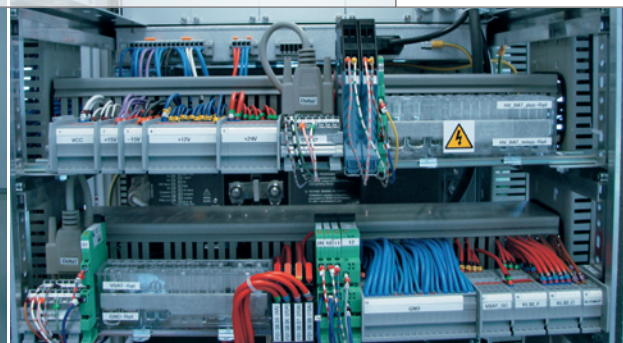


dSPACE HIL シミュレータによるリチウムイオンバッテリー
マネージメントシステムのテスト (BMW グループ)

Virtual Energy Cells





これまでの駆動方式が、いつまで市場で優勢を保つかは誰にも明確には分かりません。決定的に明らかなのは、Electric Drive の時代が来ていることです。将来の自動車にとって、包括的な ECU のテストが、これまでに必要になります。ソフトウェアの複雑さと範囲が驚くようなスピードで拡大しているからです。BMW グループは、リチウムイオンバッテリー用管理システムの機能の開発および ECU のテストに、dSPACE シミュレータを使用しています。リアルタイムでバッテリーセルのシミュレーションを行うことによって、バッテリーマネジメントシステムがすべての要件を満たしているかどうかを調べることができます。

