

バックブースト型バッテリーチャージャを用いた USB-C 電源アーキテクチャの最適化

概要

USB Type-C®と USB Power Delivery (USB-PD).3.1 の急速な普及により、モバイル コンピューティング システムにおける電力供給のあり方は大きく変わりました。Extended Power Range(EPR)により最大 240W(48V/5A) まで対応可能となったことで、USB-C は高性能ノート PC や各種周辺機器への給電にも対応できるようになっています。本書では、従来の NVDC バックブースト型充電アーキテクチャを概説するとともに、RAA489800 双方向バックブースト コントローラとバッテリーチャージャ IC(RAA489110 / RAA489118 など)を組み合わせ、ルネサスのソリューションを紹介します。これらのソリューションは、Hybrid Power Buck-Boost(HPBB)動作を可能にし、マルチポート USB-C 設計における効率、柔軟性、およびシステム拡張性の向上に貢献します。

目次

概要	1
はじめに	2
従来の NVDC バックブースト型充電トポロジ	2
Hybrid Power Buck-Boost(HPBB)アーキテクチャ	4
ルネサス RAA489110「Combo」バックブースト バッテリーチャージャのご紹介	5
ルネサスの設計支援ツール	8
結論	9
参考資料	9
改訂履歴	9

はじめに

USB Type-C[®]インターフェースは、USB Implementers Forum^[1] (USB-IF)によって標準化された規格であり、特にノート PC やタブレットなどのモバイル コンピューティング プラットフォームにおいて、電力供給と接続性を大きく変革しています。従来の設計では、外部電源アダプタ用として専用 DC 入力ポートを備え、バッテリーチャージャ IC がバッテリー充電とシステム電源制御の両方を管理していました。

近年では、電源、データ、映像の各機能を USB Type-C[®]ポートと USB Power Delivery(USB-PD)を採用することで統合する流れが加速しています。固定 5V 動作に制限されていた従来の USB インターフェースとは異なり、USB-PD は広範囲で動的かつプログラマブルな電圧ネゴシエーションが可能になります。USB-PD 3.1 では Extended Power Range(EPR)にも対応し、5V~48V、最大 5A、すなわち最大 240W の電力供給をサポートできます。さらに、きめ細かな電圧制御を可能にする Programmable Power Supply(PPS)、柔軟なソース/シンク切り替えを可能にする双方向電力フロー、シームレスな電源切り替えを実現する Fast Role Swap(FRS)といった高度な機能も導入しています。これらの機能により、1つの USB-C ポートで高性能コンピューティング機器、外部ディスプレイ、各種アクセサリへ効率よく給電できるようになります。

その結果、USB Type-C[®]は既存の充電インターフェースに急速に取って代わりつつあり、標準規格に基づく統一的な電源アーキテクチャによって、システム設計の簡素化とユーザー体験の向上を実現しています。一方で、この進化により、より高い電力、より広い電圧範囲、そしてマルチポート構成に対応できる、より高度な電力管理ソリューションも求められるようになっていきます。

従来の NVDC バックブースト型充電トポロジ

この USB-C プロトコルでは、バッテリー充電システムに対して、バッテリーパック電圧やシステムバス電圧を下回る場合も上回る場合もある、広い可変入力電圧(V_{in})が供給されます。そのため、バックブースト型充電器が最も適した選択肢となります。図 1 は、従来の Narrow Voltage DC(NVDC) 4 スイッチ バックブースト型充電トポロジの簡略図を示しています。この NVDC 充電器は、バックブースト型充電器を構成する 4 つのスイッチング FET と、バッテリーとシステム電圧バス V_{sys} の間に配置された 1 つの BFET で構成されます。バックブースト型充電器の入力は、独自仕様の AC アダプタまたは USB-C ポートのいずれからでも供給できます。

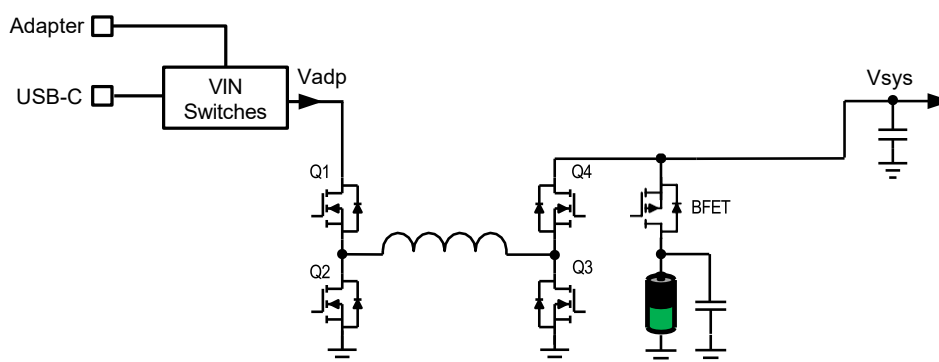


図 1. USB-C 向け従来型 NVDC バックブースト型充電トポロジ

図 2 は、入力電源からの電力経路を示しています。このモードでは、3つの動作シナリオがあります。

- i. バッテリーが満充電の場合、バックブースト型充電器は、BFET をオフにします。この場合、バックブースト型充電器は V_{sys} を所望の電圧に調整して、システムへ電力を供給します。
- ii. バッテリーが満充電でなく、バックブースト型充電器がバッテリーを充電している場合、BFET はオンになります。トリクル充電モードでは、BFET は飽和領域で動作してリニアレギュレータ(LDO)のように振る舞い、 V_{sys} は目標電圧に制御されます。充電器が CC または CV モードで、BFET が完全にオンとなっている場合、(BFET による電圧降下はないものと仮定すると) V_{sys} は V_{bat} と等しくなります。このとき、入力電力がシステム電力を上回ることを前提とすると、入力電力 = システム電力 + バッテリー充電電力になります。
- iii. バッテリーが充電状態にあるかどうかにかかわらず、システム電力が入力電力を上回ると、 V_{sys} で電圧降下が起こります。一般に、 $V_{sys} < V_{bat} - V_{drop}$ (ここで V_{drop} はボディダイオードの電圧降下を表し、一般的には約 0.7V) になると BFET は導通します。あるいは、より高度な制御を用いることで、BFET をより早くオンすることで V_{sys} をサポートすることも可能です。いずれの場合も、バッテリーは放電し、その電力が入力電力と合成されてシステムに供給されます。

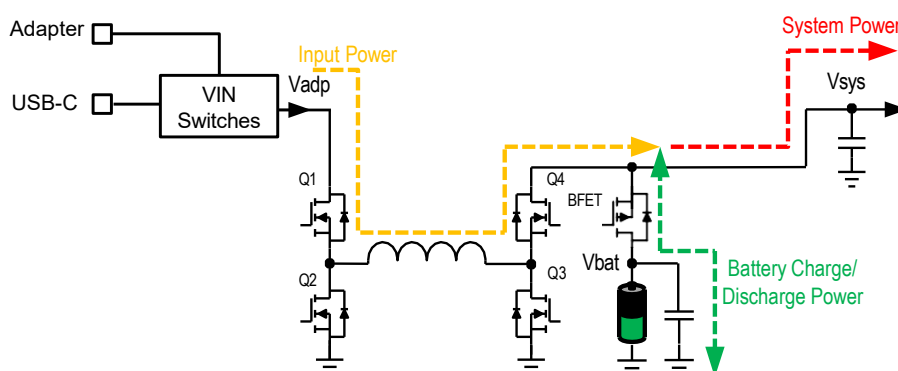


図 2. 入力電源を含む NVDC バックブースト型充電の電力経路

図 3 は、バッテリーのみで動作する場合の電力経路を示しています。このモードでは、BFET が強制的にオンとなり、バッテリーが常にシステムへ電力を供給するため、前述のモードより比較的単純です。このとき V_{sys} は V_{bat} に等しくなります。

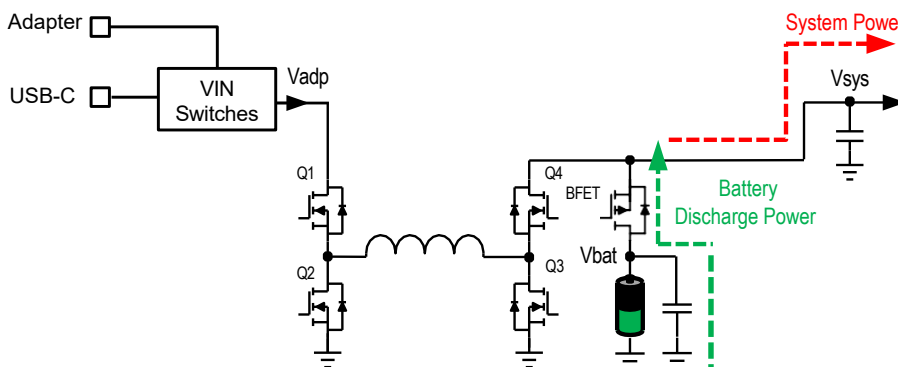


図 3. バッテリー動作時の NVDC バックブースト型充電の電力経路

NVDC 構成の典型的な特徴の 1 つは、すべての電力がバックブースト型充電器を通して処理されるため、MOSFET のスイッチング損失・導通損失、インダクタのコア損失、銅損失などによる電力損失は避けられないことです。インダクタは、システム全体の電力に加えて充電電力も扱えるような適切なサイズにする必要があります、その結果として大型化しやすくなります。このため、NVDC 構成は一般に 60W 以下の比較的低電力システムで推奨されます。一方で、NVDC 構成の利点は制御方式が比較的シンプルであることです。システムがターボモードに入り、システム電力がアダプタ電力を上回る場合でも、充電器はアダプタ電流制御以外の複雑な制御を必ずしも必要としません。バッテリーは BFET を介して自然に放電され、自動的にシステムを補助します。

Hybrid Power Buck-Boost(HPBB)アーキテクチャ

図 4 は、新しい HPBB バッテリー充電器構成を示しています。このモードでは、入力電力はバックブースト型充電器を経由する代わりに、バイパス FET を経由して流れます。そのため、NVDC モードと比べて電力損失を大幅に低減できます。バックブースト型充電器が処理するのはバッテリーの充放電電力のみであり、この構成では大きなインダクタを必要としません。

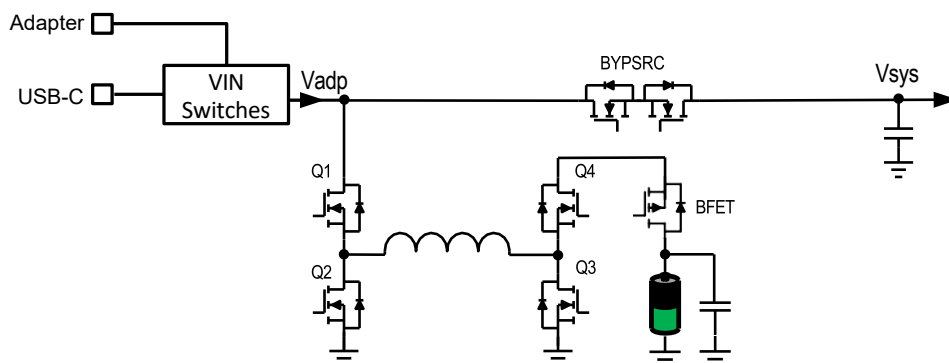


図 4. ルネサス HPBB バックブースト型充電器構成

入力電源が存在する場合には、2つの動作シナリオがあります。

- i. 入力電力 > システム電力：この条件では、バックブースト型充電器はシステムへ電力を供給しません。バッテリーパックが満充電であればスタンバイモードとなり、そうでなければバッテリーを充電します。図 5 は、このシナリオにおける HPBB モードの電力経路を示しています。

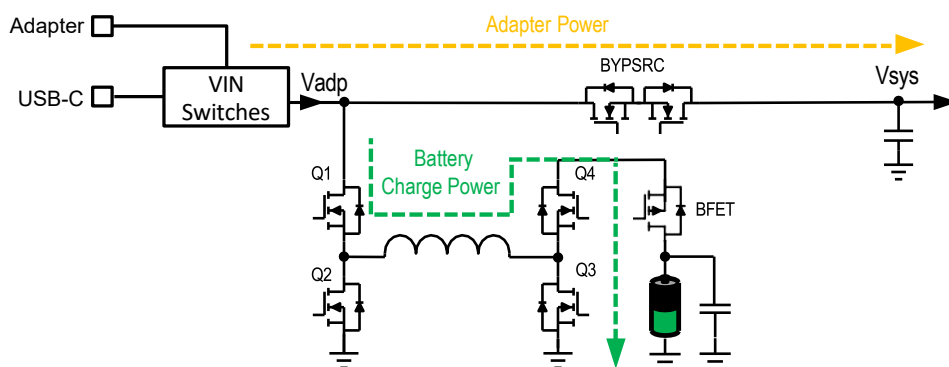


図 5. HPB モードにおける電力経路（入力電力 > システム電力）

- ii. 入力電力 < システム電力：この条件では、バッテリーは放電する必要があり、バックブースト型充電器は逆方向動作によってバッテリーから V_{adp} 側へエネルギーを送り出します。バッテリー電力は入力電力と組み合わせられ、システム電力へ供給されます。このモードは「Reverse Turbo-Boost」モードとも呼ばれ、図 6 にその電力経路を示します。

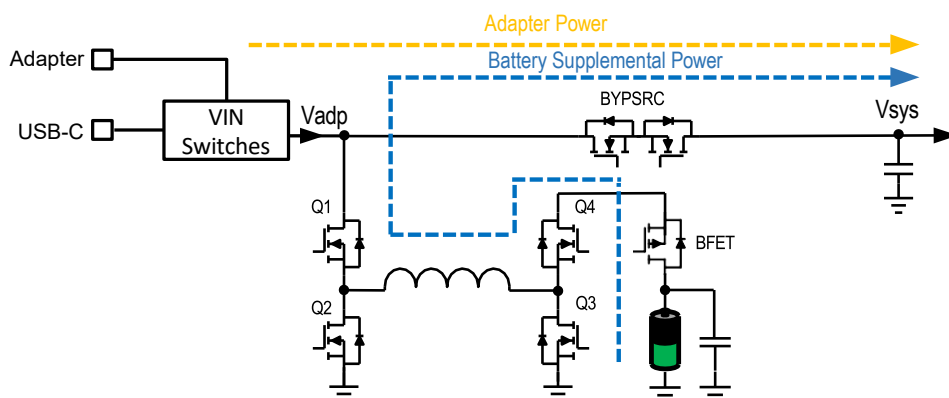


図 6. 「Reverse Turbo-Boost」モードにおけるルネサスバックブースト型充電器

ルネサス RAA489110^[2]バックブースト バッテリーチャージャのご紹介

RAA489110 は、ISL9241 ファミリーをベースとしたルネサスの次世代バックブースト チャージャです。NVDC 構成と HPBB 構成の両方に対応しており、USB Type-C 電源アプリケーションにおいて高い柔軟性と最適化された性能を提供します。

NVDC モードでは、RAA489110 はシステム電力の供給源として、アダプタまたはバッテリーを自動的に選択します。また、NVDC 動作のターボモード時には、BGATE FET をオンにしてアダプタ電流を設定上限に制御し、不足分の電力をバッテリーが供給することで動作を継続できます。

HPBB モードでは、RAA489110 はバイパス動作、充電を伴うバイパス動作、Reverse Turbo-Boost モードなど、さまざまな動作条件に対応します。

HPBB と NVDC の両構成に対応することで、RAA489110 は、システム設計の柔軟性を高め、システム全体の性能向上に貢献します。これら 2 つの動作モードは、組み込みシステムコントローラ(EC)のホストファームウェアにより、SMBus/I2C 経由で動的に設定でき、AC アダプタや USB Power Delivery ポート入力(EPR を含む)など、異なる電源条件にシームレスに適応できます。

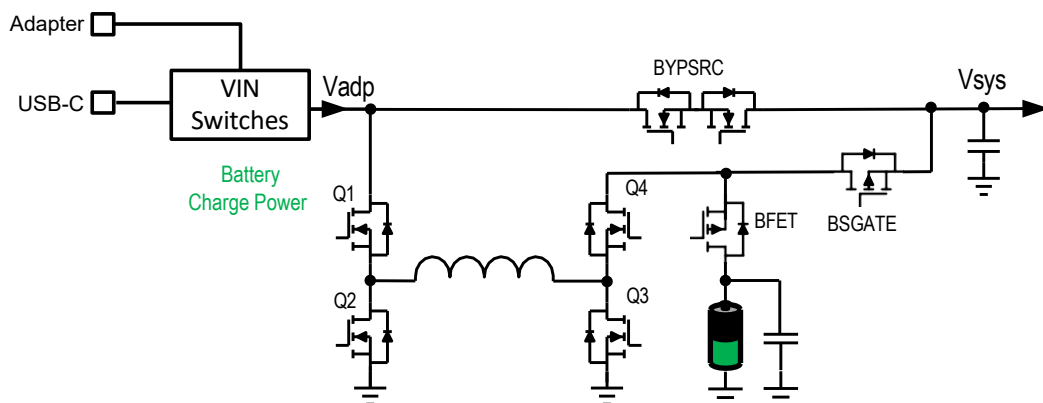


図7. NVDC と HPBB の両構成に対応する RAA489110 バックブーストチャージャ

RAA489110 は、効率向上と BOM コスト最適化のため、NFET のみを用いて充電機能、システムバス電圧制御、および保護機能を実現します。さらに、ルネサス独自の先進的な R3™テクノロジーにより、軽負荷時でも高効率な充電モードを提供します。加えて、再構成可能な制御および補償アーキテクチャにより、より小型のインダクタを使用しながら、複数の電力レベルにわたって効率を最適化できます。

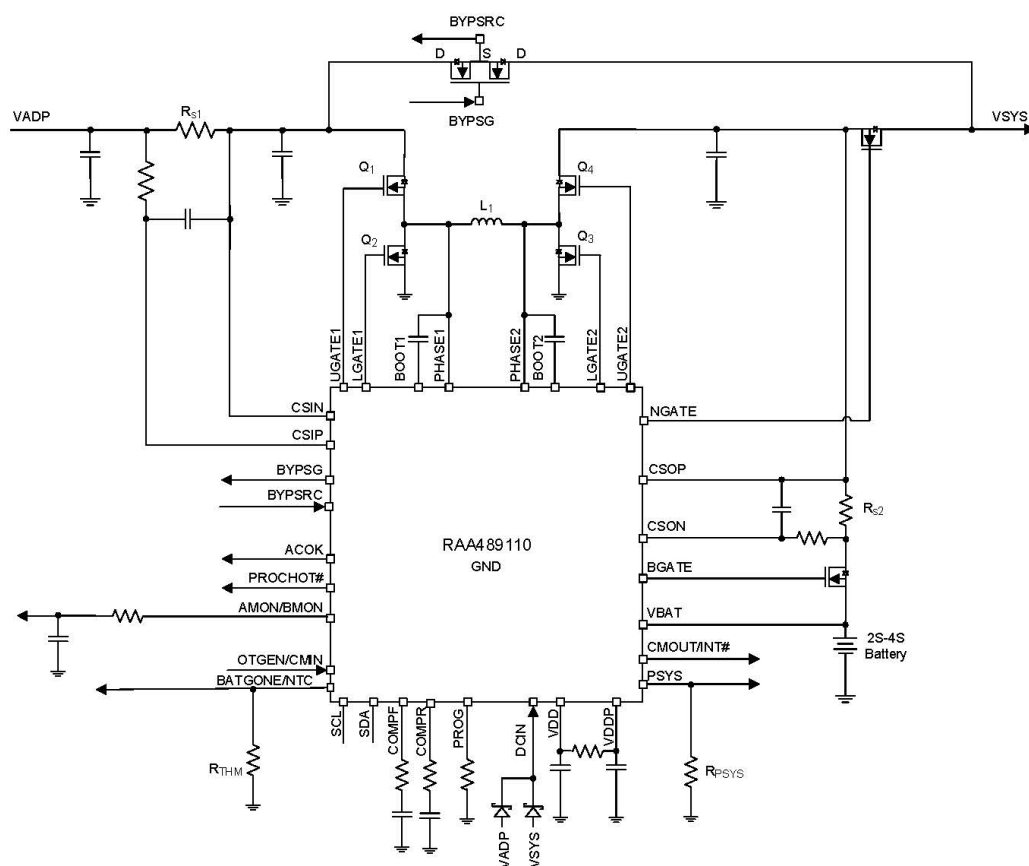


図8. RAA489110 バックブーストチャージャの代表的なアプリケーション回路図

RAA489110 は、幅広い DC 電源(従来型アダプタ、トラベルアダプタ、USB Type-C 電源ポートなど)から入力電力を受け、最大 4 直列の Li-ion バッテリーパックを安全に充電できます。また、自動充電終了(EOC)機能を備えた自律充電機能に対応しています。HPBB モードでは、ファームウェア制御によるバイパス動作により、アダプタが直接システムへ電力を供給できます。

RAA489110 は、2~4 直列セルのバッテリーパックからアダプタポートに対する降圧、昇圧、または昇降圧動作もサポートします。これにより、Programmable Power Supply(PPS)や Extended Power Range(EPR)を含む USB Type-C Power Delivery(USB-PD)出力構成に対応できます。RAA489110 は、バッテリーのみ、アダプタのみ、または両方接続された状態で動作可能であり、システム電力はアダプタ、バッテリー、またはその両方から供給できます。Intel IMVP 準拠システム向けには、プラットフォーム全体の電力をアナログ信号として出力する System Power(PSYS)モニタを搭載しています。PSYS 出力は、さまざまな IMVP コアレギュレータと接続可能で、IMVP 準拠の電源ドメイン構成をサポートします。また、processor-hot (PROCHOT#)モニタと Supplemental Mode に対応しており、バッテリー電圧を所定の最低値以上に維持することで、Intel の Vmin Adaptive Protection(VAP)要件を満たします。さらに、SMBus/I2C シリアル通信に対応しており、主要パラメータを柔軟に設定できるため、高いカスタマイズ性を備えたソリューションを実現できます。

RAA489110 は動作状態を常時監視し、障害や警告を割り込みで通知します。内蔵の 8 ビット ADC により、温度(PCB およびジャンクション)、アダプタ電流/電圧、バッテリー充放電電流、システムバス電圧など、主要なシステムパラメータのテレメトリ取得が可能です。

RAA489110 の再構成可能な充電アーキテクチャは高い柔軟性を備えており、複数の USB Type-C ポートを持つ設計を含む幅広いシステム構成に対応できます。通常、各デバイスは 1 つの USB-C ポートで使用されますが、適切なシステムレベル設計により、マルチポート USB-C システムにも組み込むことが可能です。RAA489110 は、Programmable Power Supply(PPS)および Extended Power Range(EPR)を含む USB Power Delivery(USB-PD)をサポートし、規格準拠かつ拡張性の高い USB-C 電源ソリューションを実現します。

RAA489110 の入力電圧範囲は 3.9V~30V、システム/バッテリー出力電圧範囲は 2~4 直列セルのバッテリーパックに対して 3.9V~18.304V です。最大 20V の出力に対応する On-The-Go(OTG)動作をサポートし、組み込みコントローラとの通信なしに、自動充電終了(EOC)による自律充電を行うよう構成できます。バッテリー残量が少ない場合には、自動検出によりトリクル充電モードへ移行します。また、プログラム可能な 2 段階アダプタ電流制限機能をサポートし、バッテリー残量計を校正するための battery learn mode も備えています。SMBus または I2C 経由で各種機能を設定できるため、さまざまなシステム設計に合わせた最適化が可能です。

ルネサスの設計支援ツール

評価ボード／ユーザーガイド

RAA489110 向けには、お客様による試験・評価のための評価ボードと詳細なユーザーガイドが用意されています。図 9 に評価ボードの外観を示します。

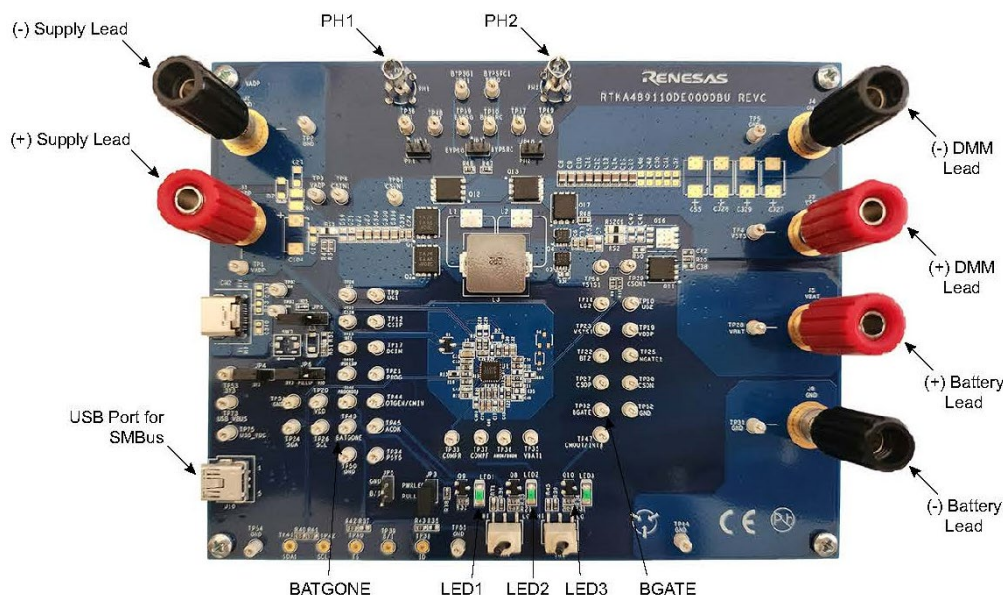


図9. RAA489110 評価ボード

RAA489110 GUI

ルネサスが提供する RAA489110 GUI ソフトウェアは、バッテリーチャージャ設計の立ち上げ、評価、仕上げ、およびデバッグを加速します。開発ボードに接続して、さまざまなシステムパラメータやしきい値を設定できます。図 10 に、RAA489110 GUI ソフトウェア画面の例を示します。

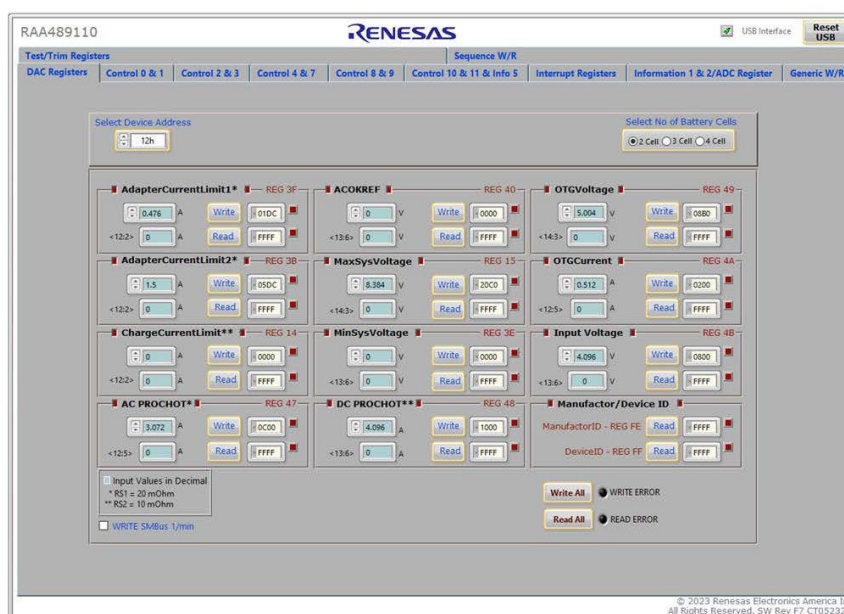


図10. RAA489110 GUI のスクリーンショット

追加資料

ルネサスが提供するバッテリーチャージャ設計向けのその他のオンライン資料は、以下をご参照ください。

<https://www.renesas.com/ja/products/power-management/battery-management/battery-charger-ics>

結論

本ホワイトペーパーでは、ノート PC などの民生向けモバイル コンピューティング機器に適した最新のバッテリー充電トポロジとその動作原理を概説しました。バッテリーチャージャは、バッテリーパックを充電するだけでなく、アダプタからコンピューティング システムへの電力フロー全体を管理するため、モバイル機器の電力管理において極めて重要な役割を担います。コンピューティング システムでは、バッテリーチャージャは組み込みコントローラ(EC)などのシステム管理コンポーネントと連携しながら、システムの電力要求に効率よく応える必要があります。RAA489110 は NVDC と HPBB の両構成に対応することで高い柔軟性を提供し、設計者が用途に応じて最適な動作モードを動的に選択できるようにします。また、ISL9241 ファミリなど既存のルネサス製チャージャとのレジスタ互換性が高く、異なるルネサス製チャージャ プラットフォーム間で設計を移行する際の開発負荷を低減できます。さらに、NVDC ベースの設計向けに開発されたファームウェアも、最小限の変更で HPBB 動作に適用できるため、複数のコンピューティング プラットフォームへの展開時における開発および検証工数の削減に寄与します。

参考資料

- [1] USB Implementers Forum www.usb.org
- [2] Renesas RAA489110 <https://www.renesas.com/ja/products/RAA489110>

改訂履歴

版数	日付	説明
2.00	Jun 19, 2026	USB規格関連と製品情報を更新
1.00	Oct, 2018	初版

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

RENESAS ELECTRONICS CORPORATION AND ITS SUBSIDIARIES ("RENESAS") PROVIDES TECHNICAL SPECIFICATIONS AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD-PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for developers who are designing with Renesas products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate products for your application, (2) designing, validating, and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. Renesas grants you permission to use these resources only to develop an application that uses Renesas products. Other reproduction or use of these resources is strictly prohibited. No license is granted to any other Renesas intellectual property or to any third-party intellectual property. Renesas disclaims responsibility for, and you will fully indemnify Renesas and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, or liabilities arising from your use of these resources. Renesas' products are provided only subject to Renesas' Terms and Conditions of Sale or other applicable terms agreed to in writing. No use of any Renesas resources expands or otherwise alters any applicable warranties or warranty disclaimers for these products.

(Disclaimer Rev.1.01)

Corporate Headquarters

TOYOSU FORESIA, 3-2-24 Toyosu,
Koto-ku, Tokyo 135-0061, Japan
www.renesas.com

Contact Information

For further information on a product, technology, the most up-to-date version of a document, or your nearest sales office, please visit www.renesas.com/contact-us/.

Trademarks

Renesas and the Renesas logo are trademarks of Renesas Electronics Corporation. All trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.