

I condensatori di ingresso ceramici possono causare transitori di sovratensione

Goran Perica

Una tendenza recente nella progettazione di dispositivi portatili è stata quella di utilizzare condensatori ceramici per filtrare gli ingressi del convertitore CC/CC. I condensatori ceramici vengono spesso scelti per le loro dimensioni ridotte, la bassa resistenza in serie equivalente (ESR) e l'elevata capacità di corrente RMS. Inoltre, recentemente, i progettisti si sono rivolti ai condensatori ceramici a causa della carenza di condensatori al tantalio.

Sfortunatamente, l'utilizzo di condensatori ceramici per il filtraggio degli ingressi può causare problemi. L'applicazione di un gradino di tensione a un condensatore ceramico provoca un notevole aumento di corrente che immagazzina energia nelle induttanze dei cavi di alimentazione. Viene creato un grande picco di tensione quando l'energia immagazzinata viene trasferita da queste induttanze al condensatore ceramico. Questi picchi di tensione possono facilmente essere il doppio dell'ampiezza del gradino della tensione di ingresso.

Collega l'adattatore a muro a tuo rischio e pericolo

Il problema transitorio della tensione di ingresso è correlato alla sequenza di accensione. Se l'adattatore a muro è collegato a una presa CA e acceso per primo, collegando l'uscita dell'adattatore a muro a un dispositivo portatile si possono causare transitori di tensione in ingresso che potrebbero danneggiare i convertitori CC/CC all'interno del dispositivo.

Costruzione del circuito di prova

Per illustrare il problema, un tipico adattatore a muro da 24 V utilizzato nelle applicazioni dei computer notebook è stato collegato all'ingresso di un tipico convertitore CC/CC di un computer notebook. Il convertitore CC/CC utilizzato era un convertitore buck sincrono che genera 3,3 V da un ingresso a 24 V.

Lo schema a blocchi dell'impostazione del test è mostrato nella Figura 1. L'induttore L_{FUORI} rappresenta l'induttanza equivalente concentrata dell'induttanza del cavo e dell'induttore del filtro EMI di uscita presente in alcuni adattatori a parete. Il condensatore di uscita nell'adattatore a muro è solitamente dell'ordine di 1000µF; per i nostri scopi, possiamo supporre che abbia una VES bassa, nell'intervallo da 10 mΩ a 30 mΩ. Il circuito equivalente dell'adattatore da parete e dell'interfaccia del convertitore CC/CC è in realtà un serbatoio risonante in serie, con i componenti dominanti L_{FUORI}, C_{IN} e la VES concentrata (la VES concentrata deve includere la VES di C_{IN}, la resistenza del piombo e la resistenza di L_{FUORI}).

Il condensatore di ingresso, C_{IN}, deve essere un dispositivo a bassa ESR, in grado di sopportare la corrente di ripple in ingresso. In una tipica applicazione di un computer portatile, questo condensatore è nell'ordine di 10µF

L,LT, LTC, LTM, Linear Technology e il logo Linear sono marchi registrati di Linear Technology Corporation. Tutti gli altri marchi commerciali appartengono ai rispettivi proprietari.

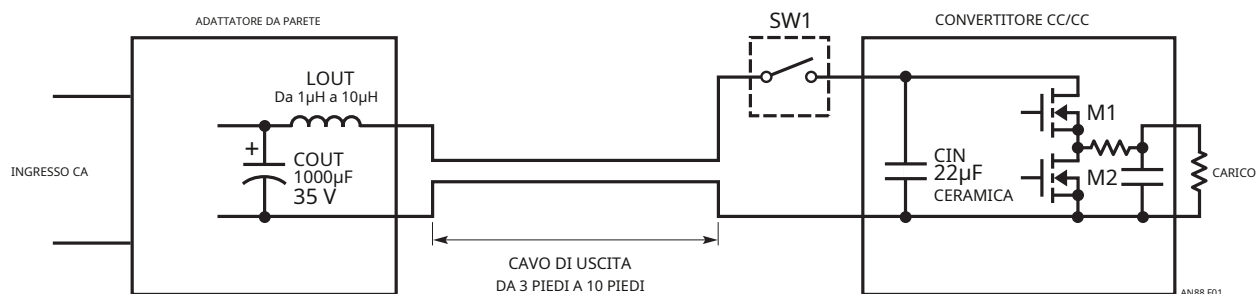


Figura 1. Diagramma a blocchi del collegamento dell'adattatore a muro e del dispositivo portatile

