

ノイズ性能、活用法、 適用すべき用途について学び、 LDOレギュレータを正しく選択する

著者：Zhihong Yu、プロダクト・マーケティング・ディレクタ

概要

一般に、低ドロップアウトのリニア・レギュレータは**LDOレギュレータ**と呼ばれています。本稿では、そのLDOレギュレータ製品の選択に役立つガイドを提供します。解説にあたっては、特に見のがされがちないくつかの主要なパラメータに注目することにします。また、ノイズに対する要件が非常に厳しい場合に、LDOレギュレータとスイッチング・レギュレータをどのように組み合わせればよいのか検討を行います。更に、高性能なLDOレギュレータを必要とするアプリケーションの例を紹介します。最後に、LDOレギュレータに関する業界のトレンドについて解説を加えます。

はじめに

ほとんどのエレクトロニクス機器に対しては、内蔵する電子回路の標準的な動作電圧よりも高い電圧が供給されます。例えば、コンピュータ機器の電源アダプタは、 $110V_{AC}/220V_{AC}$ のコンセントに差し込まれます。引き出される電流の値は1A未満です。供給された電圧に対しては、様々なパワーICによる一連の降圧変換が行われます。コンピュータ機器が内蔵するプロセッサの動作電圧によっては、最終的に $1V_{DC}$ 未満まで降圧されることもあるでしょう。そのプロセッサの消費電流は、ピーク値で数Aに達する可能性があります。恐らく、そうした機器の内部には、電圧値の異なる多数の電源レールが設けられているはずです。それらの電圧には、1V未満から12Vまでといった幅があるかもしれません。

LDOレギュレータは、多様なアプリケーションで使用されています。その役割は、より高い入力電圧を受け取り、それに調整/制御を加えることで、より低い出力電圧を生成することです。LDO

レギュレータは、電源に関する教科書において最初に取り上げられることが多く、非常にシンプルなデバイスだと考えられています。そのため、LDOレギュレータ製品を選択する際には、電圧と電流の定格値以外の項目については十分に吟味されないことがあります。しかし、実際のアプリケーションでは、電圧/電流の定格値以外の特性が非常に重要な意味を持つことが少なくありません。言い換えれば、回路設計者はそうした特性について十分に理解しておく必要があります。本稿では、まずLDOレギュレータのノイズ性能に注目して解説を進めることにします。続いて、LDOレギュレータとは異なる低ノイズの電源ソリューションについて説明します。その上で、低ノイズの電源を必要とするアプリケーションの例を紹介します。

ノイズ源の種類、対処方法

LDOレギュレータは、メインの電源と電子回路の間に直接適用されることはほとんどありません。多くの場合、それでは電力損失が多すぎるということになるからです。このことから、メインの電源とLDOレギュレータの間には、ほとんどの場合、スイッチング方式のAC/DCコンバータやDC/DCコンバータが配置されます。電源（AC電源やバッテリーなど）に接続されたスイッチング・レギュレータには、ケーブルやプリント回路基板からの放射などによって生じる外部ノイズが加わります。また、スイッチング・レギュレータはそれ自体がノイズ源になります。理想的なスイッチというものは存在しないので、スイッチング動作に伴ってスパイクやリングングが必ず生じます。最終的には、それらがスイッチング・レギュレータの内部ノイズになります。また、スイッチング・レギュレータは負荷から離れた場所に配置されることがあります。その場合、スイッチング・レギュレータと負荷を接続する配線に追加の外部ノイズが混入してしまうかもしれません。

多くの場合、LDOレギュレータはスイッチング・レギュレータの出力を降圧して負荷に供給するために追加されます。LDOレギュレータの特徴の1つは、レギュレーションの精度が高いことです。また、スイッチング・レギュレータの出力リップルを抑える役割も果たします。更に、LDOレギュレータを追加すれば、異なる電圧を必要とする複数の負荷が存在するケースにも対応できます。ただ、LDOレギュレータは入力されるすべてのノイズを受け取りますし、同レギュレータ自体がノイズを生成する可能性もあります。そのため、適切な対策を講じなければ、それらすべてのノイズが負荷に引き渡されることとなります（図1）。この事象についてのシミュレーションは容易ではありません。ノイズの周波数スペクトルと振幅を完全に予測することはできないからです。非常に敏感な負荷回路にノイズが干渉すると、様々な問題につながるおそれがあります（例えば、オーディオの愛好家は、電源を変えた場合の音質の違いに気付くことがあります）。ノイズに敏感な負荷回路の例としては、RF対応のアンプ、クロックIC／タイミングIC、SERDES（Serializer Deserializer）、高精度のアナログ・センサー／イメージ・センサーなどが挙げられます。それ以外に、医療用機器、試験用の計測器、電気通信機器、自動車、データ・センターなどで使われる回路でもノイズが問題になります。

