

Linee guida per la selezione dei condensatori per Analog Devices, Inc., LDO

di Glenn Morita

PERCHÉ È IMPORTANTE LA SCELTA DEL CONDENSATORE?

I condensatori sono sottovalutati. Non hanno un numero di miliardi di transistor né utilizzano la più recente tecnologia di fabbricazione submicronica. Nella mente di molti ingegneri, un condensatore è semplicemente costituito da due conduttori separati da un dielettrico. In breve, sono uno dei componenti elettronici più umili.

È normale che gli ingegneri aggiungano alcuni condensatori per risolvere i problemi di rumore. Questo perché i condensatori sono ampiamente considerati dagli ingegneri come una panacea per risolvere i problemi legati al rumore. Oltre alla capacità e alla tensione nominale, viene prestata poca attenzione a qualsiasi altro parametro. Tuttavia, come tutti i componenti elettronici, i condensatori non sono perfetti e possiedono resistenza parassita, induttanza, variazione di capacità in base alla temperatura e alla polarizzazione della tensione e altre proprietà non ideali.

Questi fattori devono essere considerati quando si seleziona un condensatore per molte applicazioni di bypass o dove il valore effettivo del condensatore è importante. La scelta del condensatore sbagliato può portare all'instabilità del circuito, a rumore eccessivo o dissipazione di potenza, a una durata ridotta del prodotto o a un comportamento imprevedibile del circuito.

TECNOLOGIE DEI CONDENSATORI

I condensatori sono disponibili in un'ampia varietà di fattori di forma, valori di tensione e altre proprietà per soddisfare i requisiti di diverse applicazioni. I materiali dielettrici comunemente utilizzati includono olio, carta, vetro, aria, mica, varie pellicole polimeriche e ossidi metallici. Ogni dielettrico ha un insieme specifico di proprietà che gli consente di soddisfare le esigenze uniche di ciascuna applicazione.

Esistono tre classi principali di condensatori comunemente utilizzati come condensatori di bypass di ingresso e uscita del regolatore di tensione: ceramica multistrato, elettrolitico al tantalio solido ed elettrolitico in alluminio.

Condensatore ceramico multistrato

I condensatori ceramici multistrato (MLCC) combinano dimensioni ridotte, bassa resistenza in serie effettiva e induttanza (ESR ed ESL) e un ampio intervallo di temperature operative e sono solitamente la prima scelta per l'uso come condensatori di bypass.

I condensatori ceramici non sono esenti da difetti. A seconda del materiale dielettrico utilizzato, la capacità può variare notevolmente con i cambiamenti di temperatura e la polarizzazione CC o CA. Inoltre, a causa della natura piezoelettrica del materiale dielettrico in molti condensatori ceramici, le vibrazioni o gli shock meccanici possono essere trasformati in una tensione di rumore CA sul condensatore. Nella maggior parte dei casi, questo rumore tende ad essere nell'ordine dei microvolt. Tuttavia, in casi estremi, può essere generato un rumore nell'ordine dei millivolt.

Applicazioni come VCO, PLLS, RF PA e catene di segnali analogici a basso livello sono molto sensibili al rumore sul rail di alimentazione. Il rumore si manifesta come rumore di fase nel caso di VCO e PLL e modulazione di ampiezza della portante per i PA RF. Nelle applicazioni della catena del segnale di basso livello come EEG, ultrasuoni e preamplificatori per scansioni CAT, il rumore provoca artefatti visualizzati nell'uscita di questi strumenti. In queste e altre applicazioni sensibili al rumore, l'uso di condensatori ceramici multistrato deve essere attentamente valutato.

Prendere in considerazione gli effetti della temperatura e della tensione è estremamente importante quando si seleziona un condensatore ceramico. La sezione Selezione del condensatore ceramico multistrato spiega il processo di determinazione della capacità minima di un condensatore in base alla sua tolleranza e alle caratteristiche di polarizzazione CC.

Anche se i condensatori ceramici non sono perfetti, vengono utilizzati praticamente in tutti i dispositivi elettronici prodotti oggi perché danno vita a soluzioni che hanno il minimo ingombro e sono le più convenienti per molte applicazioni.

Condensatore elettrolitico al tantalio solido

Il condensatore elettrolitico al tantalio solido offre la capacità più elevata per unità di volume (prodotto CV). Solo il doppio strato o i supercondensatori hanno prodotti CV più elevati.

Nell'intervallo 1 μF , i materiali ceramici sono ancora più piccoli e hanno una ESR inferiore rispetto ai tantalio, ma i condensatori solidi al tantalio non soffrono tanto degli effetti della temperatura, della polarizzazione o delle vibrazioni. Il tantalio costa molte volte di più di un condensatore ceramico, ma nelle applicazioni a basso rumore in cui l'effetto piezoelettrico non può essere tollerato, il tantalio è spesso l'unica scelta praticabile.

I condensatori al tantalio solido convenzionali di basso valore disponibili sul mercato non hanno una bassa ESR perché i contenitori utilizzati tendono ad essere piccoli. I condensatori al tantalio di grande valore (>68 μF) possono avere ESR inferiori a 1 Ω , ma tendono ad essere grandi.

Recentemente è diventata disponibile una nuova variante del condensatore al tantalio che utilizza un elettrolita polimerico conduttivo invece del normale elettrolita solido di biossido di manganese. Storicamente, i condensatori al tantalio solido hanno sofferto di una capacità limitata di picchi di corrente e richiedevano un resistore in serie per limitare i picchi di corrente a un valore sicuro. I condensatori al tantalio polimerici conduttivi non soffrono della limitazione della corrente di picco.

La riduzione dell'ESR del condensatore è un ulteriore vantaggio.

La corrente di dispersione di qualsiasi condensatore al tantalio è molte volte maggiore di quella di un condensatore ceramico di pari valore e potrebbe renderli inadatti per applicazioni a corrente estremamente bassa.

Ad esempio, un condensatore al tantalio da 1 $\mu\text{F}/25\text{ V}$ ha una corrente di dispersione massima di 2,5 μA alla tensione nominale mentre funziona a 85°C.

Diversi fornitori offrono condensatori al tantalio polimerico conduttivo da 1 $\mu\text{F}/25\text{ V}$ con ESR da 500 m Ω in un contenitore 0805. Anche se leggermente più grande del tipico condensatore ceramico da 1 μF in un case 0402 o 0603, lo 0805 rappresenta una discreta riduzione delle dimensioni del condensatore per applicazioni come RF e PLL dove il basso rumore è l'obiettivo principale della progettazione.

Poiché il condensatore al tantalio solido ha una caratteristica di capacità stabile con polarizzazione di temperatura e tensione, i criteri di selezione del condensatore devono tenere conto solo della tolleranza del condensatore, della tensione ridotta alla temperatura operativa e della ESR massima.

Uno svantaggio della tecnologia dell'elettrolita polimerico solido è che questo tipo di condensatore al tantalio è più sensibile alle alte temperature incontrate nel processo di saldatura senza piombo. In genere, i produttori specificano che i condensatori non devono essere esposti a più di tre cicli di saldatura. Possono verificarsi problemi di affidabilità a lungo termine se la conformità a questo requisito viene ignorata nel processo di assemblaggio.

Condensatore elettrolitico in alluminio

I condensatori elettrolitici in alluminio convenzionali tendono ad essere di grandi dimensioni e hanno ESR ed ESL elevati, corrente di dispersione relativamente elevata e durata di servizio misurata in migliaia di ore.

I condensatori di tipo OS-CON sono una tecnologia correlata ai condensatori al tantalio polimerici solidi e in realtà precedono i condensatori al tantalio di 10 anni o più. Questi condensatori utilizzano un elettrolita semiconduttore organico e un catodo in foglio di alluminio per ottenere una bassa ESR. Poiché non è presente alcun elettrolita liquido da essiccare, la durata di servizio del condensatore di tipo OS-CON è notevolmente migliorata rispetto al condensatore elettrolitico in alluminio convenzionale.

Stanno diventando disponibili condensatori di tipo OS-CON in grado di funzionare a 125°C, ma la maggior parte è ancora limitata a 105°C.

Sebbene le prestazioni dei condensatori di tipo OS-CON siano notevolmente migliorate rispetto ai tradizionali condensatori elettrolitici in alluminio, tendono ad essere più grandi e ad avere una ESR più elevata rispetto ai condensatori al tantalio ceramici o polimerici solidi. Come il tantalio solido polimerico, non soffrono dell'effetto piezoelettrico e sono adatti per l'uso in applicazioni in cui è richiesto un basso rumore.

SELEZIONE DI CONDENSATORI CERAMICI MULTISTRATO

Condensatore di uscita

Gli LDO di Analog Devices sono progettati per il funzionamento con condensatori ceramici piccoli e poco ingombranti, ma funzionano con i condensatori più comunemente utilizzati purché venga prestata attenzione al valore ESR. L'ESR del condensatore di uscita influisce sulla stabilità del circuito di controllo LDO. Si consiglia una capacità minima di 1 μF con una ESR di 1 Ω o inferiore per garantire la stabilità dell'LDO.