Nota applicativa 88

a 100 μ F. Il valore esatto del condensatore dipende da una serie di fattori, ma il requisito principale è che deve gestire la corrente di ondulazione in ingresso prodotta dal convertitore CC/CC. La corrente di ondulazione in ingresso è solitamente compresa tra 1 A e 2 A. Pertanto, i condensatori richiesti sarebbero un condensatore ceramico da 10 μ F a 22 μ F, due o tre condensatori al tantalio da 22 μ F o uno o due condensatori OS-CON da 22 μ F.

Accensione dell'interruttore

Quando l'interruttore SW1 nella Figura 1 è acceso, inizia il caos. Poiché l'adattatore a muro è già collegato, sul condensatore di uscita a bassa impedenza sono presenti 24 V. D'altra parte, il condensatore di ingresso C_{IN} è a potenziale 0V. Ciò che accade da t = 0s è piuttosto semplice. La tensione di ingresso applicata farà fluire la corrente attraverso L_{FUORI}. C_{IN} inizierà a caricarsi e la tensione su C_{INA} aumenterà verso la tensione di ingresso di 24 V. Una volta che la tensione ai capi di C_{IN} ha raggiunto la tensione di uscita dell'adattatore a muro, l'energia immagazzinata in L_{FUORIA} aumenterà la tensione su C_{IN} ulteriormente al di sopra di 24V. La tensione ai capi di C_{IN} alla fine raggiungerà il suo picco e poi ricadrà a 24V. La tensione ai capi di C_{IN} potrebbe suonare per qualche tempo attorno al valore di 24V. La forma d'onda effettiva dipenderà dagli elementi del circuito.

Se intendi eseguire questa simulazione circuitale, tieni presente che gli elementi del circuito nella vita reale sono molto raramente lineari in condizioni transitorie. Ad esempio, i condensatori potrebbero subire una variazione di capacità (i condensatori ceramici Y5V perderanno l'80% della capacità iniziale con la tensione di ingresso nominale). Inoltre, la ESR dei condensatori di ingresso dipenderà dal tempo di salita della forma d'onda. L'induttanza degli induttori di soppressione EMI può diminuire anche durante i transitori a causa della saturazione del materiale magnetico.

Testare un'applicazione portatile

Transitori di tensione in ingresso con valori tipici di C_{INE} e I_{FUORI} utilizzati nelle applicazioni dei computer notebook sono mostrati nella Figura 2. La Figura 2 mostra i transitori della tensione di ingresso per C_{IN} valori di 10 μ F e 22 μ F con L_{FUORI} valori di 1 μ H e 10 μ H.

La forma d'onda in alto mostra il transitorio nel caso peggiore, con un condensatore da 10 μ F e un induttore da 1 μ H. La tensione ai capi di C_{IN} picchi a 57,2 V con un ingresso a 24 V CC. Il convertitore CC/CC potrebbe non sopravvivere all'esposizione ripetuta a 57,2 V.

La forma d'onda con 10 μ F e 10 μ H (traccia R2) sembra leggermente migliore. Il picco è ancora intorno ai 50V. La parte piatta della forma d'onda R2 che segue il picco indica che il MOSFET sincrono M1, all'interno del convertitore CC/CC nella Figura 1, sta precipitando e subendo il colpo di energia. Le tracce R3 e R4 hanno un picco a circa 41 V e si riferiscono rispettivamente a un condensatore da 22 μ F con induttori da 1 μ H e 10 μ H.