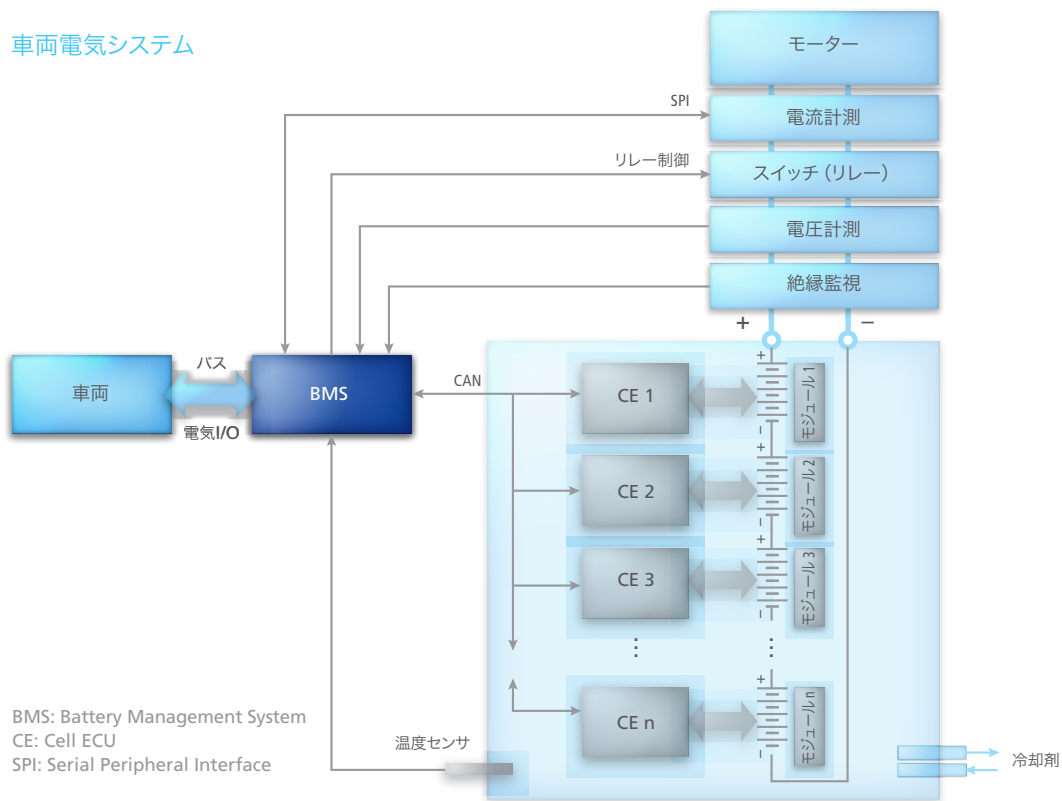


図 1：バッテリーの管理は、BMS とセル ECU (CE) の連携によって行われ、バッテリーモジュールに直接接続されて、バッテリーモジュールの監視を行います。

課題：駆動装置の電動化

自動車用駆動装置の歴史は、興味ある進化の段階に達しています。エンジニアは明日の駆動装置のコンセプトの開発に取り組んでいます。効率と安全性に関するさまざまな基準に適合させる必要があります。高エネルギー、高電力密度、長寿命のリチウムイオンバッテリーは経済的であり、電気式駆動装置に適しています。この形式のエネルギーストレージは、一般に、電圧の範囲が数百ボルトであり、所定の限度内で使用しないと危険です。自動車に搭載されるバッテリーを安全に制御し、同時に自動車の可用性を最大化しなければならないという、大きな問題があります。高度の安全要件だけでなく、良好な性能および長寿命のための最適条件を満たさなければなりません。

高電圧エネルギーストレージ用バッテリーマネージメントシステム

さまざまな要件が、バッテリーマネージメントシステム (BMS) と呼ばれる電子制御システムによって監視および実行されます。BMS によって、バッテリーの電気的および熱的状態の監視が行われます。BMS は、さまざまな統合モジュールおよびアクチュエータを通じて、各バッテリーおよび個別のセルを管理することができます。標準的な機能には、過放電、過充電、過熱の防止などが含まれています。BMS は、車両内では、駆動および動作状態を検出することができるように、車両バスに接続されています。バッテリーは高電圧大電流のため、BMS の機能の安全性が重視されます。車両内システムの機能の安全性を確保するために、ISO 26262 に定義されている開発要件を満たす必要があります。

バッテリーマネージメント ECU システムの構成

ドライブトレインの電化に必要な高電圧大電流を達成するために、リチウムイオンバッテリーはセルモジュールを多数連結して製造されます。BMW では、セルの監視および制御に大規模な ECU システムが使用されています (図 1)。このシステムは、バッテリーモジュールごとに割り当てられた 1 つのセル ECU (CE) と、CAN に接続された上位の 1 つの BMS で構成されています。各セル ECU の主な役割は、セル電圧の計測とセルの放電制御の実行で、BMS の役割はバッテリー管理の司令塔です。

バッテリーマネージメントシステムの役割

BMS は、バッテリー内のすべての電気的、熱的、化学的プロセスの統括制御センターです。BMS には下記の機能が実装されています。

セルバランシング：セル間の放電状態を平均化するため、放電状態の解析に基づいて各セルの均等化が行われます。これによりセルの能力が最適化され、過負荷が防止され、寿命の長期化に貢献します。

温度管理：バッテリーのセルの寿命を伸ばし最高の性能を引き出すために、冷却機能によって温度の調節が行われています。電流制限または冷却回路によって、高負荷時の過熱が防止されています。

充電制御：使用可能なエネルギーと充電中に使用可能なエネルギーの制御によって、充電効率が最適化されています。

安全機能：高電圧大電流での安全な動作を保証するために、バッテリーが定義された動作状態でない場合はバッテリーの高電圧接点が閉じないように、さまざまな安全機能が備えられています。これにより、安全にバッテリーを搭載、輸送、および保管することができます。

絶縁の監視：安全のため、バッテリーの両極は車体とは電氣的に完全に絶縁されています。絶縁監視機能によって、要件への順守をチェックしています。

オンボード診断：動作中に異常またはしきい値違反が発生した場合は、故障メモリに記録され、このデータを外部から読み出すことができます。

また、バッテリーの重要な状態を表示およびチェックする次のような機能も用意されています。

- 充電状態の計測および表示
- 総合的な状態の監視
- 劣化状態の測定
- 使用可能な能力およびエネルギーの計算
- 電流、電圧、電力制限への適応

HIL シミュレータの概念

BMS およびセル ECU の完全なテストを行うために、バッテリーのさまざまな充電および動作状態を再現可能な形式で生成する必要があります。そのためのソリューションとして、テスト要件に基づいて、個別のバッテリーセルとセルモジュール全体の両方での多段階シミュレーションを実行しています。安全性を確保するために、ECU 内での調節により、総電圧を 60 V 以下に降圧しています。dSPACE は、そのために、非常に精度が高く非常に高速の 60 V 電源を開発しました。これは通常の電源ユニットとは異なり、昇圧と同じ速度で降圧を行うことができます。総電圧シミュレーションは、ECU 用として矛盾のない値を生成するために、単一セルシミュレーションに動的に追従する必要があります。

単一セルエミュレーション用のシミュレータの構成は次のようになっています。エミュレートしたセル電圧が高精度で ECU に供給されます。CE1 のセルのエミュ

レーションは、Scienlab electronic systems GmbH 製の高精度電源を使用して行われます。この電源は、0 ~ 5 V の範囲で調節可能な最大 150 mA の絶縁された端子電圧を供給します。このエミュレータを多数連結して、60 V を供給するセルモジュールが構成されています。セルバランシング機能のテストを行うために、個別のセルの電流と電圧をエミュレータ上で直接計測することができます。

選択したセルのエミュレーションの精度は低下しますが、電氣的な欠陥を挿入することもできます。これらのセルモジュールに必要な温度センサのエミュレーションも可能です。また、セルモジュールはレストバスシミュレーションによって統合されています (図 2)。

dSPACE ハードウェアと Scienlab セルエミュレータ間の通信は、dSPACE 低電圧差動信号 (LVDS) インターフェースを通じて行われます。dSPACE 製のプラグオンデバイス (POD) によって、シリアル LVDS インターフェースから、エミュレータ側のパラレルマイクロコントローラインターフェースへの変換が行われます。これにより、最大 5 m のケーブル長での非常に高速な伝送が実現されています (計測値あたり 400 ns)。セルスタック全体の電圧をミリ秒以下の速度で調節することができます。



バッテリーのシミュレーション環境としての HIL

dSPACE HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータのこの構成により、エネルギーストレージ全体のシミュレーションを行うことができるようになっています。このシミュレーションモデルは、BMW グループによって開発されたバッテリーモデルです。必要なテストケースが作成され、テストオートメーションソフトウェアによって実行されます。

シミュレータは、このテストケースを使用して、バッテリーマネージメントシステムのテストに必要な、バッテリーの状態を再現します。同時に、シミュレータは ECU の制御電流および信号をキャプチャして、正常に機能しているかを評価することができます。ECU のテストによって、システムが不具合を検出し、それに正しく対応して、適切な制御ストラテジを実行しているかどうかについての情報を得ることができます。このテストシーケンスには、電圧の急激な低下などの遷移イベントや短絡などをバッテリーの両極において非常に正確にシ

ミュレートするための、高度にダイナミックな処理が必要です。

電氣的欠陥シミュレーション

バッテリーやケーブルハーネスに問題が発生した場合、BMS は常に正しく機能して、どのような環境においても適切に対応する必要があります。そのため、電氣的欠陥シミュレーションが HIL シミュレーションの重要な部分を占めます。

欠陥生成ユニット (FIU) を使用して、次のような、さまざまな不具合をすべての I/O および通信チャンネルに供給することができます。

- 断線
- グラウンドまたは他の ECU 信号へのショート
- 端子の接触不良

この欠陥シミュレーションは、BMS の電氣的 I/O ラインおよび CAN ライン、すべてのセル ECU で実行されます。

まとめと展望

BMW では、バッテリーマネージメント ECU の開発および試験用として複数の dSPACE シミュレータが使用されています。これらのシステムは、機能の開発および ECU のリリーステストに使用されています。HIL シミュレーションは、バッテリーマネージメント ECU の開発およびテスト用として、信頼性の高い装置であることが証明されました。HIL シミュレーションは、これからのバッテリーマネージメントシステム開発プロジェクトで、主要な役割りを果たします。

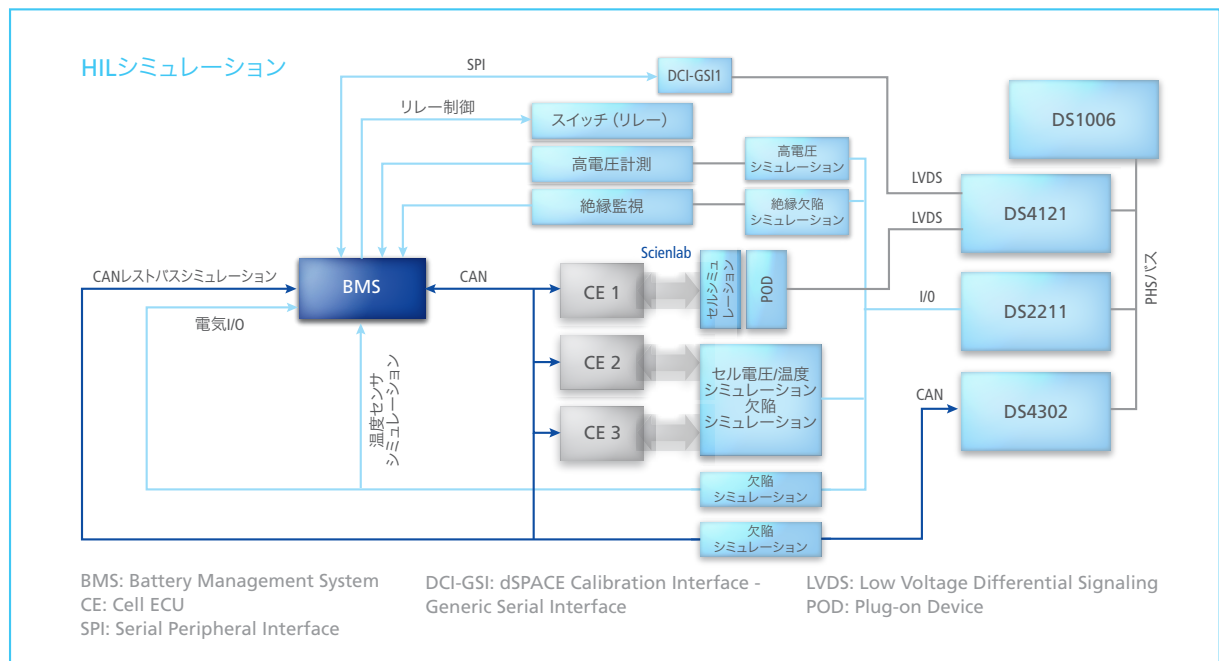


図 2: BMS、複数のセルモジュールエミュレータ、さらに実際のパーツが HIL シミュレータに統合されています。dSPACE の各種コンポーネントによりテスト環境が実現します。

絶縁の監視に関するテスト

安全上の理由により、バッテリーの両極を車両のシャシー電位（IT ネットワーク）とは完全に分離する必要があります。ECU は、バッテリーの両極とシャシー間の抵抗が低すぎるかどうかをテストすることができます。HIL テストでは、それぞれのテストに関する BMW の仕様を満たすために、定義された抵抗値をプラス側とマイナス側で指定し、所定の範囲の絶縁抵抗値を再現することができます。また、ECU は、これらの不具合の原因を検出し、それに対して適切に応答する必要があります（システムを遮断するなど）。

テストシステムの評価

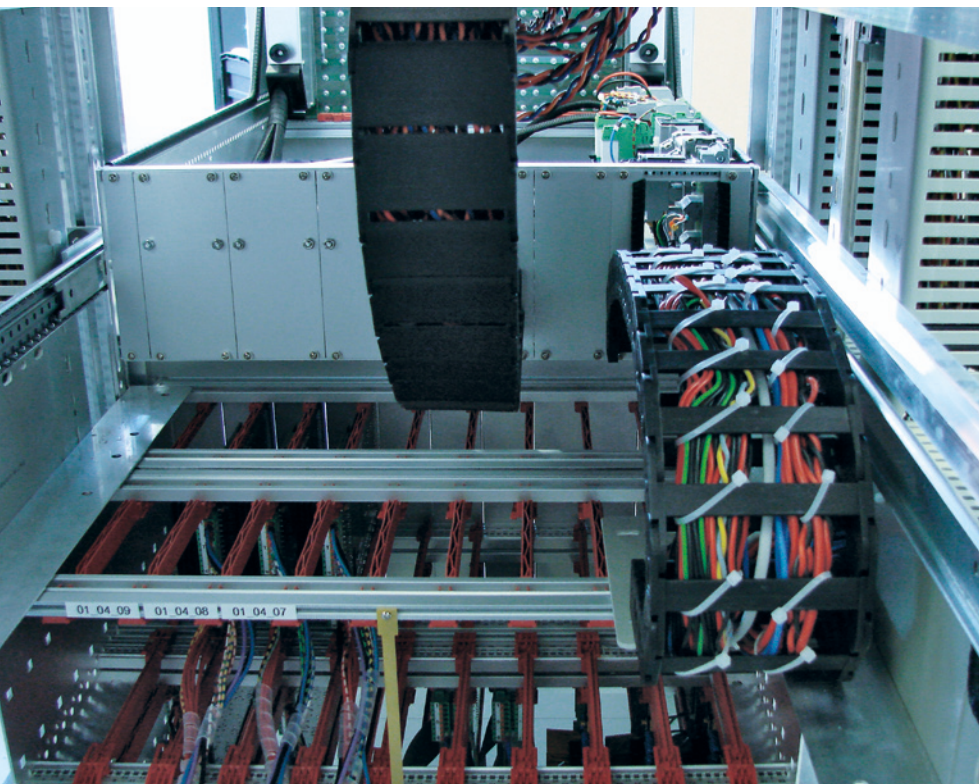
HIL シミュレーションによって、バッテリーをリアルにシミュレートし、新しい機能開発に必要なすべての状態を生成し、その状

態を系統立ててテストすることができます。これは、電氣的インターフェースと通信インターフェース（SPI、ソフトウェアゲートウェイ機能を備えた CAN）を使用して行われます。電気ケーブルの不具合と絶縁の不具合のシミュレーションを行う強力な機能も使用することができます。これらは、ECU の検証を行うテストシーケンスの極めて重要な要素です。dSPACE システムは、その動作の安定性と信頼性を証明しました。エミュレートされたセルおよび端子電圧は、セルバランシングなどの基本的なバッテリーマネージメント機能のテストに十分な精度を備えています。このシミュレータは、機能テストと ECU ネットワークの通信テストの両方における、BMS のテスト要件を満たしています。■

BMW グループのご好意により許可を得て掲載

SPI インターフェースによる通信

BMS 内での ECU とセンサ間の通信は、シリアルペリフェラルインターフェース（SPI）を通じて行われます。SPI は、統合された回路間での同期式シリアルマスタ/スレーブ通信の汎用的な標準規格です。そのため、SPI は非常に短いケーブル長で使用するように設計されています。したがって、実際の車両で使用される長さよりも長いケーブルが必要なシミュレータで使用するには、この問題を解決する必要があります。dSPACE では LVDS SPI コンバータを開発して、HIL システムへの統合を可能にしています。このコンバータは、ECU 上に直接配置され、SPI データを LVDS プロトコルに変換することにより、5 m のケーブル長が達成されています。反対方向では、LVDS インターフェースを通じて受信したデータが SPI に変換されて ECU に渡されます。



まとめ

- 電動化されたドライブトレインでは、バッテリーマネージメントシステムの開発およびテストにおける新たな課題を解決することが必要
- リチウムイオンバッテリーのセルレベルの電氣的および熱的な属性を仮想的に再現するテストシステム
- バッテリーマネージメントシステム用の電氣的な欠陥シミュレーションが可能で包括的な機能テスト