

Application Note

ディスクリート型アクティブ セル バランス (ACB) 設計



Jiemo Zhu, Will Tai

概要

バッテリーとセル間の不均衡によって容量と寿命が低下する問題に対応するため、本稿では、スイッチ マトリクスと絶縁型 DC/DC コンバータを組み合わせたアクティブ バランス方式を紹介します。この方式により、セル間バランスを実現すると同時に、モジュール間のバランスも可能になります。

目次

1 はじめに.....2

2 ディスクリート Topo の比較.....2

3 TI Design リファレンス デザイン.....4

4 主なデバイス.....5

    4.1 TXE8124.....5

    4.2 MSPM03507.....5

    4.3 ISO6741.....5

    4.4 UCC33010.....5

    4.5 LM51561.....6

5 シミュレーション結果.....6

6 まとめ.....6

7 参考資料.....6

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 はじめに

各バッテリー間には容量や内部抵抗の違いがあり、さらに時間の経過、サイクル数の増加、温度や湿度の差など、さまざまな要因も影響します。これにより個々の差がさらに顕著になり、特にリン酸鉄リチウム電池ではその特性の違いがより際立ちます。バッテリーを直列で使用する場合、充電および放電電流が等しく、充放電量も同じであっても、大容量のバッテリーが満充電にならなかったり十分に活用できなかったり、逆に小容量のバッテリーがオーバーシュートまたは過放電になるおそれがあります。その結果、バッテリーの容量を十分に活用できなかったり、寿命が大幅に短くなったりするため、すべてのバッテリーを安全に使用し、最大限に活用するには、直列接続時に各バッテリーの電圧を均等化する必要があります。

そのため、スイッチングマトリクスとコンバータを利用してモジュール間のバランスを取ることができる能動的バランストポロジを構築する、ディスクリート構成のアクティブ バランス設計が提案されています。

## 2 ディスクリート Topo の比較

通常、ディスクリート アクティブ セル バランシングには以下のトポロジがあります: スイッチ キャパシタ方式

1. フライング コンデンサ方式
2. インダクタンス エネルギー蓄積方式
3. トランス方式
4. スイッチ マトリクス方式を使用する DC/DC コンバータ

これらの中でも、スイッチングマトリクスを備えた DC/DC コンバータ方式は柔軟性が高く、任意のセル間でエネルギーを転送できるうえ、モジュール間のバランスも実現できる点で優れています。また、モジュール式设计によりメンテナンスも容易です。

次に、回路の動作モードを分析するために、2 種類の充電回路モードと放電回路モードを例として使用します。

cell2 の充電を例にすると、PWM2、PWM3、そして PWMB をオンにします:

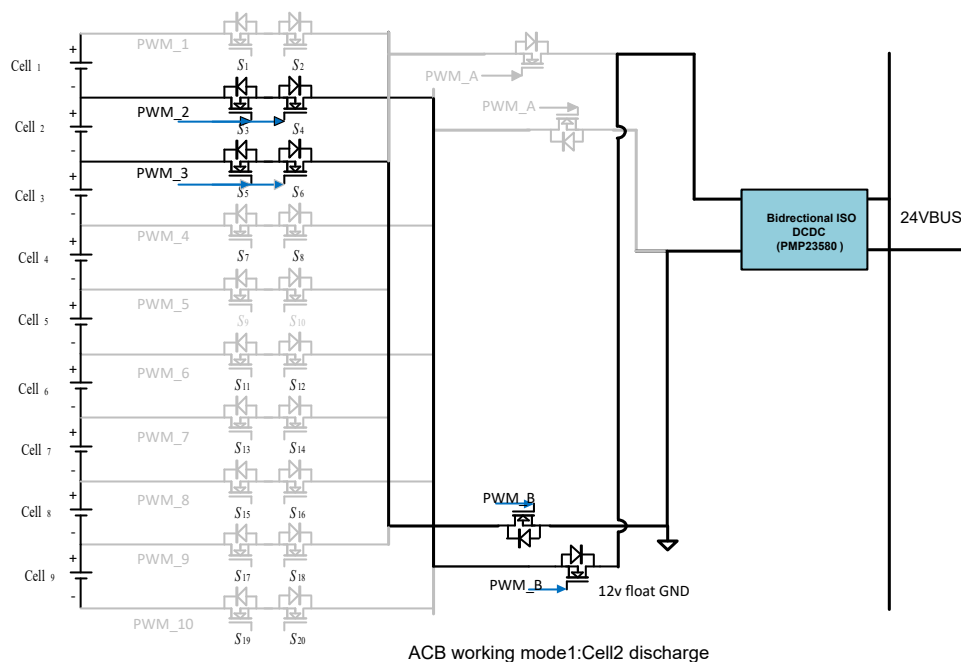


図 2-1. ACB 作業モード 1: Cell2 放電

cell9 放電を例にします。PWM9、PWM10、PWMA をオンにします。図 2-2 に、充電経路を示します。双方向 DC/DC は昇圧モードで動作し、バッテリーセルからバスに過剰な電圧を転送します。

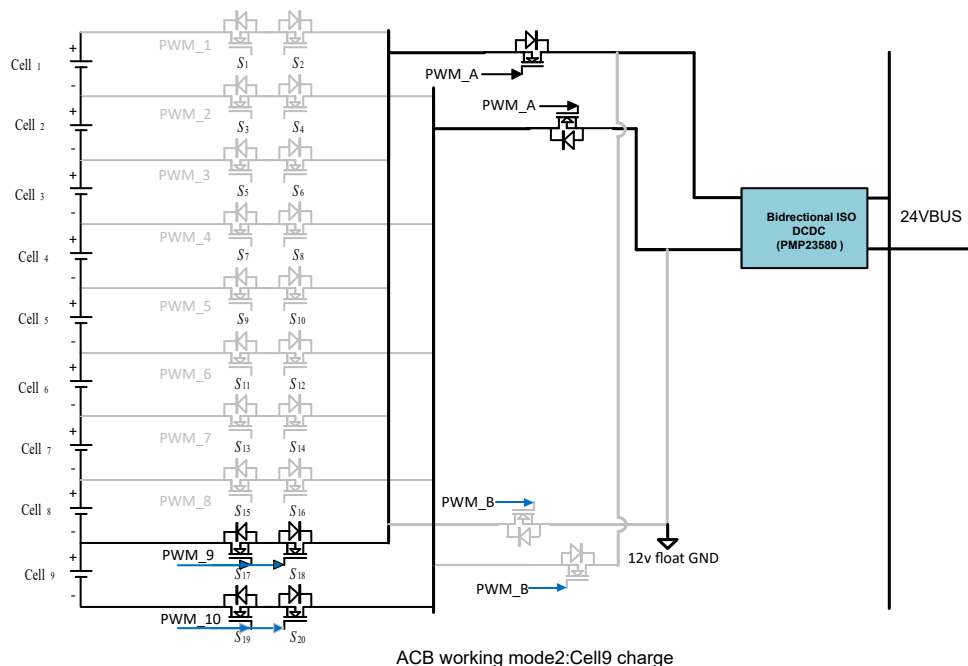


図 2-2. ACB 作業モード 2: Cell9 充電

充電スイッチと放電スイッチの状態に基づいて、次の動作モード表が得られます。双方向 DC/DC は降圧モードで動作し、24V バスから低電圧のセルにエネルギーを転送します。

表 2-1. ディスクリート ACB 制御論理表

| ステータス | セル | チャネル  |
|-------|----|-------|
| 充電    | 奇数 | PWM_A |
|       | 偶数 | PWM_B |
| 放電    | 奇数 | PWM_B |
|       | 偶数 | PWM_A |

### 3 TI Design リファレンス デザイン

高電圧バスはフライバックコンバータを使用して、高電圧バスから 24V の低電圧バスに変換します。PMP23580 は双方向の 3.0 ~ 4.2VDC から 18 ~ 36VDC への変換を実現しており、充電時には最大 82.3%、放電時には最大 86.2% のピーク効率を達成します。電源レールは 2 つの経路で設計されており、1 つは非絶縁タイプで MCU に電力を供給し、もう一つは絶縁タイプでトランジスタのドライブ回路に電力を供給します。ドライブ回路は、PNP と NPN の組み合わせを使用して、前面の双方向 MOSFET を駆動します。同時に、この回路は複数のモジュール間のバランシングを実現することができます。モジュール内の 1 つのセルを放電または充電する際には、バス電圧のバランスを保つために、別のモジュール内の対応するセルを充電または放電するように選択する必要があります。24V バスは他のバスシステムと共用することができます。TI は、バス電圧制御の基準値を実際の 24V よりわずかに高く設定することを推奨しています。これは、バランス動作中に他のバッテリーからのエネルギー回収を確認し、フライバック回路からのエネルギー抽出を防ぐためです。

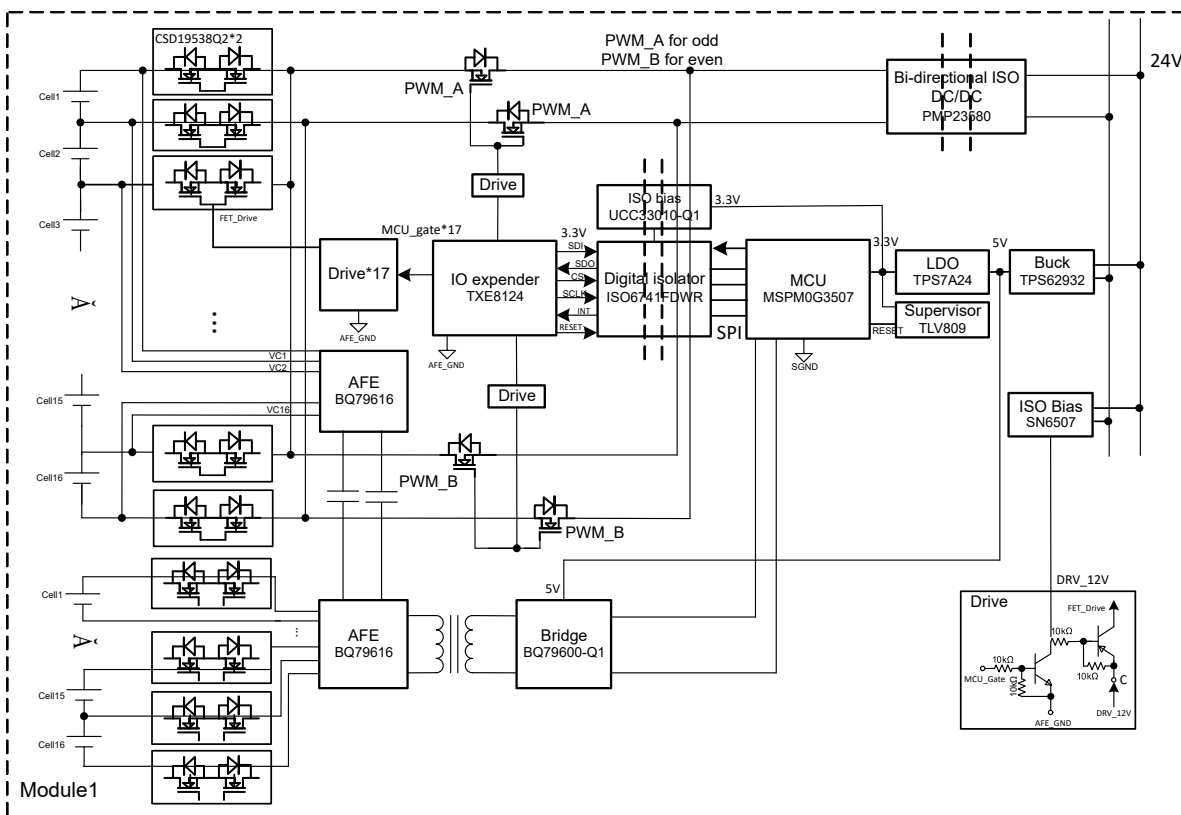


図 3-1. ディスクリート ACB システム ブロック図

## 4 主なデバイス

### 4.1 TXE8124

TXE81xx-Q1 デバイスは、4 線式シリアル ペリフェラル インターフェイス (SPI) プロトコル用の汎用パラレル入出力 (I/O) 拡張を提供し、1.62V ~ 5.5V VCC 動作用に設計されています。

