

# 理想ダイオード コントローラを太陽光発電アプリケーションのスケラブルな入力バイパス スイッチとして使用する方法

**Yang Wu**

Analog Field Applications Engineer  
China East Sales

**Abhijeet Godbole**

Systems Engineer  
Analog Power Products

**Dilip Jain**

Systems Manager  
Analog Power Products

## はじめに

太陽光発電 (PV) システムでは、モジュールレベルのパワーエレクトロニクス (MLPE) により、特定の条件下、特に日陰での発電性能が改善されます。かつては費用のかかる特殊なカテゴリと考えられていた MLPE は、今では太陽光業界で最も急速に成長している市場セグメントの一つです。ソーラー電力オプティマイザは、PV パネルの電力出力を最適化して効率を高める MLPE の一種です。

従来型のソーラー電力オプティマイザは、バイパス回路に P-N 接合ダイオードまたはショットキー ダイオードを使用しています。ダイオードに大電流が流れると、比較的高い順方向電圧降下が原因で、高い電力損失によって熱に関する重大な問題が発生する可能性があります。改善された方法では、ダイオードよりも電圧降下が小さい金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) を使用することで、高い電力損失を克服しています。

さらに、ソーラー オプティマイザは、特定の電力レベルで導通損失を低減し、システム コストを削減することで効率向上を実現したため、2 枚の PV パネルを直列接続した場合の最大 150V の過渡電圧など、より高い入力電圧に対応できるようになりました。この記事では、フローティング ゲートの理想ダイオード コントローラを使用した、スケラブルなバイパス回路

ソリューションについて説明します。この回路は、ソーラー電力オプティマイザ、緊急遮断機能、PV ジャンクション ボックスなど、太陽光発電アプリケーションで広範囲の電圧をサポートするバイパス スイッチに関連する課題を解決します。

## ソーラー電力オプティマイザとは？

図 1 に、個々の PV パネルにソーラー電力オプティマイザを取り付けた PV システムを示します。

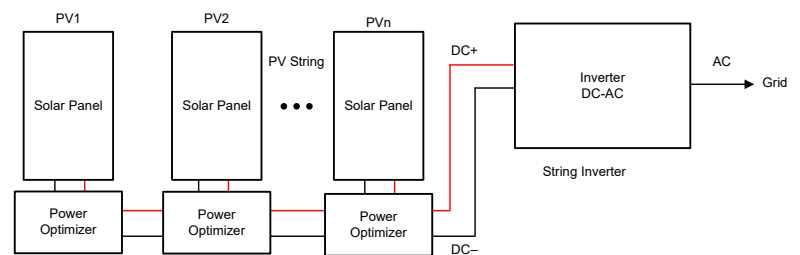


図 1. ソーラー電力オプティマイザを搭載した PV システム

電力オプティマイザは、マイクロ インバータとストリング インバータの中間の選択肢と考えることができます。マイクロ インバータのように個々のソーラーパネルに取り付けられますが、その機能は DC 電力を AC 電力に変換するものではありません。電力オプティマイザは、各ソーラー パネルの最大出力をリアルタイムで追跡し、出力電圧をインバータに送る前にレギュレートします。したがって、インバータはより多くの電力を処理することができます。その結果、太陽光に対す

る向きや日陰、1枚または複数枚のパネルの損傷に影響されることがなく、すべてのソーラーパネルで発電性能が最適化されます。各 PV パネルに電力オプティマイザを取り付けた太陽光発電システムは、個々のパネルにオプティマイザを使用しない太陽光発電システムと比較して、効率が 20%~30% 向上します。

## ソーラー電力オプティマイザの出力バイパス機能

大容量のソーラーインバータでは、複数の PV パネルを直列接続することで、インバータ入力に供給される高い DC 入力

電圧を実現できます。図 2 に示すように、オプティマイザを対応する PV パネルに配置すると、最も高い効率が得られます。PV スtring は、実際にはオプティマイザの出力によって接続されます。ソーラーパネルが 1 枚でも故障すると、すべての PV パネルが直列接続されているため、PV スtring 電圧が低下する可能性があります。出力バイパス回路により、損傷したオプティマイザの周囲を迂回する並列パスが String 電流に提供されます。図 2 に、いずれかの PV パネルが損傷した場合のバイパス機能の仕組みを示します。

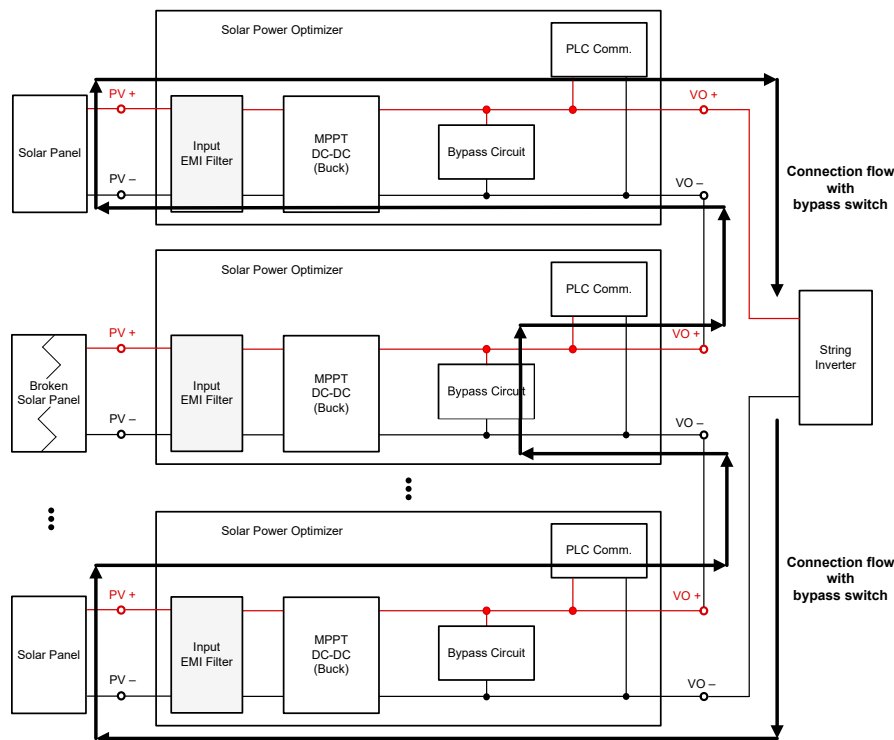


図 2. ソーラー電力オプティマイザの出力バイパス回路

## 出力バイパス回路のソリューション

通常、バイパス回路には 2 種類のソリューションがあります。図 3 に、P-N 接合ダイオードまたはショットキーダイオードを使用してバイパス機能を実現する一般的な方法を示します。低コストで使いやすく、選択したダイオードで非常に高い逆電圧を得ることができます。ただし、順方向電圧降下が高い (0.5V~1V) ため、電力損失が大きくなり、プリント基板が大型化するという欠点があります。バイパスダイオードソリューションの欠点を克服するためには、電圧降下が大幅に低く、電力損失が低い ( $R_{DS(on)}$  が低い) N チャネル MOSFET を使

用することが選択肢となります。ただし、次のような欠点もあります。

- MOSFET はスタンドアロンのソリューションではなく、スイッチとして動作させるために制御回路が必要で、通常は、ディスクリット MOSFET ドライバ回路を搭載したマイクロコントローラ (MCU) が使用されます。
- MCU は PV パネルからの電力を必要とするため、PV パネルがひどく損傷していたり、影や日陰で完全に覆われていたりする場合、MCU は動作せず、MOSFET はオンになりません。

- MCU が故障した場合、MOSFET はオンにできず、バイパスは MOSFET のボディ ダイオードを通ります。ただし、MOSFET のボディ ダイオードは大電流に耐えられず、高熱を蓄積して発火する危険性があります。

し、MOSFET のボディ ダイオードは大電流に耐えられず、高熱を蓄積して発火する危険性があります。

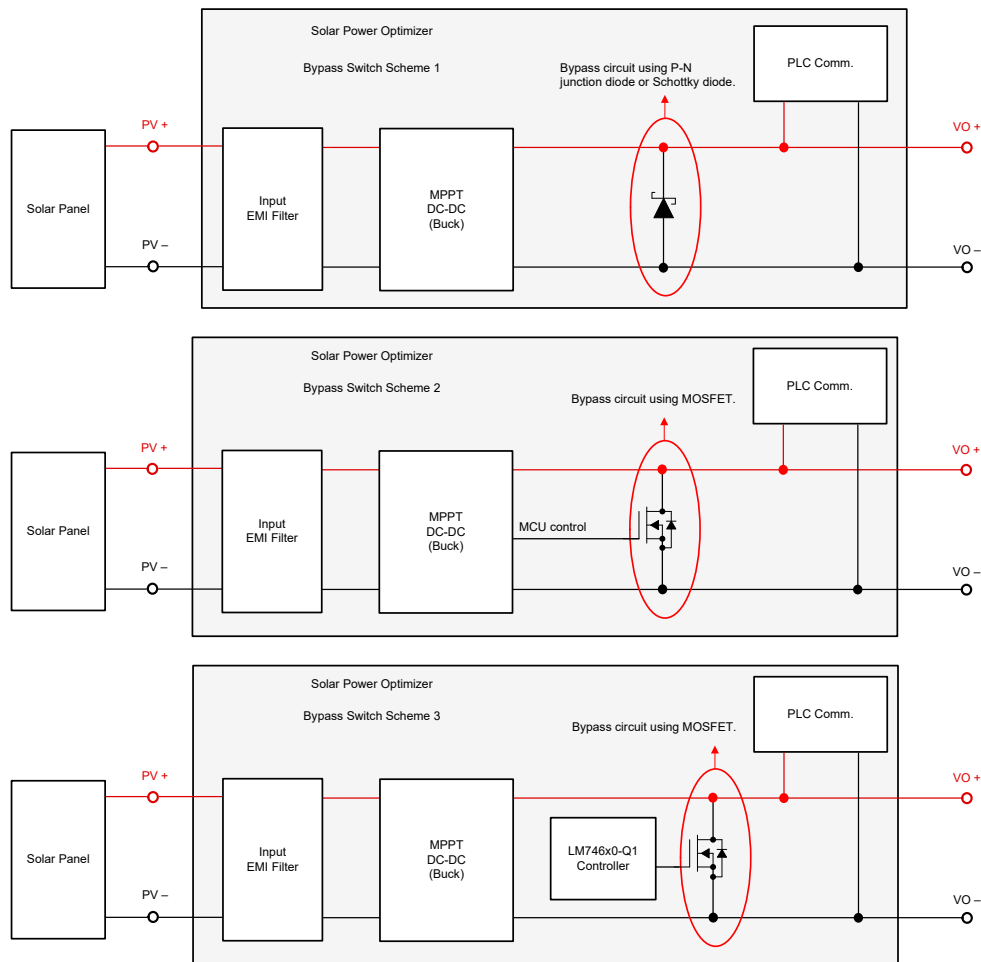


図3. ソーラー オプティマイザでバイパス スイッチを使用した場合の代表的なソリューション

MCU ベースのオン / オフ制御方式の欠点に対処するインテリジェントな方法としては、外部の介入なしで自律的に動作するスタンドアロンの MOSFET コントローラの使用が挙げられます。テキサス・インスツルメンツのフローティング ゲート理想ダイオード コントローラ、LM74610-Q1 ファミリーは、外付けの N チャンネル MOSFET を制御して直列ダイオードの動作をエミュレートすることで、スタンドアロンの低損失バイパス スイッチソリューションを実現しています。これらのコントローラはフローティング ゲートドライブ アーキテクチャを採用しており、MOSFET のボディ ダイオードの順方向電圧降下 (約 0.5V) と同程度の低い入力電圧で動作できます。

しかしながら、ソーラー インバータの電力レベルが高くなり、より高電圧の PV パネルの採用が増えるにつれて、バイパス

回路には従来のソリューションよりも優れたソリューションを実現するためのいくつかの要件が求められます。複数のプラットフォームで拡張性を持たせるために、20V~150V の PV パネル電圧で動作し、他の回路から独立していることが求められます。

## 低電圧の理想ダイオードコントローラを使用したスケラブルなバイパススイッチソリューション

バイパス回路ソリューションでは、フローティング ゲートドライブアーキテクチャを採用した理想ダイオードコントローラ (LM74610-Q1 など) を使用し、外付け MOSFET を駆動して理想ダイオードをバイパス回路としてエミュレートすることで、他の回路から独立させます。そのフローティング ゲートドライブアーキテクチャは、ゲートドライブがグランドを基準としないため、汎用入力範囲を実現できます。さらに、この方式には、グランドを基準としないために、静止電流がゼロであるという珍しい利点があります。

