車載アプリケーションの冗長電源 — 優先切り替えの適切な実装

Björn Görner
Systems engineer, power design services

概要

車載アプリケーションの安全重視システムは、多くの場合、要求される車載安全性インテグリティ レベルを達成するために冗長電源に依存しています。自動運転専用に設計されたシステムは、あらゆる状況下で適切に機能しなければなりません。少なくとも車両が安全な状態を維持できる程度には機能する必要があります。冗長電源の場合、設計者は通常、OR 接続と優先切り替えの 2 つの実装のいずれかを使用します。どちらの実装もほぼ同じですが、適切に対処しないと問題を引き起こす可能性のある細かな点がいくつか存在します。

OR 接続と優先切り替えの違い

OR 接続アプリケーションは、2 つまたは複数の入力をダイオード、または理想ダイオード、あるいはシステム要件でより高い電力が必要な場合は OR コントローラで接続します。**図 1** に、このような OR 接続方式の代表的な実装を示します。この実装では、入力電圧のうち最も高い電圧が出力に供給されます。同じ入力電圧は、すべて比較的均等に負荷されます。

OR 接続アプローチは実装が簡単で、同じように使用可能な電源を供給するシステムに適しています。両方の電源の電圧レベルが近い場合、両方の電源が同時に負荷を受けるため、一方の電源から他方の電源への遷移は比較的スムーズに行われます。この実装では、一方または両方の電力源を接続解除する必要がない限り、双方向電界効果トランジスタ (FET) の使用はオプションです。

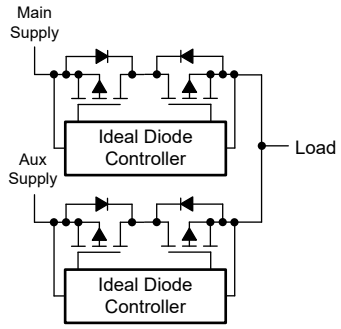


***図 1.** 入力 OR 接続*

強力な降圧コンバータを搭載した高電圧トラクション バッテリと、12V または 48V の小型補助バッテリを搭載した電気自動車の場合、標準的な OR 接続アプローチは適切ではない可能性があります。これは補助バッテリと充電回路の容量が少ないためです。どちらも緊急動作専用に設計されています。このような場合、優先切り替えアプローチにより、小型補助バッテリに不必要な負荷をかけることなく冗長性を実現します。

図 2 に示されているように、優先切り替えは、補助電源の理想ダイオード コントローラを経由して主電源を監視し、主電源が一定のスレッショルドを下回った場合にのみ、補助電源に切り替えます。理想ダイオード コントローラは過電圧保護機能をサポートする

必要があります。この機能を使用すると、主電源の低電圧イベントを検出できます。LM74900-Q1 デバイス ファミリは、過電圧保護機能を備えた理想ダイオード コントローラの例です。無効化されたソースから電流が流れるのを防止するために、このアプリケーションでは双方向 FET の使用が必須となります。

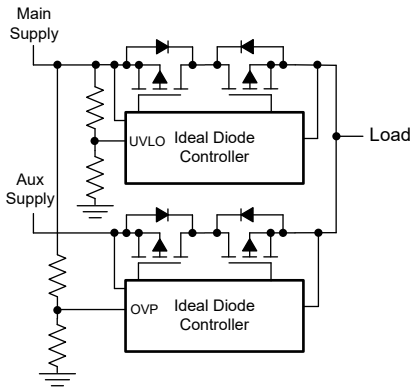


図 2. 優先切り替え

優先切り替えの詳細

一般に、OR 接続と優先切り替えに使用される回路は他の回路と特に違いはありませんが、優先切り替えの実装の動作にはある程度の注意を払う必要があります。

OR 接続ソリューションでは、両方のパワー パスの電圧がほぼ等しい場合に両方のパワー パスが有効化されるのに対し、優先切り替えアプローチでは、主要パワー パスの電圧が一定のスレッショルドを下回るまで、補助パワー パスは無効化された状態に維持されます。このスレッショルドに達すると、主要パワー パスが無効化され、補助パワー パスが有効になるため、一方の電源から他方の電源への突然の負荷シフトが発生し、両方の電源で突然の電圧ステップが発生します。このような急激な負荷シフトにより、多くの場合、主電源の電圧は一時的に急上昇した後、完全に低下します。しかし、これは最初の電圧低下を引き起こした障害の種類によって異なります。

補助電源は主電源の電圧に基づいて切り替わるため、電圧スパイクが発生するとシステムが 1 次側電源に切り替わり、1 次側電圧が即座に低下してシステムが補助電源に戻るという現象が発生します。その結果、2 つの電源間で制御されない発振が発生し、出力に大きなリップルが生じて、システムの機能が損なわれる可能性があります。各電源における電圧シフトの原因は、プリント基板パターン、配線、MOSFET のドレイン ― ソース間オン抵抗 ($R_{DS(on)}$) など、パワー パス内のすべての寄生抵抗とインダクタンスの合計です。

図 3 に、そうした動作の例を示します。1 次側電源の遮断時に、入力電圧が切り替えスレッショルドを下回るとすぐに短いバーストが発生します。**図 3** のチャネル 1 は補助電源の電圧、チャネル 3 は出力電圧を示しています。このシナリオでは、補助電源の電圧の値は 1 次側電源の電圧よりも低く、切り替えスレッショルドは補助電源の電圧レベルよりすぐ上に設定されています。

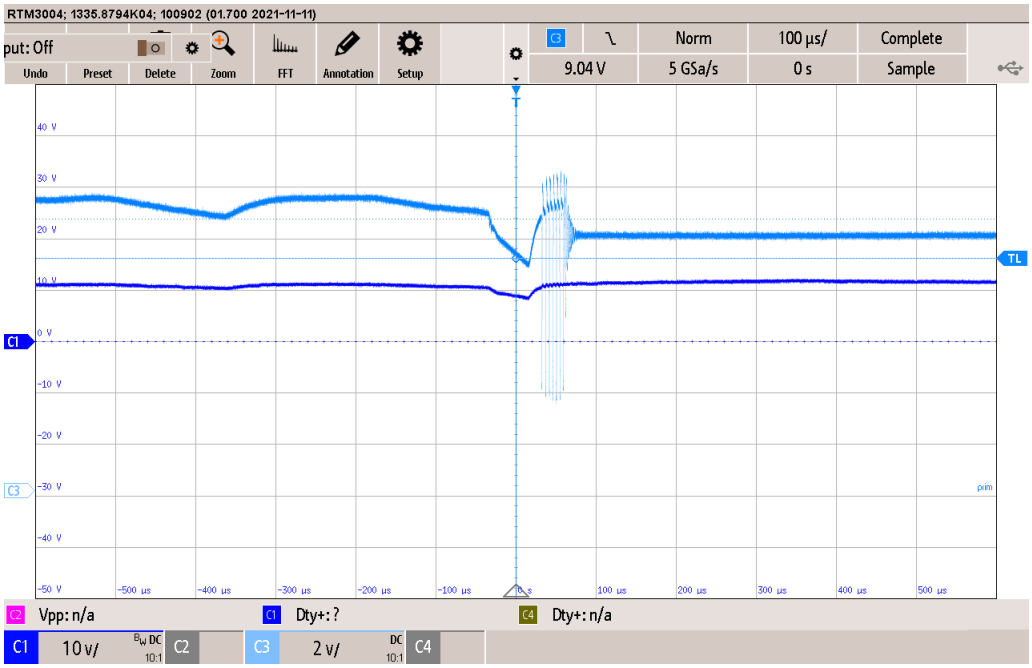


図 3. 優先切り替えシステムでの入力切り替え時の発振

主電源の電圧低下を引き起こす問題によっては、この発振が連続的に発生することもあります。たとえば、主電源ケーブルが部分的に損傷し、完全な遮断ではなく大きな電圧降下を引き起こしている場合などです。多くの場合、理想ダイオード コントローラに組み込まれたヒステリシスと、十分に高い入力容量を組み合わせることで、この動作を抑制できます。しかし、場合によっては、ヒステリシスだけでは不必要に大きな入力コンデンサを回避するのに十分ではない可能性があります。

内部ヒステリシスを変更することはできませんが、一部のデバイスでは、外部からヒステリシスを増加させる簡単な解決策があります。LM74910H-Q1 などの多くのデバイスにはフォルト出力があり、これを使用すると、最小限の部品数で外部ヒステリシスを追加できます。LM74910H-Q1 では、フォルト ピンは、過電圧状態やその他のフォルトが発生した場合に low にプルされるオープンドレイン出力です。この出力は外部トランジスタを制御することもでき、それによって過電圧入力に対する帰還分圧を変更することができます。図 4 に、代表的な実装を示します。

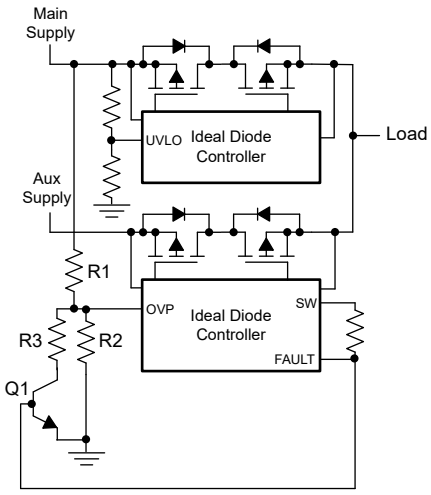


図 4. 外部ヒステリシス

フォルト出力はオープン ドレイン出力であるため、バイポーラ ジャンクション トランジスタをオンにするためにバイアス抵抗が必要になります。この抵抗は IC のソフトウェア ピンに接続されており、入力への切り替え可能な低電流パスを提供します。このパスは、システムがシャットダウンすると無効になり、静止電流を最小限に抑えます。

1 次側電源が切り替えスレッショルドを上回っている限り、補助コントローラは過電圧フォルト状態になり、パワー スイッチは無効になり、フォルト出力は Low になります。フォルト出力をプルダウンすると、トランジスタ Q1 が無効化されるため、過電圧入力用の帰還分圧は R1 と R2 のみで構成されます。その結果、両方の抵抗と切り替えスレッショルドの比で定義される過電圧帰還電圧が発生します。これは、**式 1** で表されます。

$$V_{ov_falling} = V_{sense_falling} \frac{R1}{R2} \quad (1)$$

1 次側電源電圧がこの過電圧スレッショルドを下回るとすぐに、フォルト出力は low に引き下げられなくなり、トランジスタがオンになり、R3 が R2 と並列に接続されて、過電圧入力に現れる電圧が低下します。**式 2** 次に、上昇スレッショルドの新しい値を示します。

$$V_{ov_rising} = V_{sense_rising} \frac{R1}{\frac{R2\ R3}{R2 + R3}} \quad (2)$$

R3 の値を変更すると、結果として生じるヒステリシスが簡単に調整されるため、設計の柔軟性が向上します。

まとめ

OR 接続と優先切り替え冗長電源ソリューションのどちらを選択するかは、システムの設計に左右されます。いずれの設計も同じ機能を提供しますが、実際のハードウェアに関しては、OR 接続の実装はそれほど重要ではありません。基板のインダクタンス、基板抵抗、パワー トランジスタの $R_{DS(on)}$、ケーブル抵抗などの寄生効果は、優先切り替え実装の切り替え動作に悪影響を与える可能性があります。場合によっては、コントローラの内部ヒステリシスで十分に寄生素子の影響を打ち消すことができますが、常にそうとは限りません。

この記事で紹介する回路は、最小限の部品数で外部ヒステリシスを追加するための簡単な回避策を示しています。唯一の要件はコントローラで、2 つの電圧レベルの切り替えに適した信号を提供します。このコントローラは、クリーンな切り替えに必要な電源入力の容量を低減するのに役立ち、システムの安定とコスト削減を実現できます。

著者について

電源設計サービス チームのメンバーである Björn Görner は車載アプリケーションを主に担当し、カスタム電源ソリューションおよびリファレンス デザインの設計に 8 年にわたって携わってきました。電力変換に関心を持つエンジニアの育成とサポートを目的としてテキサス インスツルメンツが隔年で実施している TI のパワー サプライ デザイン セミナーのプレゼンターを定期的に務めています。

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。

© 2026 Texas Instruments Incorporated

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ます。

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 、 TI の総合的な品質ガイドライン 、 ti.com または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。 TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月