

車載用リチウムイオン電池監視 IC における機能安全技術

Functional Safety Technologies for Automotive Lithium-Ion Battery Monitoring ICs

鈴木 敦久 高田 信行

■ SUZUKI Atsuhisa ■ TAKADA Nobuyuki

ハイブリッド電気自動車 (HEV) や電気自動車 (EV) に搭載されるリチウムイオン電池では、過充電や過放電からの保護、及び電池残量の検出のために、電池電圧と温度の監視が必要になる。なかでもリチウムイオン電池の過充電は、熱暴走などの危険な事象につながるおそれがあるため、その監視システム、とりわけその中心を担う電池監視 IC には故障に対する十分な配慮が求められる。

東芝は、車載用リチウムイオン電池監視 IC の製品群を開発している。これらの製品には、電池システムとしての機能安全対応に必要な故障検出などの安全機構が設けられており、機能安全に関する国際規格 ISO 26262 (国際標準化機構規格 26262) における安全要求の最高レベルである ASIL D (Automotive Safety Integrity Level D) が求められる電池システムにも使用できる。

Lithium-ion battery systems for hybrid electric vehicles (HEVs) and electric vehicles (EVs) are required to have functions to monitor the battery voltage and temperature in order not only to prevent overcharge and over-discharge but also to detect the remaining level of battery power. Since a lithium-ion battery in the overcharged condition could cause a critical problem, the battery monitoring integrated circuit (IC), which is at the core of the protection system, must have the functions and reliability to avoid such abnormal conditions under any circumstances.

Toshiba is promoting the development of lithium-ion battery monitoring ICs equipped with functional safety systems for detection of disconnection and other electrical faults. Our battery monitoring ICs are compliant with Automotive Safety Integrity Level D (ASIL D) specified in the ISO (International Organization for Standardization) 26262 standard.

1 まえがき

近年、ハイブリッド電気自動車 (HEV) や電気自動車 (EV) では、従来のニッケル水素電池に比べてエネルギー密度がより高く、車両の軽量化が可能なりチウムイオン電池の採用事例が増えている。また、特にプラグイン HEV (PHEV) や EV では、HEV に比べて大容量の電池を搭載する必要があり、更に充放電ロス及び自己放電が小さい必要があることから、リチウムイオン電池が不可欠となっている。

リチウムイオン電池では、安全性や性能の劣化を防ぐため過充電や過放電に至らないように、多直列に接続された個別の電池セルの電圧及び電池の温度を監視する必要がある。

東芝は、この多直列に接続されたリチウムイオン電池を監視する IC 製品群を開発している⁽¹⁾。この電池監視 IC の一部が万一故障しても過充電に至らないように、電池監視 IC として故障の検出などを設計上考慮しておく必要がある。

ここでは、車載用リチウムイオン電池監視 IC に求められる故障検出などの安全機構について述べる。

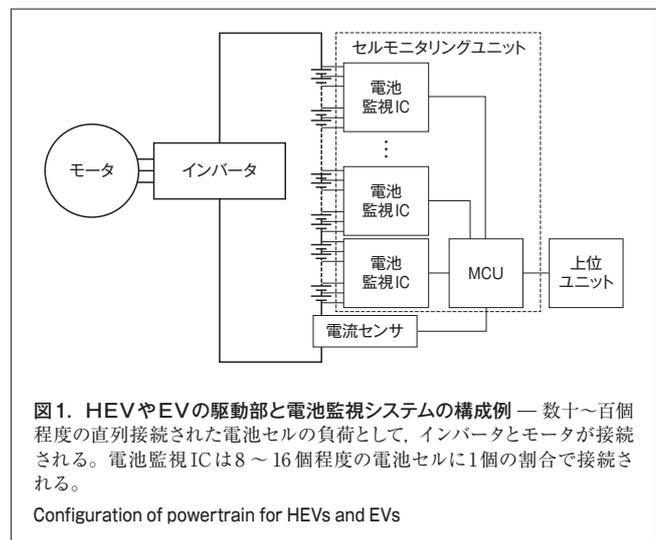


図1. HEVやEVの駆動部と電池監視システムの構成例 — 数十～百個程度の直列接続された電池セルの負荷として、インバータとモータが接続される。電池監視 IC は8～16個程度の電池セルに1個の割合で接続される。
Configuration of powertrain for HEVs and EVs