ソーラー パネルやソーラー機器が正常に動作している場合、バイパス MOSFET はオフになり、理想ダイオードコントローラのカソード ピンからアノード ピンにはパネルの最大電圧に等しい逆電圧が発生します。ただし、理想ダイオードコントローラのカソード ピンからアノード ピンへの逆電圧 (PV+ から PV-) は、PV パネルとストリングの過渡電圧として非常に高くなる可能性があります。PV パネルが非常に大きな入力電圧範囲で直列に使用される場合、バイパス回路の最大入力電圧範囲を設計するのは困難です。LM74610-Q1 の最大逆電圧は、45V の過渡電圧に制限されています。そのため、現在利用可能な理想ダイオードコントローラ デバイスは、定格入力電圧 80V または 125V のソーラー パネルには適していません。

図 4 に示すように、デプレッション型 MOSFET  $Q_D$  をセンスパスに追加して理想ダイオードコントローラの逆電圧範囲を拡張すると、この電圧レベルをどの範囲でも維持することができます。 $Q_D$  のドレインは出力 PV+ に接続されます。ソースは理想ダイオードコントローラのカソードに、ゲートは理想ダイオードコントローラのアノードに接続されます。

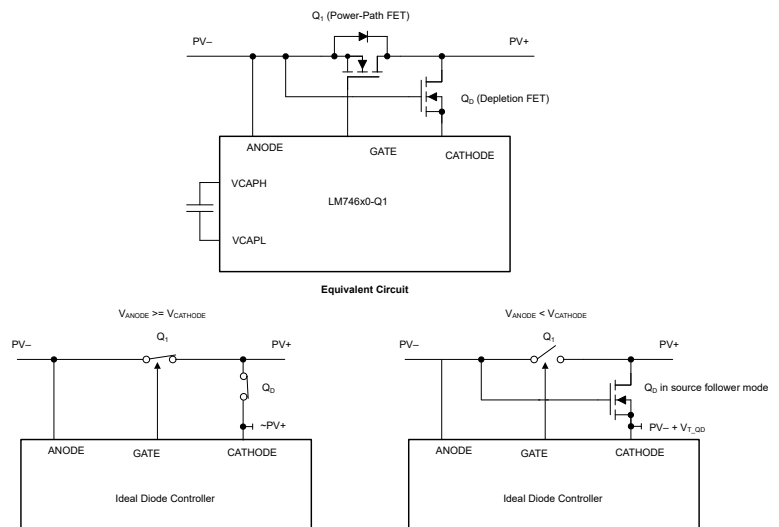


図 4. スケラブルなバイパススイッチソリューション

### LM74610-Q1 逆電圧範囲拡張の動作原理

ディプリーション モード MOSFET は、 $V_{GS}$  が MOSFET のスレッショルド電圧より高くなければならない拡張モード MOSFET とは異なり、MOSFET の  $V_{GS}$  が 0V のときにデフォルトでオンになります。ディプリーション MOSFET をオフにするには、 $V_{GS}$  が  $< 0V$  でなければなりません (一般的な範囲は  $-1V \sim -4V$ )。理想ダイオードセンスパスにおけるディプリーションモード MOSFET の影響を分析するために、以下の条件におけるデバイス動作について見てみましょう。

- $V_{PV-} > V_{PV+}$  の場合: 理想ダイオードコントローラは順方向条件モードで、パワー MOSFET  $Q_1$  とディプリーション FET  $Q_D$  の両方をオンに維持します。これらの動作条件では、出力電圧は  $V_{OUT} = V_{IN} - (I_{D,Q1} R_{DS(on),Q1})$  として計算され、 $V_{PV+}$  に近似します。
- $V_{PV-} < V_{PV+}$  の場合: 理想ダイオードコントローラは、MOSFET  $Q_1$  がオフで、逆電流がブロックされている状態です。MOSFET  $Q_D$  はソース フォロワとしてレギュレーションモードにあり、 $V_{CATHODE}$  を  $V_{ANODE}$  より高く維持します ( $V_{CATHODE} = V_{IN}(V_{ANODE}) + (V_{GSMAX})$ )。そのため、 $V_{CATHODE}$  から  $V_{ANODE}$  にかかる電圧は、 $Q_D$  の絶対最大定格  $V_{GSMAX}$  (通常は  $< 5V$ ) の範囲内であり、LM74610-Q1 の最大逆電圧 45V の過渡電圧よりもはるかに低くなっています。高い逆電圧 ( $V_{OUT} - V_{IN}$ ) は、 $Q_D$  と  $Q_1$  のドレイン - ソース間電圧 ( $V_{DS}$ ) によって維持されます。