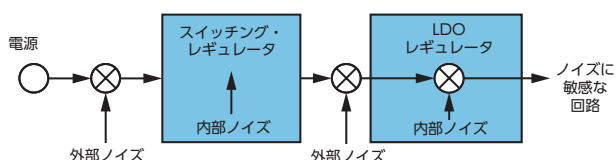


図1. 電源回路とノイズの関係

電源のノイズを抑えるためには、様々な対策を講じなければなりません。例えば、スイッチング・レギュレータの前後にはフェライト・ビーズやローパス・フィルタが追加されることがよくあります。この手法は、周波数の高いノイズの除去に有効です。但し、

それらの追加の部品や回路はサイズが大きく、コストの問題が生じる可能性があります。初期設計と試作を終えた後に、そうしたフィルタが必要であることが判明すると、設計者にとってかなりの負担が生じることになります。

スイッチング・レギュレータのノイズを抑えるための技術として広く知られているものがあります。それが、アナログ・デバイセズのSilent Switcher[®]です。この技術を適用した製品を採用すれば、スイッチング・レギュレータから生じるノイズを小さく抑えることができます。しかも、多くのコンポーネントを追加する必要はなく、サイズや効率が犠牲になることはありません。当社独自の設計に基づくこの技術は、現在、第3世代まで進化しています。第1世代のSilent Switcher 1を採用した製品は、逆極性の2つのスイッチング・ループを使用することによって磁界を相殺します。第2世代の製品は電源用の高精度のコンデンサを内蔵しており、基板レイアウトに対する依存性（感度）が低減されています。第3世代の製品は、Silent Switcher 1に対応する製品の機能をベースとし、低い周波数におけるノイズを大幅に低減しつつ、非常に高速な過渡応答を実現します。Silent Switcherを採用したスイッチング・レギュレータ製品としては、降圧、昇圧、昇降圧の各トポロジに対応するものが提供されています。それらの製品は、最大65Vの入力電圧と最大30Aの負荷電流に対応可能です。詳細については、[Silent Switcherのページ](#)をご覧ください。

ノイズを抑えるために広く使われているアプローチはもう1つあります。それが、低ノイズのLDOレギュレータを使用する方法です。図2に、標準的なLDOレギュレータの内部回路と外付け部品の使用例を示しました。低ノイズのLDOレギュレータは高精度の電流リファレンスを内蔵しており、それが高性能の電圧バッファに接続されています。ノイズに関連する主な性能としては、電源電圧変動除去比（PSRR）、トータル積分出力ノイズ、ノイズ・スペクトル密度の3つが挙げられます。

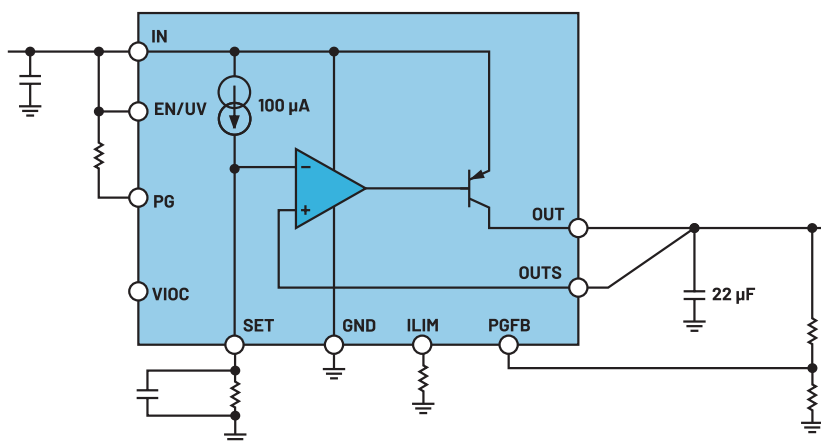


図2. 標準的なLDOレギュレータの内部回路と外付け部品

PSRRは、入力電圧（電源電圧）の変動によって出力電圧に現れる変動の大きさを表します（図3）。一般的には、特定の周波数における値が対数で表示されます。その変動は、負荷と入力電圧に応じて変化します。電源回路では、入力ノイズが出力に反映されないようにすべきです。そのため、LDOレギュレータを使用する場合には、PSRR性能の高い製品を選択することが不可欠です。なお、周波数が高い領域のPSRRは、LDOレギュレータの前後に小さなローパス・フィルタを追加することで改善できます。したがって、製品を選択する際には、低い周波数におけるPSRR性能の方が重要になります。PSRRが20dB異なれば、リップル除去の効果が100倍高く（または低く）なるということを認識しておいてください。

2つ目の重要な性能はノイズ密度と周波数の関係です。その性能の例を図4に示しました。通信関連の多くのアプリケーションでは、周波数スペクトルに対する規格が定められています。つまり、その規格の認証試験に合格するようにノイズを抑制しなければなりません。また、センサーを使用するアプリケーションの中には、特定の低い周波数において関心のある信号を検出し、それに対する処理を行うタイプのものがあります。その場合、対象とする周波数近辺のスペクトル・ノイズ密度を確認しなければなりません。

3つ目の重要な性能は、トータルの積分出力ノイズです。これは、スペクトル・ノイズ密度を有限周波数範囲で積分したrms値として算出します。A/Dコンバータ（ADC）やD/Aコンバータ（DAC）を使用する回路では、DCからシステム帯域幅までにわたるLDOレギュレータの全ノイズ（積算されたノイズ）がシステムの精度に影響を及ぼします。つまり、そうしたアプリケーションでは、トータルの出力ノイズが重要になるということです。図5（右）は、アナログ・デバイセズのLDOレギュレータ[LT3045]のノイズを評価した結果です。リチウム・イオン・バッテリーのノイズ（左）と比べても、同レギュレータの積分ノイズは低く抑えられることがわかります。

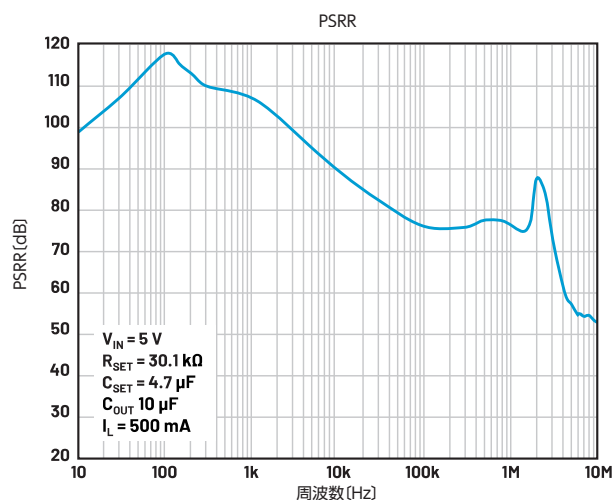


図3. LDOレギュレータのPSRR。
低ノイズの製品の一般的な例です。

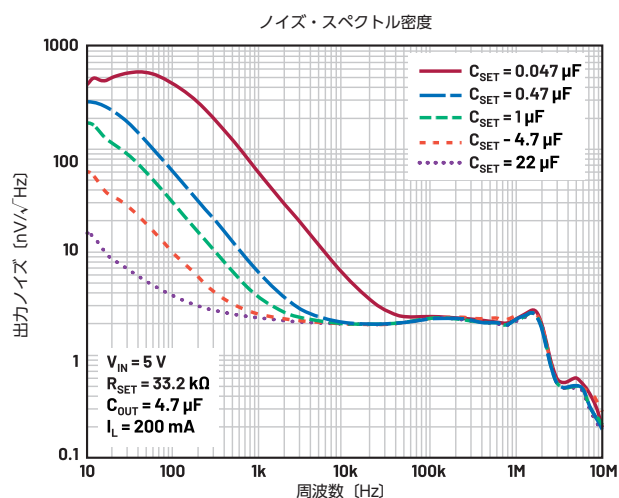


図4. ノイズ密度と周波数の関係

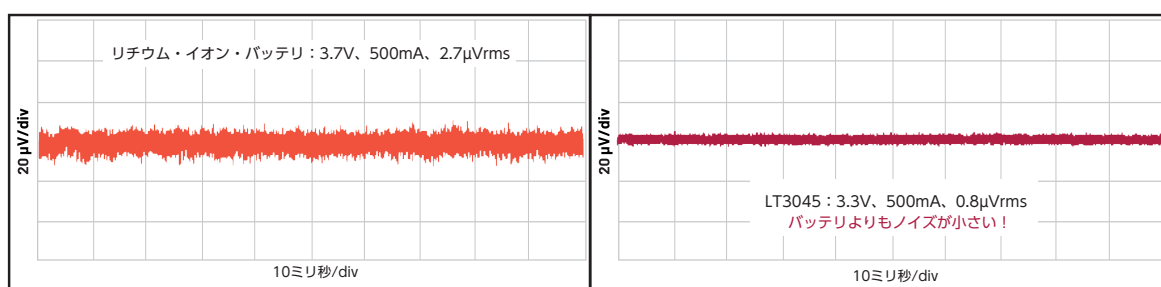


図5. LT3045の出力ノイズ（右）。10Hz～100kHzの積分出力ノイズは0.8μVrmsに抑えられています。
リチウム・イオン・バッテリー（左）よりも積分ノイズが小さいことがわかります。

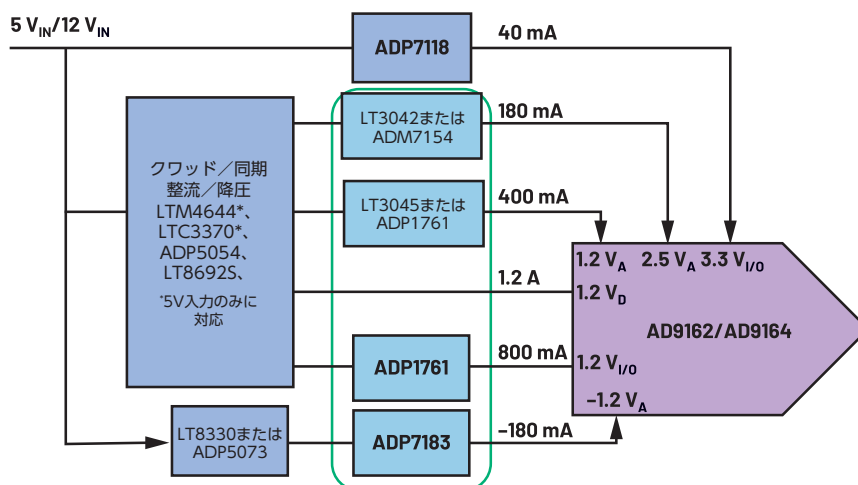


図6. ノイズに敏感なDACに適した電源ソリューション

現実的な活用方法

ほとんどのアプリケーションでは、1つ以上の高度なプロセッサとその他の回路が必要になります。その場合、複数の出力を備える複雑な電源回路が必要です。ここで設計者は、様々な設計/製品の中から適切な選択を行うという課題に直面することになります。代表的な選択肢としては、PMIC（1チップで複数の出力に対応できる電源IC）、シングル出力の複数のレギュレータ、複数のLDOレギュレータなどが挙げられます。一部の出力レール、またはすべての出力レールが低ノイズでなければならない場合、どの選択肢が適切なかは明白だとは言えません。

電源に関する教科書を読めば、次のようなことがすぐにわかります。1つは、一般的にスイッチング・レギュレータの方がLDOレギュレータよりも効率が高いということです。また、LDOレギュレータの方が設計が容易であることにもすぐに気がきます。しかし、現実のアプリケーションというのはかなり複雑なものです。ここでは、分解能が16ビット、サンプル・レートが12GS/SPSのDAC「AD9162」を例にとることにしましょう。このICは、通信システムや計測システムで広く使用されています。そして、このICには計10本の電源レールが必要です。その内訳は、アナログ電源が4本、デジタル電源が2本、SERDES用の電源が4本となります。これらのうち、いくつかの電源レールは結合（共有）することができますが、少なくとも6本の電源レールが必要です。これらの中で最もノイズに敏感なのは1.2Vのアナログ電源です。次に敏感なのは2.5Vと-1.2Vのアナログ電源です。

AD9162用の電源回路はどのように構成すべきなのでしょう。考えられるアプローチの1つは、Silent Switcherに対応する複

数のレギュレータを使用するというものです。例えば、18V入力/2A出力の「LT8622S」や5V入力/3A出力の「LTC3307B」が候補として考えられます。これらの製品を採用すれば、ほぼ間違いなく外付けフィルタを追加しなくてもノイズの要件を満たすことができます。

しかし、すべての電源電圧をSilent Switcher対応のレギュレータによって供給するとなると、システムのサイズがやや大きくなり、コストもややかさみます。高効率、低コスト、小型、低ノイズといったすべてのメリットを併せ持つ代替策は存在するのでしょうか。それは、PMICと反転レギュレータを初段に配置する方法です。例えば、4出力のPMICとしては「LTM4644」、「LTC3370」、「ADP5054」（12Vのバス用）といった製品があります。それらの製品に、「LT8330」、「ADP5073」を反転レギュレータとして構成して組み合わせます。そして、図6に示したように、1.2V V_D を除くすべての敏感な電源レールに対し、低ノイズのLDOレギュレータをそれぞれ追加で配置します。

アナログ・デバイセズは、Silent Switcherを適用した4出力のPMICも提供しています。「LT8692S」、「LT8686S」、「LT8685S」、「LT7200S」といった製品です。これらは、より高い電圧定格値または電流定格値が求められるアプリケーションをターゲットとしたものです。

また、3.3V V_{IO} と-1.2V V_A 向けに適用している低ノイズのLDOレギュレータはそのまま使用し、PMICとそれに続くLDOレギュレータを別のレギュレータで置き換える方法も考えられます。つまり、それらを、Silent Switcherに対応するシングルチャンネルの4個のレギュレータで置き換えるといった具合です。

設計者にとって参考になるように、低ノイズのソリューションに関する選択基準を表1にまとめました。アナログ・デバイセズとしては、次の各ケースに対しては超低ノイズのLDOレギュレータを採用することを推奨しています。すなわち、入力源のノイズが非常に大きいケース、負荷電流が少ないケース、出力リップルを最小限に抑えたいケース、ノイズを最小限に抑えたいケースです。

負荷電流が5A以上である場合、ほぼ例外なく、低ノイズのPMICまたはスイッチング・レギュレータが望ましい選択肢となります。但し、大電流に対応しなければならない場合には、LDOレギュレータを並列に接続する手法も検討に値します。

負荷電流が2A～5Aの場合には、「[ADP7158](#)」、「[ADP7159](#)」、「[LT3073](#)」、「[MAX38907](#)」などのLDOレギュレータを選択するか、またはSilent Switcher対応の様々なレギュレータを選択するとよいでしょう。どれを選択するかは、設計者の判断に委ねられます。

表1. 低ノイズの電源ソリューションの選択基準

	PMIC	スイッチング・レギュレータ	LDOレギュレータ
ノイズ性能	Silent Switcher 2	Silent Switcher 1、Silent Switcher 2、Silent Switcher 3	超低ノイズ
電圧／電流	最大42V、5A	最大65V、30A	-20V～20V、最大5A
動的応答	高速	高速	低速
効率	高い	高い	低い
ソリューションのサイズ	小さい	中程度	小さい
トポロジ	降圧	降圧、昇圧、昇降圧	LDOレギュレータ
リップル	中程度	中程度	小さい
ノイズ	小さい	より小さい	最も小さい
コスト	中程度	中程度	低い

LDOレギュレータを適用すべきアプリケーション

アナログ・デバイセズは、低ノイズのLDOレギュレータの市場を牽引する存在です。Linear TechnologyとMaxim Integratedを買収したことにより、当社のポートフォリオは更に強化されました。-20V～20V、100mA～5Aに対応する超低ノイズのLDOレギュレータ製品を数多く提供しています。

当社の低ノイズのLDOレギュレータは数百社に採用されています。以下、いくつかのお客様をピックアップし、それらの製品がどのようなアプリケーションで使用されているのかを紹介します。

- ▶ **有名なデジタル一眼レフ・カメラのメーカー：**イメージ・センサーに対する給電用に低ノイズのLDOレギュレータを選択。センサーで取得した信号の処理には超低ノイズの電源が必要だったからです。
- ▶ **Amazon で最も売れているサーマル・カメラのメーカー：**赤外センサーに対する給電用に低ノイズのLDOレギュレータを選択。そのレギュレータが、市場で提供されている中で最も低ノイズのソリューションだったからです。
- ▶ **車載分野のティア1サプライヤ：**先進運転支援システム（ADAS：Advanced Driver Assistance System）で使用するレーダーとRF回路に対する給電用に、低ノイズのLDOレギュレータを採用しました（アナログ・デバイセズはこのティア1サプライヤに対して、AECに準拠する電源ソリューション全体も提供しています）。
- ▶ **内視鏡のメーカー：**低ノイズと小型のソリューションを求めているので、低ノイズのLDOレギュレータを採用しました。
- ▶ **半導体試験装置（ATE）のメーカー：**ASICに対する給電用に、アナログ・デバイセズ製のパワー・モジュールとLDOレギュレータを選択しました。
- ▶ **ゲーム用ヘッドフォンのメーカー：**オーディオ用のDACに適用する電源回路において、低ノイズのLDOレギュレータを使用しました。
- ▶ **プリンタのメーカー：**低リップルの要件に対応するために、低ノイズのLDOレギュレータを選択。
- ▶ **流量計のメーカー：**PSRR性能が高くリップルの小さい電源を必要としていました。そのため、低ノイズのLDOレギュレータを採用しました。
- ▶ **Massive MIMOシステムのメーカー：**GaNベースのパワー・アンプに対する給電用に低ノイズのLDOレギュレータを選択しました。

一般に、ノイズに敏感な大半のアプリケーションには、低ノイズの電源が不可欠です。各社の設計者は、「設計マージンを確保するために、できればデフォルトで低ノイズのパワーICを選択したい」と語っていました。設計時に何らかの干渉の問題に遭遇した場合には、まず電源のノイズについて確認してみるとよいでしょう。

より高度なLDOレギュレータに対するニーズ

アナログ・デバイスでは、ノイズが非常に小さく、PSRR性能が非常に高いLDOレギュレータ製品を数多く提供しています。それ以外にも、様々な特徴を備える数百種ものLDOレギュレータ製品を設計／販売しています。例えば、ブレイクダウン電圧が高い製品、自己消費電流が少ない製品、LDOレギュレータの負荷を追跡して上流でのDC/DC変換を行うためのアダプティブ・ピンを備える製品などです。それだけ多様な製品を提供していても、市場では更に多くの機能を備えたより高度なLDOレギュレータが常に求められています。実際、当社には、お客様から多種多様なアイデアに基づくLDOレギュレータを求める声が寄せられています。例えば、更にノイズが小さい製品、複数のチャンネルを

備える製品、デジタル制御が可能な製品、過渡応答が高速な製品などが必要とされているのです。現在でも、LDOレギュレータは非常に単純なデバイスに見えるはずですが、LDOレギュレータは決して姿を消すことはありません。他のすべてのICと同じように今後も進化を続けるでしょう。LDOレギュレータに関する疑問が生じた場合やサポートが必要な場合には、ぜひ当社にお問い合わせください。[こちらのページ](#)にアクセスすれば、LDOレギュレータ製品のパラメータ検索を行うことができます。また、[こちらのページ](#)では、追加機能を備えたLDOレギュレータ（LDOプラス）の検索を実施できます。ぜひ、これらのページをご活用ください。



著者について

Zhihong Yuは、アナログ・デバイセズのプロダクト・マーケティング・ディレクタです。16年以上にわたり、パワー・マネジメントIC、アナログIC、ミックスド・シグナルICに関連する業務に従事。定義と開発を主導したIC製品の数40種以上に上ります。以前は、ルネサス エレクトロニクス、Monolithic Power Systems、Infineon Technologiesでエンジニアリング領域とビジネス領域の様々な職務を担当していました。