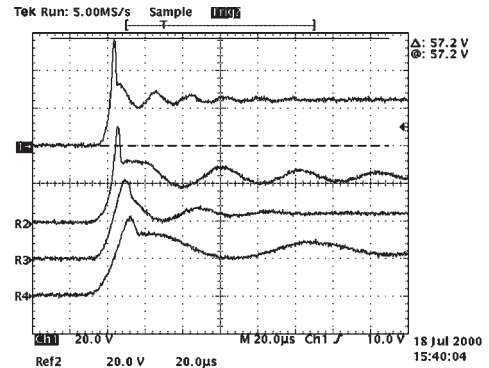


Figura 2. Transitori della tensione di ingresso sui condensatori ceramici

Tabella 1. Tensioni di picco delle forme d'onda nella Figura 2

TRACCIA	I _{IN} (μ H)	C _{IN} (μ F)	V _{IN} PICCO (V)
CH1	1	10	57.2
R2	10	10	50
R3	1	22	41
R4	10	22	41

Transitori di tensione di ingresso con diversi elementi di ingresso

Diversi tipi di condensatori di ingresso daranno come risultato diverse forme d'onda di tensione transitoria, come mostrato nella Figura 3. La forma d'onda di riferimento per il condensatore da 22 μ F e l'induttore da 1 μ H è mostrata nella traccia superiore (R1); il picco è a 40,8 V.

La forma d'onda R2 nella Figura 3 mostra cosa succede quando viene aggiunto un soppressore di tensione transitoria all'ingresso. Il transitorio della tensione di ingresso viene limitato ma non eliminato. È molto difficile impostare la tensione di rottura del transitorio di tensione sufficientemente bassa da proteggere il convertitore CC/CC e sufficientemente lontana dal livello CC operativo della sorgente di ingresso (24 V). Il soppressore di tensione transitoria P6KE30A utilizzato era troppo vicino all'inizio della conduzione a 24 V. Sfortunatamente, l'utilizzo di un soppressore di tensioni transitorie con una tensione nominale più elevata non fornirebbe una tensione di bloccaggio sufficientemente bassa.

Le forme d'onda R3 e R4 sono rispettivamente con un condensatore al tantalio di tipo AVX TPS da 22 μ F, 35V e un condensatore Sanyo OS-CON da 22 μ F, 30V. Con questi due condensatori i transitori sono stati portati a livelli gestibili. Tuttavia, questi condensatori sono pi \ddot{u} grandi dei condensatori ceramici e sono necessari pi \ddot{u} di un condensatore per soddisfare i requisiti di corrente di ondulazione in ingresso.

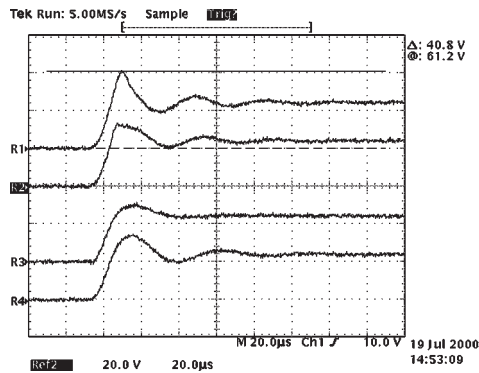


Figura 3. Transitori di ingresso con diversi componenti di ingresso

Tabella 2. Tensioni di picco delle forme d'onda nella Figura 3

TRACCIA	C _{IN} (μ F)	TIPO DI CONDENSATORE	V _{INPICCO} (V)
R1	22	Ceramica	40,8
R2	22	Ceramica con TV 30V	32
R3	22	AVX, TPS Tantalio	33
R4	22	Sanyo OS-CON	35

Ottimizzazione dei condensatori di ingresso

Le forme d'onda nella Figura 3 mostrano come variano i transitori di ingresso in base al tipo di condensatori di ingresso utilizzati.

L'ottimizzazione dei condensatori di ingresso richiede una chiara comprensione di ci \ddot{o} che accade durante i transitori. Proprio come in un normale circuito RLC risonante, il circuito nella Figura 1 pu \ddot{o} avere una risposta transitoria sottosmorzata, criticamente smorzata o sovrasmorzata.

A causa dell'obiettivo di ridurre al minimo le dimensioni del circuito del filtro di ingresso, il circuito risultante \grave{e} solitamente un serbatoio risonante sottosmorzato. Tuttavia, in realt \grave{a} \grave{e} necessario un circuito smorzato in modo critico. Un circuito smorzato in modo critico aumenter \grave{a} piacevolmente la tensione di ingresso senza sovraelongazioni o squilibri.

Per mantenere piccolo il design del filtro di ingresso, \grave{e} preferibile utilizzare condensatori ceramici a causa della loro elevata corrente di ripple e della bassa ESR. Per iniziare la progettazione \grave{e} necessario innanzitutto determinare il valore minimo del condensatore di ingresso. Nell'esempio \grave{e} stato stabilito che un condensatore ceramico da 22 μ F, 35V dovrebbe essere sufficiente. I transitori di ingresso generati con questo condensatore sono mostrati nella traccia superiore della Figura 4. Chiaramente, ci sar \grave{a} un problema se vengono utilizzati componenti classificati per 30 V.

Per ottenere caratteristiche transitorie ottimali, il circuito di ingresso deve essere smorzato. La forma d'onda R2 mostra cosa succede quando viene aggiunto un altro condensatore ceramico da 22 μ F con un resistore da 0,5 Ω in serie. Il transitorio della tensione di ingresso \grave{e} ora ben livellato a 30 V.

Lo smorzamento critico pu \ddot{o} essere ottenuto anche aggiungendo un condensatore di tipo che ha gi \grave{a} una ESR elevata (dell'ordine di 0,5 Ω). La forma d'onda R3 mostra la risposta transitoria quando un condensatore al tantalio di tipo TPS da 22 μ F, 35V di AVX viene aggiunto all'ingresso.

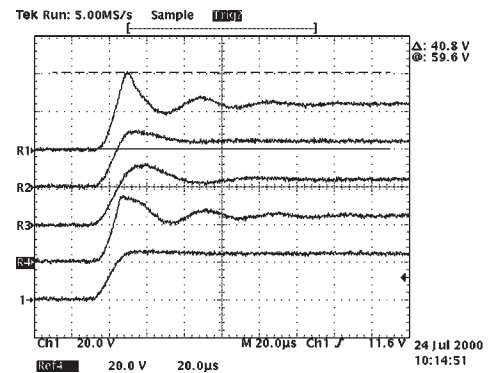


Figura 4. Ottimizzazione delle forme d'onda del circuito di ingresso per una tensione di picco ridotta

Tabella 3. Tensioni di picco delle forme d'onda nella Figura 4 con condensatore ceramico di ingresso da 22 μ F e soppressore aggiunto

TRACCIA	TIPO SNOBBATORE	V _{INPICCO} (V)
R1	Nessuno	40,8
R2	22 μ F ceramico + 0,5 Ω in serie	30
R3	Tantalio AVX da 22 μ F, serie TPS	33
R4	TV 30 V, P6KE30A	35
Cap1	47 μ F, 35V Alluminio Condensatore elettrolitico	25

Nota applicativa 88

La forma d'onda R4 mostra il transitorio della tensione di ingresso con un soppressore di tensione transitoria da 30 V per confronto.

Infine, si ottiene una forma d'onda ideale mostrata nella Figura 4, traccia del fondo (Ch1). Si scopre anche che questa è la soluzione meno costosa. Il circuito utilizza un condensatore elettrolitico in alluminio da 47 μ F, 35V di Sanyo (35CV47AXA). Questo condensatore ha il giusto valore di capacità e ESR per fornire uno smorzamento critico del condensatore ceramico da 22 μ F insieme a 1 μ H di induttanza di ingresso. Il 35CV47AXA ha un valore ESR di 0,44 Ω e una corrente nominale RMS di 230 mA. Chiaramente, questo condensatore non può essere utilizzato da solo in un'applicazione con un ripple RMS compreso tra 1 A e 2 A

corrente senza il condensatore ceramico da 22 μ F. Un ulteriore vantaggio è che questo condensatore è molto piccolo, misura solo 6,3 x 6 mm.

Conclusione

I transitori della tensione di ingresso sono un problema di progettazione che non deve essere ignorato. Le soluzioni progettuali per prevenire i transitori della tensione di ingresso possono essere molto semplici ed efficaci. Se la soluzione viene applicata correttamente, è possibile ridurre al minimo i condensatori di ingresso e ridurre al minimo sia i costi che le dimensioni senza sacrificare le prestazioni.