ディブリーション MOSFET とパワー MOSFET を適切に選択するかどうかは、次のポイントによって決まります。

- $Q_1$  と  $Q_D$  の  $V_{DS}$  定格は、最大ピーク入力電圧よりも大きいものを選択します。
- パワー パス MOSFET の電力損失が最小になるように  $R_{DS(on)}$  を選択します。FET のドレイン電流 ( $I_D$ ) は、出力負荷が要求する最大ピーク電流よりも大きくなければなりません。全負荷電流時にパワー MOSFET の両端に 50mV ~ 100mV の電圧降下があるディブリーション MOSFET を選択することが、適切なスタートです。
- $R_{DS(on)}$  は 数百  $\Omega$  の範囲になる可能性があります (LM74610-Q1 のフローティング ゲートドライブ アーキテクチャは、カソード ピンのグラウンドに対するインピーダンスが大きく、コントローラの  $I_{CATHODE}$  はマイクロアンペアの範囲です)。

図 5 に、40V の LM74610-Q1 コントローラを使用した 60V バイパス スイッチ ソリューションのテスト結果を示します。

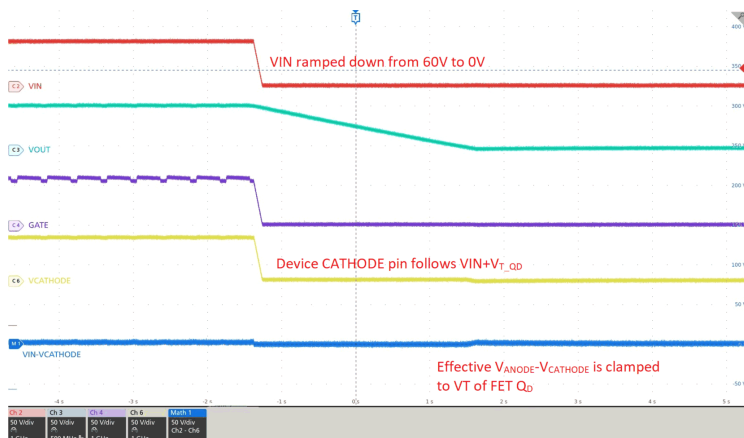


図 5. LM74610-Q1 とディブリーション MOSFET による 60V バイパス回路のテスト結果

適切にスケールされた MOSFET ( $Q_1$  と  $Q_D$ ) を使用すると、入力電圧範囲は FET の  $V_{DS}$  定格まで拡張できます。これにより、同じ低電圧コントローラを使用した高電圧設計が可能になります。また、入力電圧範囲を広げることは、エンター

プライズ、通信、電動工具、高電圧バッテリー管理の各アプリケーションにも有用です。

## まとめ

直列接続された PV パネルやソーラー機器が損傷したり故障したりした場合、ホットスポットや電圧供給の中断を避けるための設計が重要です。一般的にこれらは、ソーラー電力オプティマイザや緊急遮断機能が担っています。標準的な整流ダイオードやショットキー ダイオードは、損傷したパネルをバイパスする最も簡単なソリューションですが、熱効率が良くないのであまり推奨されません。N チャネル MOSFET を備えたフローティング ゲートの理想ダイオード コントローラは、バイパス スイッチ ソリューションに比べてスタンドアロンでの電力損失が少なく、さらにディブリーション MOSFET によるシステム回避策を追加することで、PV パネルの広い入力電圧範囲に対応できる完全にスケラブルなソリューションを提供します。

## その他の資料

- 『LM74610-Q1 ゼロ IQ 逆極性保護スマート ダイオード コントローラ データシート』

**重要なお知らせ:**ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 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](#) 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated