

# パワー・プロセス・チェーンを 通じて進化する高電圧給電



**Chris Schairbaum**

Director,  
Analog Innovation & Development  
Texas Instruments

**Ramanan Natarajan**

Product Line Manager,  
High Power Controllers  
High Voltage Power  
Texas Instruments

**Jeff Morrone**

Director,  
Power Management  
Kilby Labs  
Texas Instruments

**モバイル機器を充電していない間、  
コンセントに接続された携帯アダプタから漏れ出る電流量をご存知ですか？  
テレビを見ていなくても、  
4Kテレビの電源から電流が流れていると考えたことはありますか？  
機器を充電しないのにアダプタのつなぎっ放しには  
なんとなく罪悪感を感じたことがあっても、多くの方と同様なら、  
答えはノーでしょう。**

---

実際のところ、コンセントに接続された携帯電話アダプタや電源を切ったテレビからは「待機」電流と呼ばれるごくわずかな電流しか漏れ出ていません。しかし、携帯電話の電源アダプタやテレビ内部の電源すべてからの電流を集めれば、わずかなしずくも大河のような浪費電力になります。ある観点からこの問題を考えると、1年間に販売される携帯電話用アダプタからの漏れ電流をゼロにできれば、人口20万人の都市に電力を供給できるほどの節電効果があります。携帯電話アダプタが漏れ電力なしで動作することによって、発電所の電力を毎年節約できると考えてみてください

同じ計算はタブレットやノートPCのアダプタにも当てはまり、さらには、サウンド・システムやDVDプレーヤーなど、どこにでもあり、常時コンセントに接続され、エネルギー節約の罪悪感を感じても簡単には外せない家電製品にも当てはまります。電力の需要（および損失）がさらに大きな大規模商用システムでも、同種の漏れ電流は発生します。

今度は、ノートPCのACアダプタが映画鑑賞時にどれだけ発熱するか、そして仕事に精を出しているときにデスクトップPCの電源ファンが発する大きなノイズについてお話ししましょう。これらはいずれも、電源が効率100%で動作できないことが原因で発生します。発生した消費エネルギーがデバイスを加熱し、温度を低く維持するためにファンやヒート・シンクが必要になるのです。

従来から電子システムは大小を問わず、動作中に電力を給電しているときもアイドル状態のときも、電源を通して電力を損失しています。電源の役割は、高電圧の商用電源や非安定化バッテリー電圧などのエネルギー源から電子回路で使用する十分に安定化された低電圧へと電力を変換することです。しかしながら、電力変換には、アプリケーションを未使用時にそのまま電源を接続している場合でも、アプリケーションがフル稼働している場合でも、電力損失というペナルティが常に伴っています。

幸いなことに、電源におけるさまざまな新しい成果によって、携帯電話やデジタル・テレビのような日常使用する機器から、電気自動車（EV）やハイブリッド電気自動車（HEV）、ロボットなどの産業規模の設備、さらには通信基地局やデータセンターなどの大規模施設に至るまで、アプリケーションの省電力化に大きな効果がもたらされています。

電源は、電力の高密度化の実現によって、これだけ多くのことを達成しています。つまり、電力損失、発熱、信号ノイズの削減によって、電源を狭いスペースに収めることが可能になっています。電源アーキテクチャと電界効果トランジスタ (FET) 技術の変化に加え、バッテリーなどのエコシステムが進化したことで、電力の高密度化と高効率化が実現されると同時に、それらに対する要求も高まっています。

テキサス・インスツルメンツ (TI) は、高電圧半導体ソリューションをリードする開発企業として、システム開発者がより小型で効率のよいボードを実装して短期間で検証や製造を行えるように、電力の高密度化を可能にするイノベーションを推進しています。高電圧のイノベーションは、電気使用量削減に伴う大きなメリットに加えて、高電圧のライン電源または蓄電池により給電される事実上あらゆる種類の電子アプリケーションにメリットをもたらします。

## 高電圧電源の設計要件

電子システムは、回路で使用する電圧よりも高い電圧ソースから供給される電源で動作します。電源には、送電網からの110または220ボルト (V) の交流 (AC) か、高電圧バッテリーの直流 (DC) を使用できます。例えば、従来の自動車用バッテリーは12V動作ですが、先進運転支援システムでの電力需要が増加したことや、エンジンで駆動されていたポンプなどの特定機能が電動化されたことで、消費電流削減のために48Vバッテリーも登場しています。

電子システムで利用するには、これらの電圧を通常1～5Vの低い電圧に変換しなければなりません。低い電圧では伝達時の電力損失が増加するため、電圧を変換する前の高電圧をエンド・アプリケーションの近く、できれば回路基板上まで引き込むことが課題となります。省スペース化と省電力化はコスト削減につながりますが、装置やその周辺にいるかもしれない人の安全性を確保することがその分難しくなります。