La risposta transitoria alle variazioni della corrente di carico è influenzata anche dalla capacità di uscita. L'utilizzo di un valore maggiore della capacità di uscita migliora la risposta transitoria dell'LDO a grandi variazioni della corrente di carico. La Figura da 1 a Figura 3 mostra la risposta transitoria per un ADP151 con valori di capacità di uscita rispettivamente di 1 μF , 10 μF e 20 μF .

Poiché il circuito di controllo LDO ha una larghezza di banda finita, il condensatore di uscita deve fornire la maggior parte della corrente di carico per transitori molto veloci. Un condensatore da 1 μF non può fornire corrente per molto tempo e comporta un transitorio di carico di circa 80 mV. Un condensatore da 10 μF migliora il transitorio di carico a circa 70 mV. L'aumento della capacità di uscita a 20 μF consente al circuito di controllo LDO di recuperare e ridurre attivamente il transitorio di carico. Le condizioni del test sono mostrate nella Tabella 1.

Tabella 1. Condizioni di prova

Condizione	Valore
UUT	ADP151-3.3
V_{FUORI}	3,3 V
V_{IN}	5 V
Carica transitorio	Da 1 mA a 200 mA, 500 mA/ μs
Canale 1	Corrente di carico
Canale 2	V_{FUORI} (accoppiato in ca)

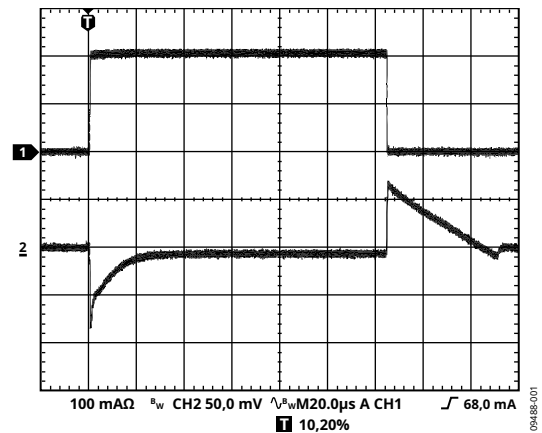


Figura 1. Risposta transitoria del carico in uscita, $C_{\text{FUORI}} = 1\ \mu\text{F}$

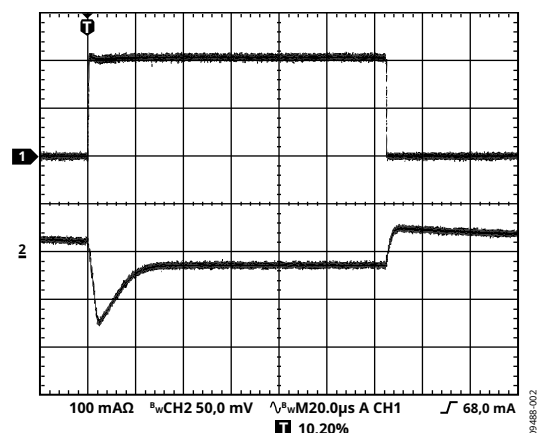


Figura 2. Risposta al carico transitorio di uscita, $C_{\text{FUORI}} = 10\ \mu\text{F}$

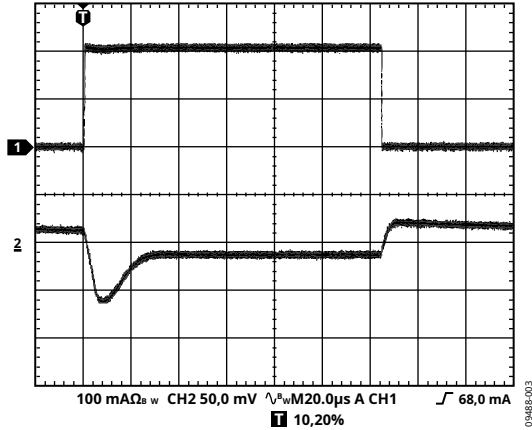


Figura 3. Risposta transitoria del carico in uscita, $C_{FOUT} = 20 \mu F$

Condensatore di bypass in ingresso

Il collegamento di un condensatore da $1 \mu F$ da VIN a GND riduce la sensibilità del circuito al layout del circuito stampato (PCB), soprattutto quando si incontrano lunghe tracce di ingresso o un'elevata impedenza della sorgente. Se è necessaria una capacità di uscita superiore a $1 \mu F$, il condensatore di ingresso deve essere aumentato per adattarlo.

Proprietà dei condensatori di ingresso e uscita

Con l'LDO è possibile utilizzare qualsiasi condensatore ceramico di buona qualità, purché soddisfatti i requisiti di capacità minima e ESR massimo. I condensatori ceramici sono prodotti con una varietà di dielettrici, ciascuno con comportamento diverso alla temperatura e alla tensione applicata. I condensatori devono avere un dielettrico adeguato per garantire che venga fornita la capacità minima nell'intervallo di temperature di lavoro e nelle condizioni di polarizzazione CC. Per le applicazioni a 5 V si consigliano dielettrici X5R o X7R con una tensione nominale di 6,3 V o 10 V. I dielettrici Y5V e Z5U non sono consigliati, a causa delle loro scarse caratteristiche di temperatura e polarizzazione CC.

La Figura 4 illustra la caratteristica di polarizzazione di capacità e tensione di un condensatore X5R 0402, $1 \mu F$, 10 V. La stabilità della tensione di un condensatore è fortemente influenzata dalle dimensioni del contenitore del condensatore e dalla tensione nominale. In generale, un condensatore in un contenitore più grande o con una tensione nominale più elevata mostra una migliore stabilità della tensione. La variazione di temperatura del dielettrico dell'X5R è $\sim \pm 15\%$ nell'intervallo di temperature da $-40^\circ C$ a $+85^\circ C$ e non è una funzione del contenitore o della tensione nominale.

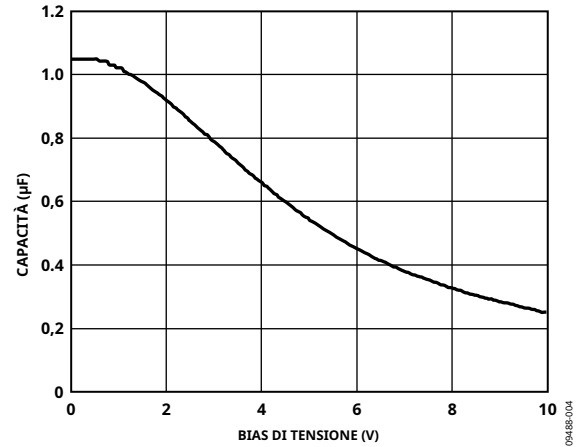


Figura 4. Caratteristica di polarizzazione di capacità e tensione

Utilizzare l'equazione 1 per determinare la capacità nel caso peggiore quando si tiene conto della variazione del condensatore rispetto alla temperatura, alla tolleranza del componente e alla tensione.

$$C_{EFF} = C_{PREGIUDIZIO} \times (1 - TVAR) \times (1 - TOL) \tag{1}$$

Dove:

$C_{PREGIUDIZIO}$ è la capacità effettiva alla tensione operativa. $TVAR$ è la variazione di capacità nel caso peggiore rispetto alla temperatura (come frazione di 1).

TOL è la tolleranza del componente nel caso peggiore (come frazione di 1).

In questo esempio, si presuppone che la capacità nel caso peggiore ($TVAR$) tra $-40^\circ C$ e $+85^\circ C$ sia 0,15 (15%) per un dielettrico X5R. Si presuppone che la tolleranza del condensatore (TOL) sia 0,10 (10%) e $C_{PREGIUDIZIO}$ è $0,94 \mu F$ a 1,8 V, come mostrato nella Figura 4.

Sostituendo questi valori nell'equazione 1 si ottiene

$$C_{EFF} = 0,94 \mu F \times (1 - 0,15) \times (1 - 0,1) = 0,719 \mu F$$

L'LDO in questo esempio specifica una capacità di bypass di uscita minima di $0,70 \mu F$ sulla tensione operativa e sull'intervallo di temperatura previsti. Pertanto, il condensatore scelto per questa applicazione soddisfa questo requisito.

RIEPILOGO

Per garantire le prestazioni di un LDO, è fondamentale comprendere e valutare gli effetti della polarizzazione CC, della variazione di temperatura e della tolleranza del condensatore di bypass per il condensatore selezionato.

Inoltre, nelle applicazioni in cui sono richiesti basso rumore, bassa deriva o elevata integrità del segnale, è necessario considerare anche la tecnologia dei condensatori utilizzata. Tutti i condensatori soffrono degli effetti di un comportamento non ideale, ma alcune tecnologie di condensatori sono più adatte per determinate applicazioni rispetto ad altre.

APPUNTI