

## 新型高周波スイッチング・レギュレータ用のコンデンサ とEMI対策 - デザインノート 95

Carl Nelson, Bob Essaff

リニアテクノロジーは、新しい高周波スイッチング・レギュレータ製品ラインとして、LT<sup>®</sup>1372昇圧およびフライバック・コンバータ・ファミリと、LT1376降圧コンバータを提供しています。これら新型コンバータは従来のデバイスよりも最高10倍も高速(250kHz~1MHz)であり、従来のデザインよりも効率が高くなっています。このデザインノートでは、高周波スイッチャを設計する上でいくつかの考慮事項について説明します。

### コンデンサ技術の考慮事項

低い周波数では、磁気部品によってDC/DCコンバータのサイズが支配されますが、200kHz以上の周波数では、最も大きな部品は一般に入力および出力バイパス・コンデンサです。そのため、サイズの制約が厳しいアプリケーションでは、適切なコンデンサ技術を選択することが重要になります。コンデンサを選ぶ上で最も重要なパラメータは、コスト対サイズおよびインピーダンスです。入力および出力コンデンサは、電圧リップルと消費電力を抑えるために、スイッチング周波数において低インピーダンスでなければなりません。

また、コンデンサに数nHでもインダクタンスがある場合は、振幅が高く幅の狭いスパイクが生成されるので、より高い周波数で低インピーダンスになることが望ましいといえます。これらのスパイクの振幅は、コンデンサに供給される電流(dI/dt)の上昇率によって決まります。高速コンバータの場合、dI/dtが0.5A/nsにもなる可能性があります。コンデンサ・リードのインダクタンスが3nHでも、 $(0.5 \text{ e}^{-9} \times 3 \text{ e}^{-9}) = 1.5\text{V}$ のスパイクが生成されます。このデザインノートの後半には、PCボードの寄生要素を使用して、これらのスパイクを低減する方法を示します。

図1は、最も広く使われているスイッチング・レギュレータ用コンデンサのインピーダンス特性を詳しく示したものです。これらのコンデンサは、電解アルミニウム、固体タンタル、OS-CON、およびセラミックです。1つのテクノロジーに限定すれば、低周波数でのインピーダンスは、コンデンサの物理的容積と密接な関係がある傾向にあり、容積が大きくなるほどインピーダンスが低くなります。

アルミニウム電解コンデンサは、性能が不十分で、100kHz以上の周波数ではほとんど使われることはありませんが、安価で高い電圧能力を備えているので、入力バイパス・アプリケーションに使用されます。

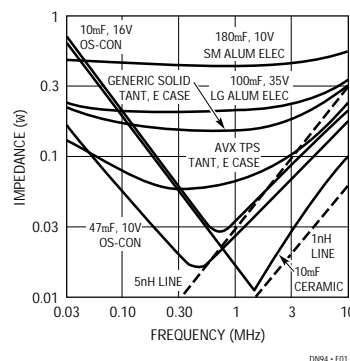



図1. コンデンサ・インピーダンス

固体タンタル・コンデンサは、小型、低インピーダンス、低Q (ループ安定性の問題を防止)などの特性を備えています。タンタル・コンデンサのローエンドのものは、標準で最大50Vに電圧が制限されており、非常に高いターンオン・サージ電流が流れると、ごく一部の製品は自己破壊を引き起こす傾向があります。AVXはより頑丈な構造のTPSラインで製造されており、特別なサージ試験を実施してこの問題に対応しています。TPSユニットでも、高いターンオン・サージが予測される場合は1/2にディレーティングして、実用的な動作電圧を25Vに制限しなければなりません。固体タンタルには短所もあるものの、中~高周波数DC/DCコンバータに適したテクノロジーとして受け入れられているようです。

三洋やMarcon製のOS-CONコンデンサは、半導体に似た誘電体で製造されており、ユニット容積あたりのインピーダンスが非常に低くなっています。これらのコンデンサは、アルミニウム・ユニットよりも遥かに優れていますが、欠点があります。最大電圧は25Vで、高さは固体タンタルよりもかなり高く、ほとんどのユニットが表面実装タイプではありません。また、OS-CONコンデンサはESR(実効直列抵抗)が非常に低く、スイッチング・レギュレータでループ安定度の問題を生じる可能性があります。

セラミック・コンデンサは、500kHz以上の周波数で最もインピーダンスが低くなりますが、高価で実装面積が大きく、温度範囲も限定されています。これらはおそらく高い電圧での入力バイパス、および非常に高い周波数(1MHz以上)のアプリケーションに最適といえます。

 LTC, LTはリニアテクノロジー社の登録商標です。

高周波ではほとんどのコンデンサが約1nH～5nHの誘導性ラインに接近します。より小型のユニットを並列に接続すると、実効インダクタンスが低下しますが、コストは高くなります。

#### EMIの抑制：伝導および放射

EMIは、その原因と対策が十分に理解されていないので、システム設計者にとっては厄介な問題です。これには2つの問題が関係します。つまり、外部FCC規格への適合と内部システム誤動作の回避です。周波数の高いスイッチング・レギュレータほど全体的な問題が悪化するようみえますが、ほとんどすべてのシステムがほぼ問題なく高周波コンバータ使用できる状況がいくつかあります。