高電圧をエンド・アプリケーション近くまで引き込むための重要な技術上の課題は、電力を高密度化する方法です。従来、データセンターの電力には、最終負荷であるマイクロプロセッサやストレージ装置などの構成要素に到達する前に、一連の多段処理が行われていました。従って、電源は常に大きなスペースを占め、変換段毎に電力を損失し、電源全体では冷却スペースを必要とする相当の発熱となります。

本ソリューションでは、小型で電力を効率よく変換し、密閉空間でほとんど発熱しないスイッチ・モード電源 (SMPS) を使用します。しかしながら、平衡が必要な多数のインピーダンス成分や、他の装置と干渉する可能性がある不要信号をライン上にフィードバックしかねない固有な高周波段のため、SMPS設計は従来から複雑でした。高い周波数を使用することで部品サイズを小型化できますが、窒化ガリウム (GaN) やシリコンカーバイド (SiC) など、シリコン (Si) とは異なる材料、そして超高速コントローラも必要になります。回路設計者の多くは専門がシステムの他分野であるため、このようなことはすべて、回路設計者の頭痛の種となる設計上の新しい課題をもたらします。

## 小型化するスイッチング電源

システム開発者は、このような電源設計上の問題解決のため、高電圧電源用の最新ソリューションに注目しています。このようなソリューションを使った設計は急速に手軽になっており、機能や効率も改善されています。回路設計の進歩とGaNなどのワイド・バンドギャップ材料により、SMPSはより高い周波数で動作でき、部品の小型化と電力損失の低減が可能になります。絶縁と電磁波妨害 (EMI) に関連した技術も改善されているため、高電圧技術の安全性が高まり、ノイズも最小限に抑えられます。その結果、電源設計の実装、検証、および工業規格に適合するための試験も迅速に行えるようになりました。

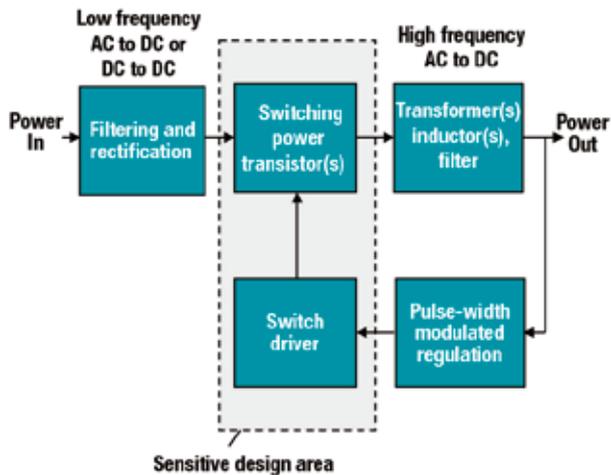


図 1. スイッチ・モード電源の一般的機能。

図1に、SMPSの主要機能ブロックを示します。入力エネルギー・ソースは、AC、DCいずれも可能ですが、最初にフィルタリングによって「クリーン」なDCにしてから、高電圧パワー・トランジスタに印加されます。ACソースの場合、「クリーン」なDCを生成するために、整流段または昇圧段（あるいはその両方）を追加する場合があります。高電圧パワー・トランジスタ（スイッチ）は、DC信号を高い周波数でオン/オフすることによりパルスAC出力を生成し、電圧変換部品であるトランスに供給します。さらにいくつかの段階を経ることで、最終的にメイン・システム回路の動作に適した低電圧のDCレベルになります。

このDCレベルは、負荷や入力に変動が発生した場合、十分に安定化されていなければなりません。このため、出力のフィードバック信号がパワー・マネージメント・システムに供給され、そこでパルス幅変調（PWM）などの方法を使って高周波パルス信号を生成します。この信号をトランジスタに印加することで、安定化の効果が得られます。ドライバは、このパルス信号を高電圧スイッチに伝達し、スイッチを高速にオン/オフします。

図に示すように、高電圧スイッチとそのドライバは、SMPSの一部を構成しますが、非常に敏感であり、不適切な設計や外部からの干渉によって大きな影響を受けます。周波数が高くなるほど、この部分は影響を受けやすいので、電源設計者にとっては難題であり、設計上、最大の注意が必要です。もう1つ注意すべき部分は、右上のブロック内のトランスであり、これは電圧を降圧するだけでなく、システム回路を外部電源の過渡的変動から絶縁します。このような理由により、トランスは回路には不可欠ですが、常にかさばる部品であるという設計上のペナルティを抱えています。左上のブロック内のフィルタも、高電圧スイッチから逆流する高周波から外部回路を保護する点で重要です。

SMPSのこれらの部分は、幅広い範囲の半導体や集積回路（IC）の進化により、この数年にわたり大幅に改善されました。SiCやGaNパワー・トランジスタなどのワイド・バンドギャップ半導体技術は、電力損失を削減しながら、SMPSの高速スイッチング周波数を実現するために重要で、サイズの小型化は絶対に必要です。GaNトランジスタのスイッチ・ドライバには、設計の難しさを軽減するよう、あらかじめ調整した受動部品が組み込まれています。GaNスイッチとスイッチ・ドライバを両方内蔵したモジュールは、究極的な設計の簡素化を実現します。高周波スイッチングを行えば、外部電源トランスのサイズは小さくなります。また、新しい技術により、最終的にはトランスのモジュール・パッケージ内蔵が実現するかもしれません。容易に入手できるコントローラ・ソリューションを使った電力変換の新しいコンセプトを使えば、他のイノベーションでノイズとEMIを最小にしながら、SMPSのスイッチング動作中の電力損失を大幅に削減することが可能です。

今では、高電圧電源はアプリケーション基板上に搭載可能ですが、以前は専用の基板やボックスが必要なこともありました。最新のSMPS設計と熱対策パッケージ手法により、発熱ははるかに少なくなり、特別な冷却方法を用意する必要性は減っています。SMPSが小型化すれば貴重な基板面積が開放されるので、開発者は余分な基板スペースを追加機能のために活用できます。例えば、無停止電源(UPS)は、基地局、データセンター、その他重要なネットワーク施設内でバッテリー・バックアップ電力として不可欠な電源です。UPSは最低でも、システムが定常なシャットダウンを行うための時間を十分に確保しますが、長時間運転のためにさらに大きな電力を提供する場合があります。しかし、集中型UPSには広いスペースと設備投資が必要であるため、各ボードにUPS機能を分散させ、高電圧SMPSとの連携によってアプリケーションのフル電源ユニットとして活用できる方法も、システム開発者の注目を集めています。

### 高電圧パワーを推進するイノベーション

TIでは、電源の技術的要件とアプリケーションのトレンドに基づき、高電圧パワーの開発を継続的に推進しています。TI

には、広範囲の電源設計とIC製造のノウハウがあり、パワー・トランジスタ、集積回路、制御用の知的財産(IP)の全体にわたって、産業界をリードするパワー・ソリューションを提供してきた長年の伝統があります。省スペース、優れた電力効率、最適なシステム・コストを求める高度な高電圧製品の開発において、TIは独自のノウハウと伝統を集約できるので、有利な立場にいます。TIの製品ポートフォリオには、バッテリーやソーラー・パネルなどの、DC電源からACを出力すること以外、電源と同様な動作をするインバータ技術もあります。

TIのGaNテクノロジーは、最先端の高電圧スイッチング・リユースと高精度コントローラを実現します。包括的なGaNソリューションでは、開発を簡易にするため、あらかじめ最適化された単体パッケージ内にスイッチとドライバが内蔵され、リファレンス・デザインによりサポートされています。さらに、TIは、ゲート・ドライバ、コントローラ、その他の部品とともに幅広い範囲のSiパワーFETを開発しました。SiCテクノロジーがさらに高電圧のパワー・スイッチで使用できるよう進化を続ける中、TIはSiCスイッチ・ドライバおよびコントローラで開発者を支援する計画です。

