

Technical Article

人工衛星向け電源システムを進歩させるための主な検討事項 - 電源 IC



Yurina O.



人工衛星向け電源の設計は、複雑なトレードオフが伴います。商用アプリケーションに比べ設計に関する変数が多く、使用できる半導体オプションの数が非常に少ないからです。万が一、故障した場合に修理できる可能性はほとんどないため、人工衛星の主電源は特に重要です。宇宙グレードの高性能 **FPGA** (フィールド・プログラマブル・ゲートアレイ) の進歩に伴い、人工衛星は現在、ローカルの計算能力が大幅に向上していますが、同時に全体の電力需要も増加を続けています。

人工衛星向けの電源システム (EPS) を開発する場合、特に重要な 2 つのトレードオフは、全体的な放熱設計と、ミッション・プロファイルの放射線要件です。

システム効率を重視した放熱管理

スイッチ・モード電源 (SMPS) の効率を決定しようとする際、部品の選定、トポロジの選択、スイッチング周波数はいずれも重要な要因です。システムの熱負荷は、電源の効率および人工衛星全体での電力損失の放散に対して直接の相関関係を持ちます。

人工衛星向けの EPS では、システムの発電用ソーラー・アレイから受け取った電圧 (一般的に $100V \pm 50\%$) をバッテリー・ストレージ部分に合わせて降圧し (一般的に $28V \pm 20\%$)、次いで人工衛星のペイロード・カードに適した低ノイズのポイント・オブ・ロード電源電圧 ($5V$ 未満) に再度降圧する必要があります。ペイロード・カードとは、シングル・ボード・コンピュータ、計測/通信用カード、レーダ/通信用カードなどです。これらの各変換段で、できる限り高い効率を達成することが、電力損失の低減に役立ちます。宇宙空間での電力損失がシステム全体や重量に対して与える影響は、通常のアプリケーションの場合よりもずっと大きくなります。

効率を向上させる 1 つの手法は、同期整流器を使用することです。この場合、従来のパワー・ダイオードをゲート制御トランジスタで置き換え、電源パスの導通損失を大幅に低減することができます。ダイオードでは多くの場合、その順方向特性により、オン状態時の電圧降下が大きくなります。最新の SMPS 設計が意図している大電流の取り扱いに適したダイオードの場合は特に顕著です。一方、同期整流トランジスタは通常、オン抵抗の小さい電界効果トランジスタ (FET) であり、同じ電流レベルでも導通損失を大幅に低減できます。

人工衛星向け EPS の設計で、パルス幅変調 (PWM) 制御をベースとするアーキテクチャを採用すると、その優れた柔軟性により、多様な電源トポロジを最高の効率レベルでサポートできます。放射線強化 PWM コントローラ・ファミリである **TPS7H5001-SP** と、耐放射線特性 PWM コントローラ・ファミリである **TPS7H5005-SEP** はどちらも、同期整流、構成可能なデッドタイム、その他の統合機能をサポートしているので、設計者は、より小型でより効率の良い絶縁型または非絶縁型電源を製作できます。</100>デューティ・サイクル制限を 50%、75%、100% のいずれかに調整できるため、設計者は

単一のコントローラを DC/DC コンバータの複数のトポロジで使用することができます。また、同期整流出力を複数内蔵しているため、外部回路を追加せずに、各トポロジの完全同期バージョンを実現でき、全体的なシステム・サイズに関して利点となります。構成可能なデッドタイムは、特に窒化ガリウム (GaN) パワー半導体をベースとする設計で、パワー・コンバータの効率最適化に役立ちます。調整可能なリーディング・エッジ・ブランク時間を活用すると、コンバータ固有の寄生インダクタンスや寄生容量、さらにはプリント基板やパワー・モジュールのサブストレートが示す同様の寄生成分に基いて、コントローラの内部電流センス機能を構成することができます。

表 1 で、さまざまなデバイスを比較します。

表 1. TPS7H5001-SP と TPS7H5005-SEP の各 PWM コントローラ・ファミリの比較

特長	TPS7H5001-SP TPS7H5005-SEP	TPS7H5002-SP TPS7H5006-SEP	TPS7H5003-SP TPS7H5007-SEP	TPS7H5004-SP TPS7H5008-SEP	
プライマリ出力構成	デュアル	シングル	シングル	デュアル	
同期整流出力構成	デュアル	シングル	シングル	N/A	
サポートしているデューティ・サイクル制限	100%, 75%, 50%	100%, 75%	100%, 75%	50%	
出力デッドタイムのプログラマビリティの設定は可能か	はい	はい	いいえ。50ns に固定	いいえ	
リーディング・エッジ・ブランク時間のサポート	はい	はい	いいえ。50ns に固定	はい	
GaN FET と Si MOSFET のどちらがターゲットか	GaN FET または Si MOSFET	GaN FET	Si MOSFET	GaN FET または Si MOSFET	
トポロジ	昇圧、降圧	はい	はい	はい	いいえ
	フライバック	はい	はい	はい	いいえ
	フォワードとアクティブ・クランプ	はい	はい	はい	いいえ
	プッシュプル	はい	いいえ	いいえ	はい
	ハーフブリッジとフルブリッジ	はい	いいえ	いいえ	はい

