

ホワイトペーパー

真のバックブースト・コントローラを使うことで、堅牢なバッテリー・バックアップ・システムで最大効率 99%が達成可能です

ルネサスエレクトロニクス株式会社 産業用アナログ・パワーグループ
 シニアプロダクトマーケティングマネージャー D.K. Singh
 主任エンジニアリングマネージャ David Zhan

2018年9月

概要

DC 電源バックアップアプリケーション向けの真の双方向バックブースト・アプローチ（双方向型電圧昇降圧制御方式）は、効率を最大限に高め、システム全体の信頼性を向上させます。また、このアプローチは、バッテリーの種類と現在状態に応じて、充放電レベルを必要に応じてプログラムできるため、バッテリー状態を最適化するのにも理想的な方式です。ルネサスエレクトロニクス社の高耐圧バックブーストファミリは、真のピーク電流検出機能と平均電流制限機能を備えているため、バッテリー駆動およびバッテリー・バックアップで包括的なソリューションを提供します。本書では、ルネサスの ISL81601 コントローラ・ファミリを使用して、完全ハード・ワイヤードでスタンドアロンのバックアップ・システムを安価に設計する方法について説明します。この手法は、バッテリーの使用率を向上させ、複雑な電流検出および充電回路を避けることによってコストを削減します。パラメトリック設定を、マイコンやホストベースのソリューションから動的変更することもできます。



はじめに

エネルギー貯蔵装置は、現代の持続可能なエネルギー革命の中核を成しており、急速に発達してきたバッテリー技術は、あらゆる産業に広がっています。リチウムイオン電池とスーパーキャパシタは、電気エネルギー貯蔵装置分野の2大主要デバイスで、現代社会に普及が進んでいます。複数の市場調査によれば、リチウムイオン電池の需要は今後7年間で2倍になると推定されています。同時に、スーパーキャ

パシタのようなタイプのエネルギー貯蔵装置の需要も増加しています。これらのエネルギー貯蔵装置の中で、シンプルな充電プロファイルで小型にできるものは、さらに電気エネルギー貯蔵応用の成長と普及を促進するでしょう。その結果、電源バックアップシステムの利用は、従来の重要なアプリケーションから、ドアベルシステムやセキュリティカメラなど従来対象としなかったアプリケーションにまで広がっています。これらのエネルギー貯蔵装置の利用は、鉛蓄電池が独壇場だった分野やアプリケーションにも浸透しています。一方、電気通信システム、インターネットホスティング、医療プロセス制御などの重要なアプリケーションのダウンタイムコストは非常に高価で、バックアップエネルギー源の付加を義務化することがほぼ必要になっています。

N + 1 構成による冗長性を採用すると、内部障害に対する何らかのバックアップが提供されますが、入力電源の障害による電力損失を補うことはできません。従来の交流型無停電・電源装置 (AC UPS) は、かなりの初期投資と必要以上の給電力を必要とするため無駄な電力が生じます。よって、AC UPS は複数の変換損失のために全体効率の低下を意味します。しかし、昨今のバッテリー技術の進歩により、DC UPS 分野の成長が加速してきました。

バッテリーを電源バックアップ源として使用するローカライズされたエネルギー源は、プライマリ・ソースに対してすぐれた費用対効果と高信頼の冗長機能を提供します。冗長機能用として、ローカライズされた DC 電源バックアップを持つことは、電力レベルを推定して負荷電流と正確に一致させることができるため、電力設計を最適化することに役立ちます。ハイエンドの産業機器システムでは、高精度が求められる電圧レールでのバックアップを提供するために、新しいエネルギーバッファリングのコンセプトとして使用されています。

一般的な電源バックアップシステムとその固有の問題

ごく一般的なバッテリー・バックアップ・システムは、バッテリーを中心に主電源が接続されていないときにバッテリー電源をシステムに送る放電回路や、DC 電源からバッテリーを充電回路などで構成されます。図 1 に一般的なバッテリー・バックアップ・システムを示します。一般に、入力電圧と出力電圧の差はゼロよりも大きく、これが低効率を生み出す多くの理由の 1 つです。

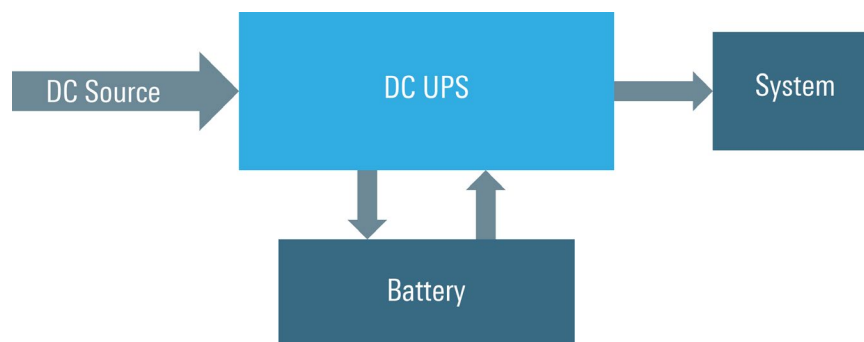


図 1 一般的なバッテリー・バックアップ・システム

図 2a は、バッテリー・バックアップ・システムの内部ブロックの一般的例です。

この方式は、バッテリーまたは他のエネルギー貯蔵システムがエネルギーを貯蔵するために使用されます。充電回路は電力供給源やバッテリー電圧により降圧または昇圧のいずれかになります。コストを節約するために充電用に簡単なリニアレギュレータを使用する場合があります。エネルギー源から負荷に電力を供給するための放電回路は、通常バッテリーの電圧をシステムが必要とする電圧に変換するバックコンバータです。ここで、システムエンジニアはシステムを正常動作させ安定した状態に保つには、いくつかの固有の問題を解決する必要があります。このシステムはかさばって複雑であり、多くの保護回路と共に能動動作する回路機能が必要です。回路の複雑化に伴い部品点数が増加し、システムの MTBF は小さくなります。このタイプのシステムのもう 1 つの問題は、電源と電源のラインにバッテリーがあることです。つまり、システムが動作しているときに、常にバッテリーも動作しています。このタイプの構成はバッテリー寿命に影響し、多くのバッテリータイプでは使用できません。

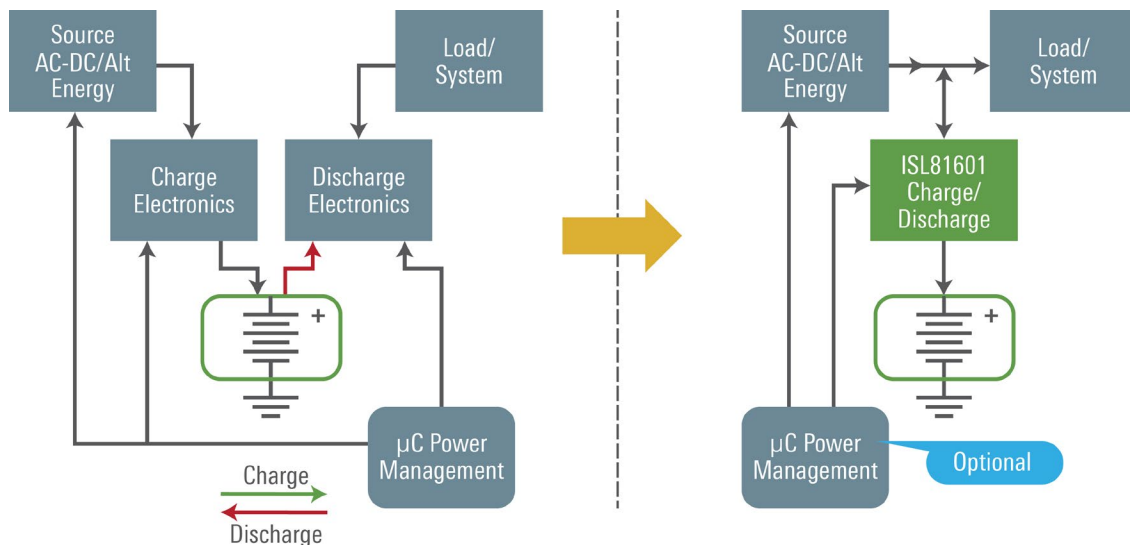


図 2a : 一般的なバッテリー・バック・アップシステム

図 2b : バッテリー・バックアップ・システムでの双方向デバイスによるアプローチ

効率の観点から図 2a のシステムを見ると、これらのタイプのシステムは、主に非理想的なデューティ・サイクルのために効率が低下する傾向があります（バックモードでは 100%未満、ブーストモードでは 0%以上）。もちろん、使用されるトポロジ、選択した部品、スイッチング周波数などが効率に影響を与える要因となりますが、VIN と Vout 電圧差が効率を最も悪化させます。一般に、他のすべての要素が一定であれば、効率は入力電圧と出力電圧間のギャップが増加するにつれて減少します。例えば、12V から 3.3V への電力変換は、12V から 5V への変換よりも効率が低下します。コンバータ効率における入力電圧と出力電圧の電圧差の影響は、以下のように説明することができます。降圧型コンバータの効率は、デューティ・サイクルとともに増加し、100%デューティ・サイクルでピークに達します。同様

に、昇圧型コンバータの効率は、デューティ・サイクルの減少とともに増加し、デューティ・サイクルが0%のときに最大になります。

DC 電源バックアップシステムに使うバックブースト回路アプローチでは、12V 等の入力電圧を使用して高電圧バッテリー（通常は 24V または 36V）を充電し、降圧型コンバータを使用してバッテリー電圧を 12V に戻します。これらのタイプのシステムも同様の問題を抱え、両方の変換において最適ではないデューティ・サイクルを使うために電力効率が悪くなります。

この明示的な効率問題を克服するために、設計者の中には、要求されるシステム電圧に近いバッテリーを使用して、より高いデューティ・サイクルのバックコンバータを適用することを提案しているものもあります。このバックブースト・アプローチでは、昇圧回路を使用してバッテリーをわずかに高い電圧に充電し、高いデューティ・サイクルで単純な降圧コンバータを使用して、高効率・低コストの電力部品でシステム電圧を供給します。しかしながら、上記アプローチは、バッテリー容量の利用率が低いために、次にあげる大きな欠点があります。このシステムでは、バッテリーはシステム電圧よりも低く放電することはできませんから、より大容量の電池が必要となります。このアプローチでは、バッテを常に高充電状態に維持しておく必要があり、バッテリー寿命全体に影響を及ぼすことを意味します。

要するに、これらのバッテリー・バックアップ・アプリケーション・アーキテクチャは、複雑・非効率・低信頼性の傾向にあると言えます。真の双方向型回路を実装することができれば、これらの問題を解決してシステム全体のパフォーマンスを向上させることができます。真の双方向型システムは、多くの複雑な問題を回避し、システムの信頼性を大幅に向上させることができます。図 2.b を参照してください。

バッテリー・バックアップ応用に向けた双方向型回路アプローチ

ISL81601 や ISL81401 などの双方向型コントローラを使用した真の双方向型回路アプローチは、DC 電源バックアップシステムやバッテリー駆動アプリケーションに多くの利点をもたらします。まず、充放電の複雑なアーキテクチャを 1 つの回路に統合することによって、設計を簡素化し、全体的な信頼性を向上させます。双方向型アプローチでは 1 つのインダクタしか必要ありませんが、別々の充電・放電回路は、2 つのインダクタが必要であることを意味します（双方向の効率を最大化するためにスイッチング・コンバータが使用されていると仮定します）。双方向方式において、同じ充放電回路が電流方向を変えて充電と放電の両方に対応します。双方向バックブースト・コントローラをベースのソリューションは、バッテリーや蓄電素子の電圧をシステム電圧に近づけることができるため、システム全体の電力効率を大幅に向上させます。バッテリーとシステム電圧がより近い電位になるので、コンバータは常に最大効率になるデューティ・サイクルで動作します。同時に、必要に応じてバッテリーをさらに深く放電させる機能も備えており、これによりバッテリー容量の利用率が向上します。

バックブースト・コンバータを基本とした設計では、バッテリー電圧と必要なシステム電圧を同電位に保つことができます。ここで克服できるもう 1 つのトレードオフがバッテリー状態です。この手法を使うことで、バッテリーの充電および放電レベルをバッテリーの状態に合わせてプログラムすることができます。

図 3 は、双方向動作のための簡単なセットアップです。DC 電源「A」は負荷「B」に接続され、また「A」は双方向バックブースト・コンバータ「C」を介してバッテリーに接続されています。

バッテリー電圧は、コンバータの電圧定格と一致するものであれば何でもかまいません。

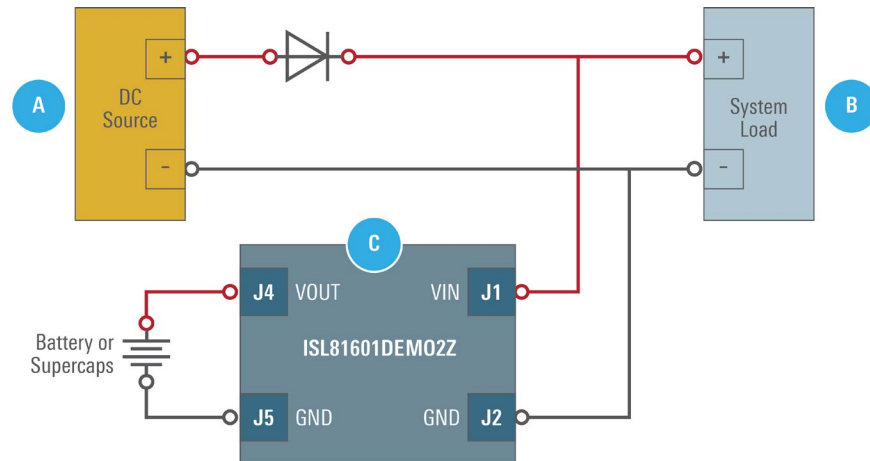


図 3. 双方向型コントローラ ISL81601 を使用したバッテリー・バックアップ・システム

ルネサス ISL81601/401 は、両端に独自のピーク電流検出とモニタリング機能を備えた真の双方向型バックブースト・コントローラです。これらのデバイスは、バックモード制御用のピーク電流変調機能とブーストモード制御用のバレー電流変調機能を使用します。これらのデバイスは、逆方向で動作しているときにシステムを保護するためにネガティブ・ピーク・インダクタ電流制限機能も備えています。電流の流れる方向は、ハード・ワイヤード設定または適切なインタフェース回路を備えたマイクロコントローラを介して変更できます。これにより、DC 電源のバックアップ設計がシンプルで効率的になり、サイズと部品のコストも大幅に削減されます。

図 4 にバックアップ動作波形を示します。簡単な方法で 12V のバッテリーのシミュレーションしたいので、テストボード上に出力コンデンサと調整可能な DC 電源を用意しました。DC 電源電圧を 18V から 9V に変更すると、バッテリーが給電を引継ぎ、必要な電流をシステムに供給し始めます。時間 T1 の直前に、電源電圧は 18V であり、負荷とバッテリーに給電しています。バッテリーが完全に充電されると、時間 T1 に電源が除去されます。T2 ではコンバータの設定値に達し、電流の向きを逆にしてバッテリーに放電させ、システム電圧が 9V を下回るのをくい止めます。T3 では、バッテリーが完全に使い尽くされ、バッテリーが完全に消耗して電源が切れます。この期間は、システムがシャットダウンするのに十分な時間となります。T2 で電源ソースが切り換わり、電流方向も顕著な外乱なしに変更されます。

これらのデバイスは、バックモード制御用のピーク電流変調機能とブーストモード制御用のバレー電流変調機能を利用します。このアーキテクチャにより、両方向の実際のピーク電流のモニタリングや測定をすることができます。

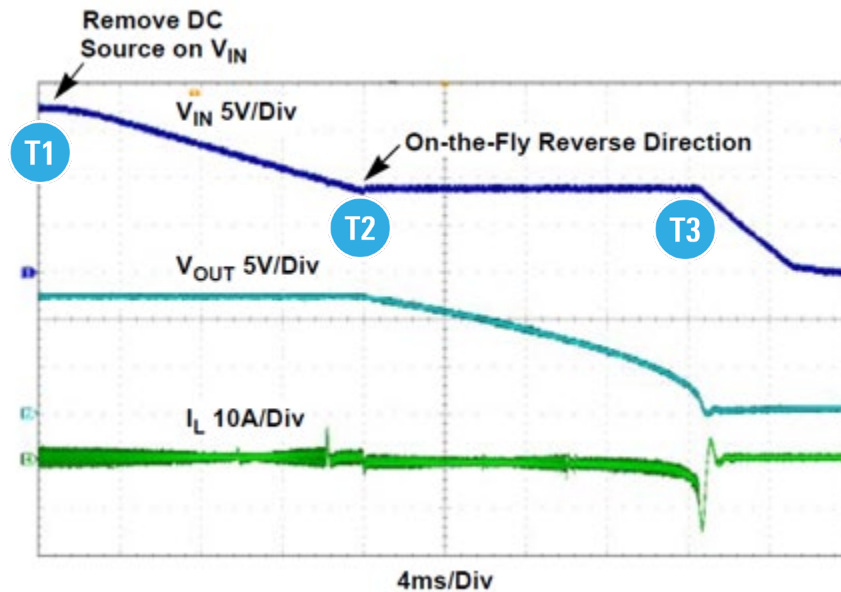


図 4. ISL81601/401 のオンザフライ双方向動作（受給動作電瞬変更）

ルネサス双方向型バックブースト・コントローラ

ルネサスは電力 IC のリーディングカンパニーであり、用途やお客様のニーズに応じて双方向および単方向のバックブースト・コントローラを備えています。

ルネサスエレクトロニクスの ISL81601/ISL81401 製品ファミリーは、真の双方向 4 スイッチバックブースト・コントローラで構成され、ディザリングや外部バイアスなどのコストと時間を節約する機能が魅力的です。独自のアーキテクチャにより、両端のピークインダクタ電流の監視や測定ができます。また、定電流制御やその他のシステム管理用の入・出力電流の両方を監視するための 2 つの電流モニタリングピンも備えています。このアーキテクチャの本質的な動作により、システムのいずれかの側の障害があっても、非常に堅牢な保護機能が提供されます。入出力電圧と入出力電流を制御する 4 つの独立した制御ループを備えています。これにより、設計者は入出力の電圧・電流設定を個別・完全に制御すること

ができ、通常は充電と放電が異なる速度で行われるため、DC 電源のバックアップアプリケーションに非常に役立ちます。

表 1. ルネサス高耐圧バックブースト・コントローラ・ファミリ

デバイス名	I 入力範囲	特徴	駆動電圧
ISL81601	4.5V~60V	Bidirectional	8V
ISL81401	4.5V~40V	Bidirectional	5.3V
ISL81401A	4.5V~40V	Unidirectional	5.3V

この製品ファミリの両端でのピーク電流検出とサイクルごとの電流制限機能により、入出力端子の両方が高速過渡状態にあっても瞬間的に電流制限を加えることにより、高い動作信頼性が保証されます。非常に低い電圧までの CC 動作は、過負荷または短絡時の暴走状態を回避します。図 5 はコントローラの CV/CC 制御を示します。

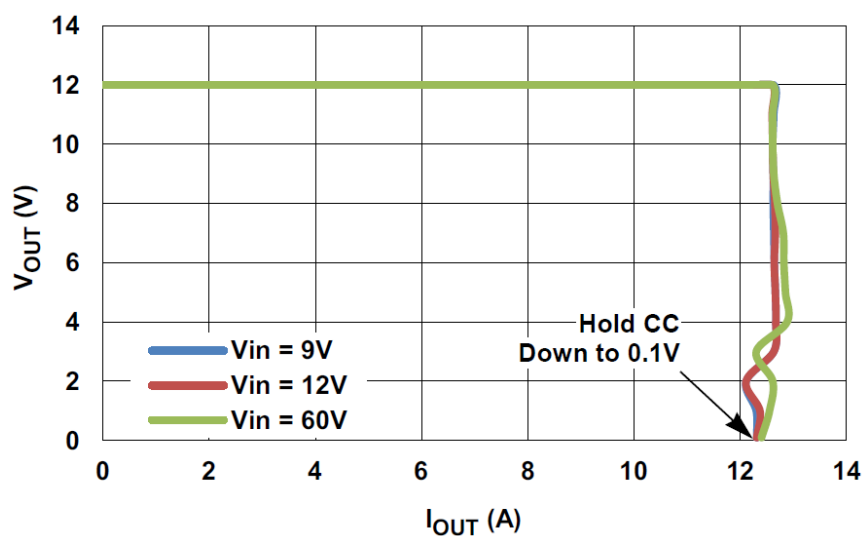


図 5. ISL81601/401 の定電流および電圧制御

この製品ファミリの両端でのピーク電流検出とサイクル毎電流制限機能により、入出力端子の両方が高速過渡状態であっても瞬時に電流制限を加えることにより、高い動作信頼性を保証します。非常に低い電圧までの CC 動作は、過負荷または短絡時の暴走状態を回避します。

ISL81601/401 はモード変換のためにデューティ・サイクルを連続的に計測・追跡し、バックブースト・モードでは 1 サイクル降圧・1 サイクル昇圧動作に移行します。図 5a は ISL81601 を使用した標準バックブースト回路を示し、図 5b はバックブースト・モード動作中の主要スイッチング波形を示します。

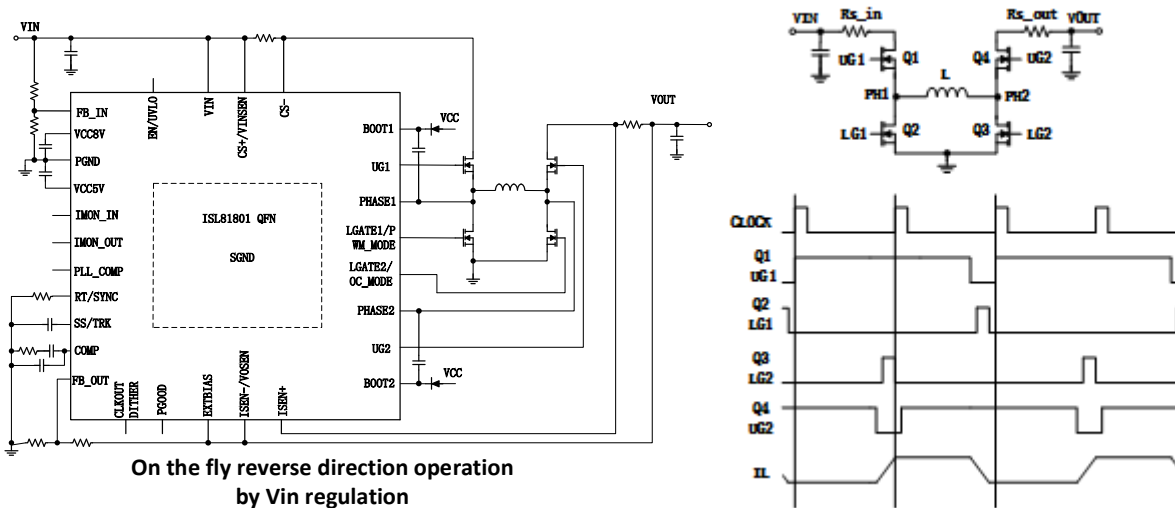


図 6. 双方向型バックブースト・コントローラ IS81601 の周辺回路とその波形

図内： Vin 制御によるオンザフライ逆方向動作

また、このアーキテクチャにより、各クロック信号でサイクルごとのバックブースト動作の変化が保証され、その結果、バックブースト・モード動作中の安定（ロバスト）制御が可能になります。図 6 のインダクタ電流波形に注目してください。その周波数はクロック周波数の半分であり、その結果、効率が向上します。図 7 は、スーパーキャパシタを使用した 12V 100W 設計の効率%を示しています。

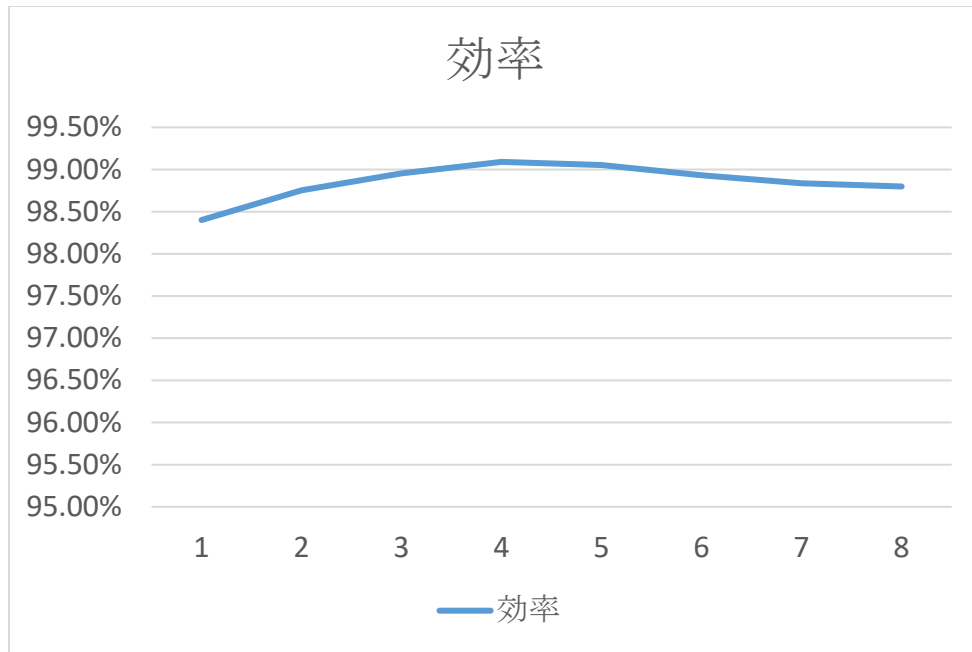


図 7. スーパーキャパシタの使用個数と 12V 100W DC 電源バックアップシステムの効率の関係

この製品ファミリのその他の特長は次のとおりです。

- 高耐圧動作 - 現市場で使用されているほとんどのバッテリー電圧をカバー
- 双方向動作 - 専有面積と全体的なコスト削減
- 独自の変調方式 - 最低レベルのリップルとスムーズなモード遷移
- 動的変更 - μC フレンドリー
- 定電流および定電圧動作、バッテリー充電をサポートし、多数の外付け部品を排除
- 多重過電流保護 - 堅牢動作
- 外部バイアス - 電力損失を最小限化し効率を向上
- 軽負荷時モード (Light-load efficiency モード) - 効率が向上し、より長いバッテリー寿命を実現
- 広範な障害保護 - 堅牢で信頼性の高い運用
- 周波数同期 - 一般的な周波数動作、EMI の低減
- 周波数ディザリング - EMI の低減
- 入出力電流モニタリング - 優れたシステム制御
- カレント・シェアリング (電流共有) とカスケード・インターリーブ - スケーラブルデザイン

ルネサスの設計ツール

評価ボード/ユーザーガイド

ISL81601 では、お客様のテストと評価用に評価ボードと詳細なユーザーガイドを用意しています。評価ボードの写真を図 8 に示します。追加の詳細は次のリンクから入手できます。

<https://www.renesas.com/products/software-tools/boards-and-kits.html>

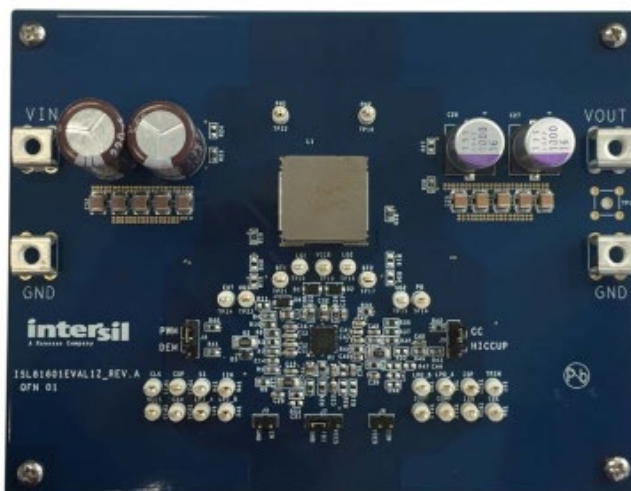


図 8. ISL81601 評価ボードの外観

PowerCompass™ Multi-load Configurator

PowerCompass ツールは、ユーザーが特定の要件に合った部品を迅速に特定し、複数のレールを設定し、高度なシステム分析を実行し、カスタム参照デザインファイルを生成するのに役立ちます。このツールは、Web アプリケーションとして利用しますが、オフラインで作業することもできます。詳しい手順やビデオチュートリアルはオンラインで閲覧でき、ユーザーが簡単に使い始めるのに役立ちます。

<https://www.intersil.com/powercompass/editor.html#/?k=swxoll>

iSim™ Design and Simulation Tool

ルネサスは使いやすいインタラクティブなパワーマネジメントとオペアンプ設計ツールである「iSim」と呼ばれるウェブベースの電源シミュレーションツールを提供しています。iSim を使用すると、サポートされているコンポーネントを迅速に選択し、回路とシステムを設計・シミュレーションできます。詳しい手順やビデオチュートリアルはオンラインで閲覧でき、簡単に使い始めることができます。

<https://www.renesas.com/products/isim.html>

その他のリソース

ルネサスが提供するその他のオンラインリソースについては、www.renesas.com をご覧ください。

©2018 ルネサスエレクトロニクスアメリカ社 (REA) が全著作権を所有。すべての商標および商号は、それぞれの所有者のものであります。 REA は、ここに記載されている情報は、与えられたときに正確であったと考えていますが、その品質や使用に関してはリスクはないと考えています。すべての情報は、商品性、特定の目的への適合性、非侵害性などを問わず、明示的、黙示的、法的、または取引、使用方法、または貿易実務から生じるいかなる保証もなく、現状のまま提供されます。 REA は、たとえそのような損害の可能性について知らされていたとしても、ここに記載された情報の使用または信頼に起因する直接的、間接的、特別、派生的、付随的、またはその他の損害について一切の責任を負うものではありません。 REA は、予告なしに製品を中止したり、製品の設計または仕様またはその他の情報を変更する権利を留保します。すべてのコンテンツは、米国および国際著作権法によって保護されています。ルネサスエレクトロニクス社の事前の書面による許可なく、本資料のいかなる部分も複製、転載することはできません。お客様またはユーザーは、この資料のいずれかの公的または商業目的での修正、配布、公開、送信、または派生物の作成を許可されていません。