よくある誤解とは逆に、システムに相当数のロジック・チップが含まれている場合は、従来のスイッチング・レギュレータがシステムの全体的なノイズ問題の主要因となることはまずありませんでした。マイクロプロセッサ、データバス、クロック・ドライバなどによって生成されたノイズは、通常スイッチャ・ノイズを打ち消します。これはスイッチャの代わりにリニア・レギュレータを一時的に接続すれば、簡単に見ることができます。標準FCC方式を使用した放射ノイズや電源ライン・ノイズは、スイッチャがターンオフしてもほとんど変化はありません。

高周波スイッチャ・ノイズ問題が軽減される第2の理由は、使用する部品が物理的に小型であるということです。放射ノイズは、放射ライン長に比例するため、小型で実装密度の高い部品からの放射は大幅に減少します。

誘導EMIは通常、入力電源にフィードバックされるリップル電流として、あるいはレギュレータ出力のリップル電圧として現れます。図2に入力または出力ラインに寄生インダクタンスを使用して、これら両方の影響を事実上除去する方法を示します。500kHzでは、ボード・トレースの1インチがほぼ0.1のリアクタンスに相当し、この高調波ではさらにインピーダンスが高くなります。このインピーダンスを既存のコンデンサと組み合わせると、「無償の」フィルタ作用を実現できます。

入力では、図3に示すとおり、入力ラインのリアクタンスがコンデンサ・インピーダンスと比べて大きい場合は、スイッチング・

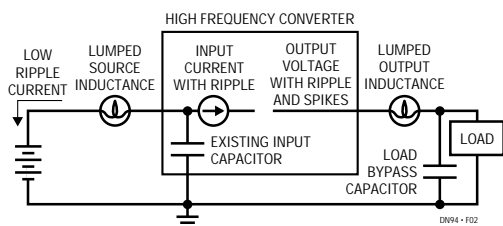


図2. 寄生効果を利用した高周波フィルタ

リップル電流はすべて入力バイパス・コンデンサに流れて消滅してしまいます。たとえば、OS-CON 33mF、20Vコンデンサのインピーダンスは500kHzで約0.02 です。電源ラインの有効長が6インチ(入力+リターン)の場合、ライン・リアクタンスは500kHzで約0.6 です。リップル電流の基本波は、ライン・インピーダンスとコンデンサ・インピーダンスの比 =  $0.6/0.02 = 30:1$ だけ減衰します。高調波は実質上消滅します。

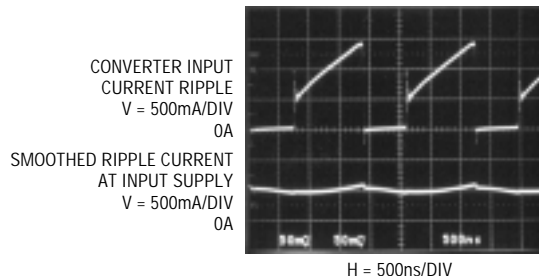


図3.

出力リップルは、図4に示すとおり、出力ラインのリアクタンスを負荷バイパス・コンデンサとともに利用すればフィルタできます。2インチの出力トレース(500kHzで0.16)と0.15のコンデンサ・インピーダンスでは、基本リップルは2:1に減衰され、出力ノイズ・スパイクは実質上除去されます。これらのスパイクのフーリエ成分は、ライン・リアクタンスが4 / インチとなる25MHz以上でスタートします。

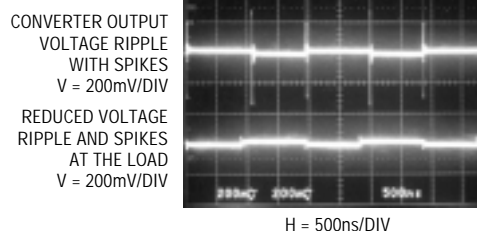


図4.

放射ノイズの一般的な原因は、「開放型コア」磁気部品の使用です。最も安価な高周波インダクタは、フェライト・ロッドまたはバレルに巻かれ、閉じた磁界経路を持たないものです。これはディスク・ドライブ、A/Dコンバータ、IFストリップなどの敏感な低レベル回路では、誤動作を引き起こす可能性のある大きな局部B電界を発生します。各アプリケーションは個別に評価する必要がありますが、コンバータのすぐ近くに低信号レベルが存在するような状況では、広範なシステム・レベルのテストによって、より経済的なソリューションが実証されるまで、トロイドまたはEコアなどの閉鎖型コア磁気製品を使用しなければなりません。

お問い合わせは当社または下記代理店まで（50音順）

東京エレクトロデバイス株式会社  
〒224-0045 横浜市都築区東方町 1  
TEL(045)474-5114 FAX(045)474-5617

株式会社トーマンエレクトロニクス  
〒108-8510 東京都港区港南 1-8-27  
TEL(03)5462-9615 FAX(03)5462-9695

株式会社マクニカ  
〒226-8505 横浜市緑区白山 1-22-2  
TEL(045)939-6104 FAX(045)939-6105

## リニアテクノロジー株式会社

162-0814 東京都新宿区新小川町 1-14 NAOビル 5F  
TEL(03)3267-7891 FAX(03)3267-8510  
<http://www.linear-tech.com>

0998 4K • PRINTED IN JAPAN



© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 1995