

セラミック入力コンデンサによって生じる過電圧トランジェント

Goran Perica

携帯機器の設計の最近の傾向として、DC/DCコンバータの入力フィルタにセラミック・コンデンサが使われてきています。セラミック・コンデンサはサイズが小さく、等価直列抵抗(ESR)が低く、RMS電流能力が高いのでよく選択されます。また、最近では、設計者はタンタル・コンデンサが不足しているため、セラミック・コンデンサに眼を向けています。

残念なことに、入力フィルタにセラミック・コンデンサを使用すると問題が起きることがあります。セラミック・コンデンサに電圧ステップを印加すると、大きな電流サージが生じ、電力ラインのインダクタンスにエネルギーが蓄積されます。蓄積されたエネルギーがこれらのインダクタンスからセラミック・コンデンサに移される時大きな電圧スパイクが生じます。これらの電圧スパイクは簡単に入力電圧ステップの振幅の2倍に達することがあります。

自分の責任でACアダプタを差し込む


入力電圧トランジェントの問題は起動シーケンスと関係しています。ACアダプタがまずACコンセントに差し込まれて給電状態になってから、ACアダプタの出力を携帯機器に差し込むと、入力電圧トランジェントが生じることがあり、機器内部のDC/DCコンバータを損傷することがあります。

テスト回路の作成

問題を具体的に説明するため、ノートブック・コンピュータのアプリケーションに使われる標準的な24VのACアダプタをノートブック・コンピュータの標準的なDC/DCコンバータの入力に接続しました。使用されたDC/DCコンバータは24V入力から3.3Vを発生する同期整流式降圧コンバータです。

テストの回路構成のブロック図を図1に示します。インダクタ L_{OUT} はリード線のインダクタンスとACアダプタにときどき見られる出力EMIフィルタのインダクタのランプト等価インダクタンスを表します。ACアダプタの出力コンデンサは通常1000 μ Fのレベルです。ここでの目的には、このコンデンサのESRは低い(10m Ω ~30m Ω の範囲)と仮定することができます。ACアダプタとDC/DCコンバータのインタフェースの等価回路は実際には直列共振タンクで、支配的素子は L_{OUT} 、 C_{IN} およびランプトESRです(ランプトESRには C_{IN} のESR、リード線の抵抗および L_{OUT} の抵抗を含める必要があります)。

入力コンデンサ(C_{IN})は、入力リップル電流を担う能力のある低ESRのデバイスでなければなりません。標準的なノートブック・コンピュータのアプリケーションでは、このコンデンサは10 μ F~100 μ Fの範囲です。

、LTC、LTはリニアテクノロジー社の登録商標です。

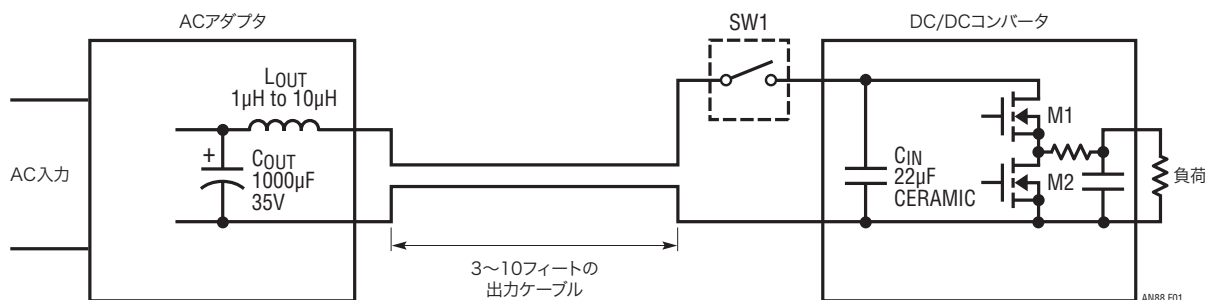


図1. ACアダプタと携帯機器の接続のブロック図

Application Note 88

正確なコンデンサの値は多くの要因に依存しますが、主な要件はDC/DCコンバータによって生じる入力リップル電流を扱う必要があるということです。入力リップル電流は通常1A~2Aの範囲です。したがって、要求されているコンデンサは1個の10 μ F~22 μ Fのセラミック・コンデンサ、2個か3個の22 μ Fのタンタル・コンデンサまたは1個か2個の22 μ FのOS-CONコンデンサのいずれかでしよう。

スイッチのターンオン

図1のSW1をオンすると、大混乱が始まります。ACアダプタは既に差し込まれていますから、その低インピーダンスの出力コンデンサの両端には24Vが現れています。他方、入力コンデンサC_{IN}の電位は0Vです。t = 0sから起きることは全く基本的なことです。印加された入力電圧により、電流がL_{OUT}を通して流れます。C_{IN}が充電され始め、C_{IN}両端の電圧が24Vの入力電圧に向かってランプアップします。C_{IN}両端の電圧がACアダプタの出力電圧に達すると、L_{OUT}に蓄えられたエネルギーがC_{IN}両端の電圧を24Vを超えてさらに上昇させます。C_{IN}両端の電圧はついにそのピークに達し、その後、再び24Vに下降します。C_{IN}両端の電圧はしばらくの間24Vの値を中心にリングを生じることもあります。実際の波形は回路素子に依存します。

この回路のシミュレーションを行う場合、現実の回路素子がトランジェント状態でリニアに動作することは非常に稀であることを心に留めておいてください。たとえば、コンデンサは容量が変化することがあります(Y5Vセラミック・コンデンサは定格電圧の初期容量の80%を失います)。また、入力コンデンサのESRは波形の立上り時間に依存します。EMI抑止インダクタのインダクタンスも、トランジェント発生時に、磁性体の飽和のため低下することがあります。

携帯用アプリケーションのテスト

ノートブック・コンピュータのアプリケーションに使われるC_{IN}とL_{OUT}の標準値の入力電圧トランジェントを図2に示します。同図には、C_{IN}の値が10 μ Fと22 μ F、L_{OUT}の値が1 μ Hと10 μ Hの場合の入力電圧トランジェントが示されています。

1番上の波形は10 μ Fのコンデンサと1 μ Hのインダクタを使ったワーストケースのトランジェントを示しています。C_{IN}両端の電圧は24VのDC入力で57.2Vのピークに達します。57.2Vに繰り返し曝されると、DC/DCコンバータは生き残れない可能性があります。

10 μ Fと10 μ Hの波形(トレースR2)はいくらかましに見えます。それでも、ピークは約50Vです。波形R2のピークに続く平坦な部分は、図1のDC/DCコンバータ内部の同期MOSFET(M1)がなだれ降伏を起こしてエネルギーの襲来を受けていることを示しています。トレースR3とトレースR4は約41Vのピークを示しており、22 μ Fのコンデンサと、それぞれ1 μ Hおよび10 μ Hのインダクタが使われています。

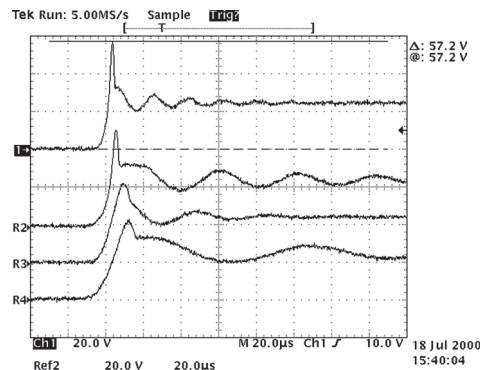


図2. セラミック・コンデンサ両端の入力電圧トランジェント

表1. 図2の波形のピーク電圧

TRACE	L _{IN} (μ H)	C _{IN} (μ F)	V _{IN} PEAK (V)
CH1	1	10	57.2
R2	10	10	50
R3	1	22	41
R4	10	22	41

異なった入力素子を使った場合の入力電圧トランジェント

別の種類の入力コンデンサでは、図3に示されているように、異なったトランジェント電圧波形になります。22 μ Fのコンデンサと1 μ Hのインダクタの場合の基準波形が1番上のトレース(R1)に示されています。そのピークは40.8Vです。

図3の波形R2は、入力両端にトランジェント電圧サプレッサを追加すると何が起きるかを示しています。入力電圧トランジェントはクランプされていますが、除去されてはいません。電圧トランジェントのブレークダウン電圧を、DC/DCコンバータを保護するのに十分なだけ低く設定し、また入力ソースの動作DCレベル(24V)から十分離して設定するのは非常に困難です。使用されたP6KE30Aトランジェント電圧サプレッサは、24Vで導通するには開始点に近すぎました。

残念ながら、電圧定格がもっと高いトランジエント電圧サプレッサを使用すると、クランプ電圧が十分低くならないでしょう。

波形R3と波形R4は、それぞれ22 μ F、35VのAVXのTPSタイプのタンタル・コンデンサと、22 μ F、30Vの三洋電機のOS-CONコンデンサが使われています。これら2つのコンデンサを使うと、トランジエントは扱いやすいレベルになりました。ただし、これらのコンデンサはセラミック・コンデンサよりサイズが大きく、入力リップル電流の要件を満たすには複数のコンデンサが必要です。

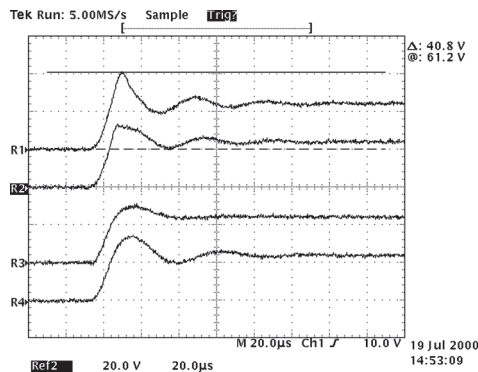


図3. 異なった入力部品を使った場合の入力トランジエント

表2. 図3の波形のピーク電圧

TRACE	C _{IN} (μ F)	CAPACITOR TYPE	V _{IN} PEAK (V)
R1	22	Ceramic	40.8
R2	22	Ceramic with 30V TVS	32
R3	22	AVX, TPS Tantalum	33
R4	22	Sanyo OS-CON	35

入力コンデンサの最適化

図3の波形は、使用される入力コンデンサの種類により、入力トランジエントがどのように変化するかを示しています。

入力コンデンサを最適化するには、トランジエントの間には何が起きるかを明確に理解する必要があります。図1の回路は、普通の共振RLC回路と全く同じように、低減衰、臨界減衰または過減衰の過渡応答を示す可能性があります。

入力フィルタ回路のサイズを最小に抑える目的のために、結果として得られる回路は通常は低減衰の共振タンクです。ただし、臨界減衰回路が実際には必要とされま

す。臨界減衰回路は電圧のオーバーシュートやリングングなしに入力電圧まできれいに上昇します。

入力フィルタのデザインを小さく保つには、セラミック・コンデンサはリップル電圧定格が高く、ESRが低いので、セラミック・コンデンサを使うのが望ましいといえます。設計を始めるには、入力コンデンサの最小値を最初に決める必要があります。この例では、22 μ F、35Vのセラミック・コンデンサで十分だと判断されました。このコンデンサで発生する入力トランジエントを図4の一番上のトレースに示します。明らかに、定格が30Vの部品を使用すると問題が生じます。

最適過渡特性を得るには、入力回路を減衰する必要があります。波形R2は、0.5 Ω 抵抗を直列に接続したもう1つの22 μ Fセラミック・コンデンサを追加すると何が起きるかを示しています。入力電圧トランジエントは30Vできれいに水平になります。

臨界減衰は、本来ESRの高い(0.5 Ω ほどの)種類のコンデンサを追加することによって達成することもできます。波形R3は、AVXの22 μ F、35VのTPSタイプのタンタル・コンデンサを入力両端に追加したときの過渡応答を示しています。

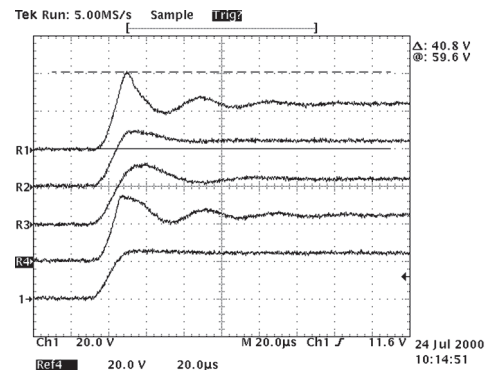


図4. ピーク電圧を下げるため最適化された入力回路の波形

表3. 22 μ F入力セラミック・コンデンサと追加スナバを使った図4の波形のピーク電圧

TRACE	スナバの種類	V _{IN} PEAK (V)
R1	なし	40.8
R2	直列接続した 22 μ F セラミック + 0.5	30
R3	22 μ F タンタル AVX, TPS シリーズ	33
R4	30V TVS, P6KE30A	35
Ch1	47 μ F, 35V のアルミ 電解コンデンサ	25

Application Note 88

波形R4は、比較のため、30Vトランジェント電圧サプレッサを使った場合の入力電圧トランジェントを示していません。

最後に、図4に示されている理想的波形である1番下のトレース(Ch1)が実現されました。また、結局これが最も安価なソリューションであることが分かりました。この回路には、三洋電機の47 μ F、35Vのアルミ電解コンデンサ(35CV47AXA)が使われています。このコンデンサの容量とESRは、1 μ Hの入力インダクタンスとともに、22 μ Fセラミック・コンデンサに臨界減衰を与えるのにちょうどぴったりの値です。35CV47AXAのESRの値は0.44 Ω 、RMS電流定格は280mAです。明らかに、このコンデンサを、

22 μ Fセラミック・コンデンサなしに、単独で1A~2Aのアプリケーションに使用することはできません。別の利点として、このコンデンサは非常に小さく、わずか6.3mm \times 6mmです。

まとめ

入力電圧トランジェントは無視できない設計上の問題です。入力電圧トランジェントを防ぐデザイン・ソリューションは非常にシンプルで効果的になりえます。ソリューションを正しく適用すれば、入力コンデンサを小さくして、性能を犠牲にすることなく、コストとサイズの両方を最小に抑えることができます。