このデバイスは、3.3V ~ 5.5V で 10MHz、1.62V ~ 5.5V で 5MHz をサポートしています。TXE81xx-Q1 をはじめとする I/O エクスパンダは、スイッチ、センサ、プッシュ ボタン、LED、ファンなどに I/O を追加する必要がある場合に、簡単なデザインとして使用できます。

TXE81xx-Q1 デバイスには、速度、消費電力、EMI の観点から I/O 性能を向上させるように設計された追加機能を備えた I/O ポートがあります。追加機能としては、プログラム可能なプルアップ抵抗およびプルダウン抵抗、ラッチ可能な入力、マスカブル割り込み、割り込みステータスレジスタ、プログラム可能なオープンドレインまたはプッシュプル出力、およびウォッチドッグ イベントの状況におけるフェイルセーフ レジスタ モードがあります。

### 4.2 MSPM03507

MSPM0G350x マイクロコントローラ (MCU) は、最大 80MHz の周波数で動作する拡張 Arm® Cortex®-M0+ 32 ビット コア プラットフォームをベースにした、MSP 高集積超低消費電力 32 ビット MCU ファミリーに含まれます。コスト最適化されたこれらの MCU は高性能アナログ ペリフェラルを統合しており、-40°C ~ 125°C の拡張温度範囲をサポートし、1.62V ~ 3.6V の電源電圧で動作します。MSPM0G350x デバイスは、エラー訂正コード (ECC) を内蔵した最大 128KB の組み込みフラッシュ プログラム メモリと、ハードウェア パリティ オプション付きの最大 32KB の SRAM を搭載しています。また、メモリ保護ユニット、7 チャンネル DMA、演算アクセラレータに加えて、2 つの 12 ビット 4Msps ADC、構成可能な内部共有電圧リファレンス、1 つの 12 ビット 1Msps DAC、リファレンス DAC を内蔵した 3 つの高速コンパレータ、ゲインをプログラム可能な 2 つのゼロドリフト ゼロクロスオーバー オペアンプ、1 つの汎用アンプなど各種の高性能アナログ ペリフェラルも内蔵しています。これらのデバイスは、2 つの 16 ビット高度制御タイマ、5 つの汎用タイマ (QEI インターフェイス用の 1 つの 16 ビット汎用タイマ、STANDBY モード用の 2 つの 16 ビット汎用タイマ、1 つの 32 ビット汎用タイマ)、2 つのウィンドウ付きウォッチドッグ タイマ、アラームとカレンダー モードを備えた 1 つの RTC など、インテリジェントなデジタル ペリフェラルも搭載しています。これらのデバイスは、データ整合性と暗号化ペリフェラル (AES、CRC、TRNG)、および拡張通信インターフェイス (4 つの UART、2 つの I2C、2 つの SPI、CAN 2.0/FD) を備えています。TI の MSPM0 低消費電力 MCU ファミリーは、アナログおよびデジタル機能の統合度が異なる複数のデバイスで構成されており、ユーザはプロジェクト要件に最適な MCU を選択できます。MSPM0 MCU ファミリーは、ARM Cortex-M0+ プラットフォームと包括的な超低消費電力のシステムアーキテクチャを組み合わせたもので、システム設計者は性能向上と消費電力低減を同時に実現できます。

### 4.3 ISO6741

ISO674x- デバイスは、UL 1577 準拠の最大 5000VRMS の絶縁定格を必要とするコスト重視のアプリケーションに理想的な高性能クワッド チャネル デジタル アイソレータです。これらのデバイスは VDE、TUV、CSA、CQC の認定も受けています。ISO674x デバイスは、CMOS または LVCMOS デジタル I/O を絶縁しながら、低消費電力で高い電磁気耐性と低い放射を実現します。各絶縁チャネルは、テキサス・インスツルメンツの二酸化ケイ素 (SiO2) の二重容量性絶縁バリアで分離された、ロジック入力および出力バッファを備えています。このデバイスにはイネーブル ピンがあり、対応する出力を高インピーダンスに移行して、マルチマスタ駆動アプリケーションに使用できます。ISO6740 デバイスは 4 チャネルすべてが同じ方向であり、ISO6741 デバイスには 3 つの順方向チャネルと 1 つの逆方向チャネル、ISO6742 デバイスには 2 つの順方向チャネルと 2 つの逆方向チャネルがあります。入力電力または入力信号が失われた場合のデフォルト出力は、接尾辞 F のないデバイスでは High、接尾辞 F のあるデバイスでは Low です。詳細はデバイスの機能モードを参照してください。

### 4.4 UCC33010

UCC33410 は、トランス技術を内蔵し、1W の絶縁出力電力を供給するように設計された、産業用 DC/DC パワーモジュールです。UCC33410 は、入力電圧範囲 4.5V~5.5V に対応し、3.3V の出力電圧を調整できます。また、3.7V のヘッドルームを選択して動作させることも可能です。UCC33410 は独自のトランス アーキテクチャを採用しており、3kVRMS の絶縁耐圧を実現すると同時に、低 EMI と優れた負荷レギュレーションを両立しています。UCC33410 には、故障通知メカニズム付きのイネーブル ピン、短絡保護、サーマル シャットダウンなど、システムの堅牢性を向上させる保護機能が内

蔵されています。UCC33410 は、高さ 1mm、沿面距離および空間距離 4.1mm 超の小型低プロファイル設計の VSON (4.0mm × 5.00mm) パッケージで供給されます。

## 4.5 LM51561

LM5156x (LM5156 と LM51561) デバイスは、広い入力電圧範囲に対応した非同期昇圧コントローラであり、ピーク電流制御モードを使用しています。このデバイスは、昇圧、SEPIC、フライバックのトポロジで使用可能です。LM5156x デバイスは、BIAS ピンが VCC ピンに接続されている場合、最小 2.97V の 1 セル バッテリーで起動できます。このデバイスは、BIAS ピンの電圧が 3.5V を超えている場合、入力電源電圧が 1.5V まで低下しても動作可能です。

## 5 シミュレーション結果

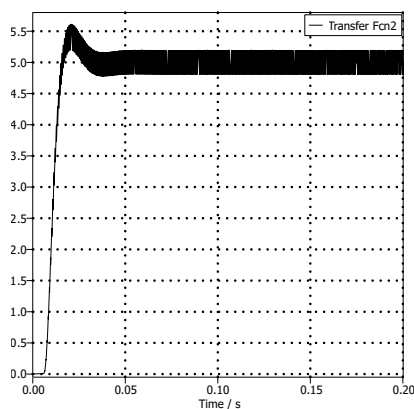


図 5-1. 充電 j 曲線

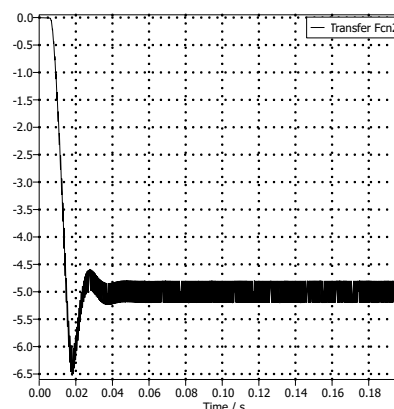


図 5-2. 放電曲線

## 6 まとめ

このディスクリート型アクティブ バランス設計は、セル間のバランスを実現できるだけでなく、バッテリーパック全体のバランスも自然に取ることができます。これは、スイッチ マトリクスと絶縁型 DC/DC コンバータを組み合わせた、コスト効率が高く、制御が比較的容易で、柔軟性の高いアクティブ バランス回路トポロジです。この方式により、ユーザーのシステム開発設計を加速させることができます。

## 7 参考資料

1. Kim M.-Y. Kim, C.-H. Kim, J.-H. Kim, G.W. Moon, 「リチウムイオン電池のセル バランス速度を向上させるためのスイッチ キャパシタのチェーン構造」、IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 8, pp. 3989-3999, 2014 年 8 月, doi: 10.1109/TIE.2013.2288195.
2. A. K. Sadigh, V. Dargahi, K. Corzine, 「5 レベル積層マルチ セル コンバータのための新しいアクティブ キャパシタ電圧バランス方式」、2016 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Long Beach, CA, USA, 2016 年, pp. 1191-1197, doi: 10.1109/APEC.2016.7468020.

## 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、TI は一切の責任を拒否します。

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](https://www.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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月