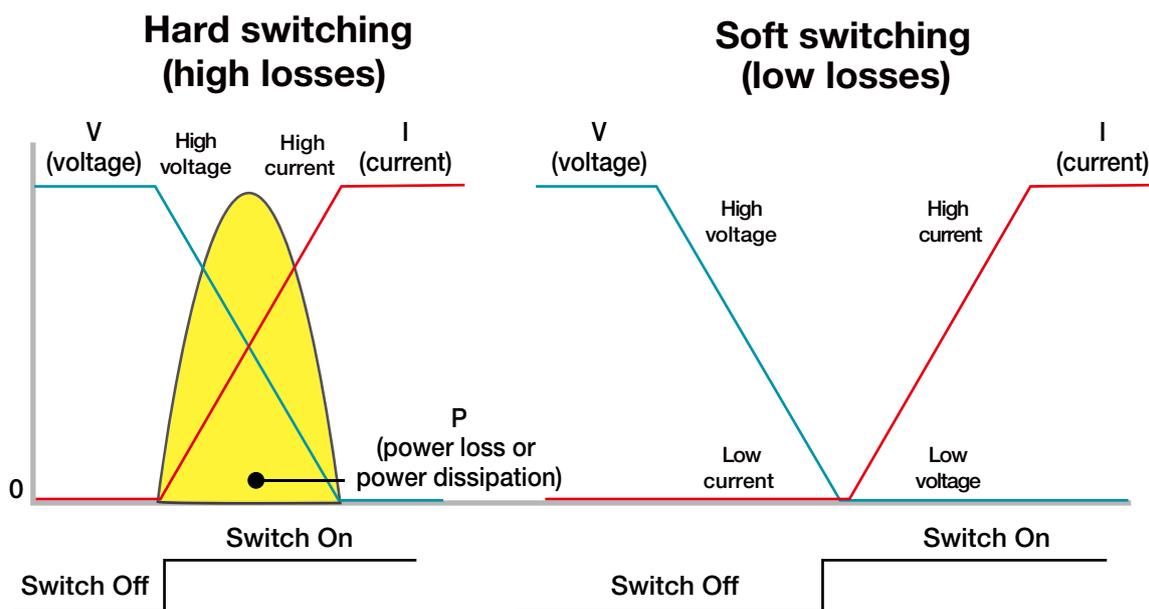


図2. ソフト・スイッチングによる省電力化。

高電圧システムの電力効率をさらに改善する2つのテクニックは、力率補正 (PFC) とソフト・スイッチングです。PFCは、電源がエネルギー源から必要な電力量だけ消費し、過度の消費を避けることを可能にする技術です。PFCは、消費電力の大半が有効電力で、無効電力がほぼないようにすることにより、電源から得られる全エネルギーが有効な電力としてシステム回路に確実に伝達されることを保証します。世界の多くの地域で施行されている規制基準では、その地域で販売される装置に力率補正を義務付けています。このような基準に準拠するため、TIは、さまざまなアプリケーション専用に最適化され、広帯域のパワー・スペクトラムに対応する、数々のアクティブ PFC コントローラを先駆けて開発しました。TIの PFC コントローラの中でも特筆すべきものはインタリーブ多相化製品であり、インダクタとフィルタ部品の小型化を可能にしたことで、よりスリムなテレビ、軽量なエアコン、コンパクトな LED 照明器具、高密度のデータセンター電源を実現しました。

パワー・スイッチがオン/オフされた場合 (ハード・スイッチング)、システムの電力損失は避けられません。図2に示すように、電流と電圧は同時には変化せず、電源から消費される電力が利用可能な有効電力よりも大きくなる期間が生じます。SMPSの高いスイッチング周波数ではこれが発生する期間はごく短時間ですが、頻繁に発生するので損失が大きくなることがあります。ゼロ電圧スイッチング (ZVS) としても知られるソフト・スイッチングは、電圧のオン/オフのタイミングを調整し、電流がゼロになる時点でスイッチさせるテクニックであり、結果として電力の生成と消費を少なくします。ソフト・スイッチングに対応した回路では、位相シフト・フルブリッジ (PSFB) 制御または共振 LLC 回路を使用できます。ソフト・スイッチングの深い専門知識を持つことで知られるTIは、この両方の手法に対応する電源管理コントローラ・デバイスとデザインを開発しました。

電源設計は、特にマスターすべき専門知識が難解な領域で、電源設計を専門とする基板設計者はほとんどいません。TI

は、電源設計固有の難しさを認識した上で、最適化されたフル・ソリューションを提供するためのイノベーションに集中し、評価モジュール (EVM)、リファレンス・デザイン、ソフトウェア・ツール、トレーニング、数多くのドキュメントで、お客様をサポートしています。

## 環境に配慮した省電力化

電源の改善だけで新しい発電所建設を不要にする十分な節電ができるかもしれませんが、できないかもしれませんが、電源の改善は、エネルギー生成、バッテリー蓄積、エネルギー最適化の各アプリケーションにおける新しい成果とともに重要な要素の1つです。これらの進歩はすべて、装置の機能を拡張しながらそれらの電力効率を改善する、革新的な IC 技術によって可能になります。

高周波数のワイド・バンドギャップ新材料、革新的な SMPS 設計、改善された絶縁技術、サーマル・パッケージングの進歩など、高電圧に関するさまざまな進歩により、伝達と変換での電力損失が大きく削減されています。TIは、このような進歩を実装し実現する革新的な IC ソリューションを開発することによって、高電圧ラインやバッテリー電圧を電源とする多様なアプリケーションに省スペース、低発熱、低コスト、省電力といったメリットをもたらします。エレクトロニクスの未来は、設計ごとにますます環境に配慮したものとなっていきます。TIのイノベーションに対するコミットメントは、この変化をもたらす上で重要な役割を担っています。

### 関連情報:

- TIの[高電圧 GaN](#) および[力率補正](#)関連製品
- ホワイトペーパー: [高電圧イノベーションによる電源管理の再定義](#)
- ブログ: [Let's GaN reliably \(GaNで確実にしよう\)](#)
- TIの[包括的な電源設計トレーニング/サポート・リソース](#)



## TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的で、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。