ミッション・プロファイルの放射線要件

すべてのフライト・ハードウェア (航空と宇宙向けのハードウェア) を取り扱う際に、人工衛星の軌道と、その予期される放射線被ばくについて理解する必要があるため、人工衛星向けデバイスの選定時には、ミッションの放射線要件を確認することが必須です。

人工衛星の電子機器は、軌道にとどまっている間、放射線による以下の 3 種類の効果にさらされます。

- **トータル・ドーズ効果 (Total ionizing dose: TID)**とは、長期間にわたる放射線被ばくの累積線量のことで、長期間にわたる放射線被ばくが原因で、半導体デバイス中の酸化膜に固定電荷が生じることがあります。これはデバイス内のパラメータ変化につながり、最終的には機能の故障に至ります。
- **シングル・イベント効果 (Single-event effects: SEE)** は、テスト対象デバイスに対して重イオンが及ぼす効果を測定します。高エネルギーのイオンが衝突すると、電子とホール (正孔) のペアが生成されることがあります。これらのペアは、シングル・イベント過渡 (Single-event transient: SET) またはシングル・イベント機能割り込み (Single-event functional interrupt: SEFI) のような非破壊的事象につながります。このようなイオン衝突は、シングル・イベント・ラッチアップ (Single-event latch-up: SEL)、シングル・イベント焼損 (Single-event burnout: SEB)、シングル・イベント・ゲート破壊 (Single-event gate rupture: SEGR) のような破壊的効果をもたらすこともあります。
- **はじき出し損傷効果 (Displacement damage dose: DDD)**は、累積線量被ばくに起因する別の種類の効果であり、複数回のイオン衝突がデバイスの結晶構造に及ぼす損傷を評価します。宇宙空間では通常は陽子のはじき出し損傷の主因であるのに対し、中性子のはじき出し損傷 (Neutron displacement damage: NDD) 試験では中性子を使用します。陽子はすでに説明した TID 効果ももたらすため、中性子を使用することで、はじき出し損傷を TID 効果と分離できます。

この種の放射線にさらされたときに、部品がどのような挙動を示すのか検証することは、電源内に配置する部品の場合には特に重要です。TPS7H5001-SP デバイス・ファミリには、最大 100krad(Si) の TID 放射線レポートと、最大 1×10^{13} 個の中性子 (1cm² あたり) を使用する NDD レポートが付属しているため、自動試験機器のテスト・ベクタを使用した放射線被ばく後試験にデバイスが合格できるようになります。デバイス・メーカーはこの放射線被ばく後試験を使用して、土台となるデータシートの制限値を保証できます。TPS7H5001-SP の SEE 試験の場合、SEL、SEB、SEGR を対象とする

破壊的 SEE 試験から、線エネルギー付与 (LET) 換算で耐性が $75\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ に等しく、SET と SEFI でも LET 特性が $75\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ に等しいことを確認できます。

TPS7H5005-SEP デバイス・ファミリには、最大 $50\text{krad}(\text{Si})$ の TID 放射線レポートと、最大 1×10 個の中性子 (1cm^2 あたり) を使用する NDD レポートが付属しています。SEL、SEB、SEGR を対象とする破壊的 SEE 試験から、線エネルギー付与 (LET) 換算で耐性が $43\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ に等しく、SET と SEFI でも LET 特性が $43\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ に等しいことを確認できます。

まとめ

現在の小型人工衛星で最新の高性能コンピューティング・ソリューションをサポートするには、システムの放熱設計に関する課題にかなりの注意を払う必要があります。TPS7H5001-SP と TPS7H5005-SEP はいずれも新しい PWM コントローラ・ファミリであり、設計者が最大の電力効率と設計のフレキシビリティを実現するのに役立ちます。常に存在する放射線の要件に対処できるように、これら 2 つのデバイス・ファミリには、TID、SEE、NDD に関する詳細な放射線レポートが付属しています。これらのレポートは、これらの製品が地球低軌道 (LEO)、地球中軌道 (MEO)、静止軌道など、さまざまな種類の軌道やミッションをどのようにサポートできるかを示しています。

参考情報

以下の放射線レポート(英語)をご確認ください。

- [TPS7H5001-SP Total Ionizing Dose \(TID\)](#)
- [TPS7H5001-SP, TPS7H5002-SP, TPS7H5003-SP and TPS7H5004-SP Single-Event Effects \(SEE\)](#)
- [TPS7H5005-SEP Total Ionizing Dose \(TID\)](#)
- [TPS7H500X-SEP Single-Event Effects \(SEE\)](#)

[\(TPS7H5005-SEP フライバック・コンバータ・カリキュレータ\) をダウンロード](#)

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated