contribuito a migliorare l'efficienza dei convertitori negli anni recenti è stato il perfezionamento della rettificazione sincrona. L'uso dei mosfet di potenza al posto dei diodi rettificatori secondari ha portato l'efficienza dei convertitori DC/DC da circa l'80% fino al 93%.

Le perdite di commutazione sono state altresì ridotte anche grazie al perfezionamento dei circuiti sincroni.

In più, sono migliorati l'efficienza e il prezzo dei convertitori grazie all'introduzione dei nuovi componenti a montaggio superficiale. Parallelamente, anche la densità di corrente erogata dai convertitori è cresciuta. A titolo di esempio, la figura 6 confronta un convertitore Ericsson PKG del 1997 e un PKB del 2002 e, come si vede, le dimensioni sono ridotte di circa quattro volte, mentre la corrente è aumentata di quattro volte, il che significa un miglioramento nella densità di corrente di 16 volte.

Grazie alla disponibilità dei nuovi componenti, entrambe le commutazioni a tensione zero e corrente zero possono essere implementate per minimizzare le perdite di commutazione sul lato primario. Generalmente si usano quando la tensione d'ingresso è abbastanza alta, dell'ordine dei 200 V, o a frequenza molto elevata, ovvero sui MHz. In questo modo, si riduce il rumore di riflessione sulla linea di andata.

D'altra parte, la domanda sempre più impellente sul mercato è il time-to-market, considerato il fattore decisivo nell'intero comparto dell'elettronica a semiconduttore. Ericsson è impegnata da tempo per cercare di conferire a tutti i circuiti prodotti in casa la massima flessibilità possibile, in modo da renderli

riutilizzabili al variare delle condizioni applicative. Ciò serve a ridurre sia il costo, sia il tempo di sviluppo dei nuovi prodotti, nonché a minimizzare il numero dei componenti utilizzati. Nel portafoglio prodotti Ericsson vi sono numerose soluzioni che possono essere facilmente e rapidamente scalate nell'ambito applicativo compreso fra 30 e 300 W e fra 0,9 e 15 V.

Oltre alle specifiche tecniche, cosa chiede il cliente quando è in procinto di acquistare un convertitore DC/DC allo

sta su metodi di predizione che differiscono da produttore a produttore. Anche quando usano lo stesso metodo di valutazione, l'interpretazione differisce perché le informazioni riportate si basano su dati di partenza differenti e pertanto indicano situazioni totalmente diverse nella realtà. Per questo motivo, Ericsson ha continuato per anni a redigere un'accurata base dati di informazioni sui guasti di tutti i componenti a lunga vita. Per quanto concerne i convertitori DC/DC i valori medi degli indi-

ci di guasto variano da 5 a 100 FIT, ovvero guasti ogni miliardo di ore di funzionamento continuo (FIT = failure / 1 billion hour). Inoltre, il servizio Ericsson garantisce l'accurato monitoraggio di ogni sistema prodotto in modo tale che, nel caso di un guasto non previsto a un convertitore DC/DC, ne viene immediatamente bloccata la

produzione fino a che, scoperta la causa, il guasto imprevisto non viene riportato nella categoria dei guasti previsti.

Produttività e prestazioni

Il processo impiegato nella fabbricazione dei convertitori DC/DC è soggetto a numerosi vincoli tecnici. Generalmente, nella fabbricazione di qualsiasi prodotto, è importante che le tolleranze delle apparecchiature produttive siano migliori di quelle desiderate nei prodotti finali. Sebbene sia un concetto abbastanza noto e accettato, molte industrie faticano a ottimizzare le linee di fabbrica in funzione dei prodotti. A questo proposito, è da sottolineare che Ericsson Power Modules ha conservato numerosi stabilimenti produttivi in Svezia e che, pertanto, molti dei componenti che si trovano nei prodotti Ericsson sono di



Fig. 6 - Confronto fra i due convertitori Ericsson PKG del 1997 e PKB del 2002

stato dell'arte? Oggi i progettisti non si limitano più a chiedere Volt e Ampere, ma esigono molto di più in termini di qualità, prestazioni, prezzo e standardizzazione. Il primo requisito è senza ombra di dubbio la qualità: i progettisti pretendono di sapere se il dispositivo che acquistano è stato fabbricato con determinati standard di qualità che consentano loro di contare su un ben preciso livello di affidabilità.

Uno dei più diffusi indici di qualità è, non a caso, la frequenza dei guasti. Tuttavia, questa informazione non è sempre ben specificata nei fogli tecnici o è difficile da interpretare, perché basa-

fabbricazione svedese. Le linee di produzione di questi impianti sono soggette a normative di qualità molto severe e nettamente più rigide rispetto a quelle vigenti negli altri Paesi e, dunque, sono garanzia di processi di fabbrica precisi e affidabili, in grado di realizzare prodotti con elevati standard di qualità, riconosciuti ovunque.

Inoltre, va ricordato che l'elevata efficienza dei convertitori DC/DC riduce il consumo di energia nei prodotti e, dunque, contribuisce indirettamente al contenimento delle risorse energetiche mondiali. In termini di prezzi, ciò che un'azienda riesce a produrre con maggior qualità, si traduce in miglior valore aggiunto nei prodotti offerti ai propri clienti. Dunque, per un'industria è necessario investire costantemente nella ricerca delle apparecchiature di produzione ad elevata tecnologia, nonché sviluppare tecniche finalizzate a migliorare l'efficienza di tutta la catena di fornitura. Man mano che le dimensioni dei dispositivi diminuiscono, cambiano le condizioni al contorno per la ricerca dell'equilibrio ottimo fra le variabili produttive che determinano il successo di un prodotto quali le prestazioni tecniche, la qualità, il costo e il tempo di produzione.

La maggior parte dei produttori tende a usare sempre più spesso package standard che tipicamente semplificano le problematiche di fabbrica.

D'altra parte, è importante tenere conto che non si tratta solo di standardizzare i parametri fisici come le dimensioni, i volt o gli ampere, giacché la standardizzazione, per essere realmente efficace, deve riguardare anche le prestazioni elettriche e logiche dei singoli moduli funzionali. In caso contrario, ci sarà sempre qualche processo di fabbrica da rielaborare, personalizzare, o riprogettare da zero.

Progettare per la produzione

I moderni convertitori DC/DC sono stati disegnati per essere facilmente fabbricabili. Del resto, qualsiasi dispositivo dovrebbe essere progettato in funzione dei processi di fabbricazione, di volta in volta, disponibili. Tuttavia, questo fattore è spesso trascurato nella progettazione di molti moduli convertitori DC/DC presenti in commercio.

A questo proposito è da notare che in molti processi produttivi c'è oggi la fondamentale esigenza di rispettare la condizione di essere assolutamente e totalmente senza piombo (lead-free). La direttiva RoHS ha reso illegale l'uso del piombo in tutti i prodotti elettronici immessi sul mercato in Europa a partire dal 1° luglio 2006. Occorre tuttavia precisare che molta gente confonde il significato del termine "senza piombo" e che, in realtà, è difficile per un produttore fabbricare qualcosa che sia davvero senza piombo.

Con riferimento ai prodotti elettronici la differenza si palesa soprattutto in termini di prestazioni termiche. Infatti, i dispositivi che comprendono moduli di potenza senza piombo devono essere abili a sopportare i processi di saldatura usati nelle tradizionali linee di assemblaggio e garantire di conservare il corretto funzionamento anche dopo la saldatura.

Dunque, nel progetto di un sistema elettronico senza piombo, il costruttore deve tenere presente le elevate temperature normalmente utilizzate nei processi di fabbricazione e cercare l'equilibrio tra l'efficacia di smaltimento del calore generato dagli integrati verso la scheda stampata e la tolleranza da parte degli integrati nei riguardi del calore prodotto fra i pin di supporto e la scheda durante la saldatura.

Purtroppo, il calore si propaga in tutte le direzioni, senza alcuna preferenza. Il costruttore deve progettare circuiti che sappiano dissipare calore durante il normale funzionamento, in modo da mantenere bassa la temperatura di giunzione e migliorare l'affidabilità globale del sistema. Tuttavia, soprattutto nel caso dei componenti di potenza a montaggio superficiale, è indispensabile che i pin senza piombo siano sufficientemente robusti per sopportare senza danni il calore delle saldature. Un ausilio può essere l'installazione di un dissipatore di calore sopra al componente che, grazie alla bidirezionalità di propagazione del calore, può smaltire sia quello generato nel normale funzionamento del dispositivo, sia quello provocato dalla fase di saldatura. L'opportunità di usare un dissipatore va tuttavia verificata anche in base ad altre specifiche di progetto e, dunque, non è detto sia sempre lecita. ☞

Ericsson Power Modules
readerservice.it n. 14