2 リチウムイオン電池監視システムの構成

一般的な HEV や EV の電池周辺の構成を図1に示す。数十～百個程度のリチウムイオン電池セルが直列に接続された電池モジュールの負荷として、モータを駆動するインバータが接続される。直列接続されたリチウムイオン電池の総電圧は

数十～数百Vに達するため、単体の電池監視ICで全ての電池セルを監視することは困難である。このため、一般には8～16個程度の電池セルを1個の電池監視ICで監視する構成が採られる。したがって、1台の車両には複数個の電池監視ICが搭載される。電池監視ICの主な機能としては、各電池セルの電圧測定や、セル温度の測定、セルバランスなどが挙げられる⁽¹⁾。

また、電池を流れる電流の測定用に電流センサも接続されている。これらの電池監視IC群、及び電流センサの制御用として、マイクロコントローラユニット(MCU)が配置されている。

一般的な車載用リチウムイオン電池監視システムでは、電池監視ICは個々の電池電圧の測定結果を判断せず、単純に制御用MCUへ測定結果を出力する。これは、電池監視IC内のハードウェアロジックで判断を行う場合、判断の自由度が低くなるためである。制御用MCUでは、電池電圧の測定結果と電流測定値、及び電池の温度情報から電池の充電状態を算出し、上位ユニットへ充電状態の情報を出力する。上位ユニットは充電の許可や禁止などの判定を行っている。

3 リチウムイオン電池パックのハザード

車載向けの機能安全に関する国際規格ISO 26262においては、車両として危険な状態をハザードと定義し、各ハザードの安全度水準ASIL (Automotive Safety Integrity Level)を設定し、そのレベルに応じて安全状態への遷移を実現する手段に対する要求仕様が定義される。その定義に基づいてユニットやシステム全体の機能安全仕様が作成され、安全機構が設計される⁽²⁾。電池監視ICなどの個別部品に求められる安全機構は、電池監視ICが搭載されるユニットやシステム全体の機能安全仕様から決定される。したがって、リチウムイオン電池監視ICに求められる故障検出などの安全機構を考慮するには、まずリチウムイオン電池パックとしてのハザードを考える必要がある。

リチウムイオン電池パックとしてのハザードとしては、一般には発火や、破裂、感電などが挙げられる。発火や破裂の原因としては過充電が、感電の原因としては絶縁破壊が考えられる。充放電の制御は、電池監視ICが電池の状態を監視した結果を元に行われる。このため、電池監視ICとしては、万一故障しても過充電に至らないように構成する必要がある。絶縁破壊に関しては、もともと電池や、モータ、インバータ、昇圧回路などの高電圧系回路は車体からフローティングとなっているが、更に絶縁不良を検出するような構成を採ることもある⁽³⁾。

4 電池監視ICに求められる故障検出と安全機構

電池監視ICが故障しても過充電に至らないようにするに

は、故障を起こした際に、以下に示すように動作することが求められる。

- (1) 電池監視ICの電池電圧の測定精度が異常になる可能性がある場合は、自己診断によって検出し、MCU側でそれを認識できるような信号をなんらかの形で伝送する。
- (2) 電池監視ICから信号を出力しない。誤った電池電圧の測定結果を出力することに比べれば、何も出力しないほうが望ましい。
- (3) 明らかに通常とは異なる電池電圧の測定結果を出力する。例として、測定レンジ下端の値(0Vなど)、あるいは上端の値(5Vなど)を出力する。

(3)の場合は、電池監視ICの故障なのか、それとも電池自体の故障なのか、判別がつかないため、故障時の動作としては好ましくない。当社で開発中の製品では故障の際は可能な限り(1)又は(2)の動作をするように構成している。

電池監視ICの個別の特性と機能に対する故障検出、及び安全機構の構成と考え方について、以下に述べる。

4.1 電池電圧の測定精度に関わる故障検出

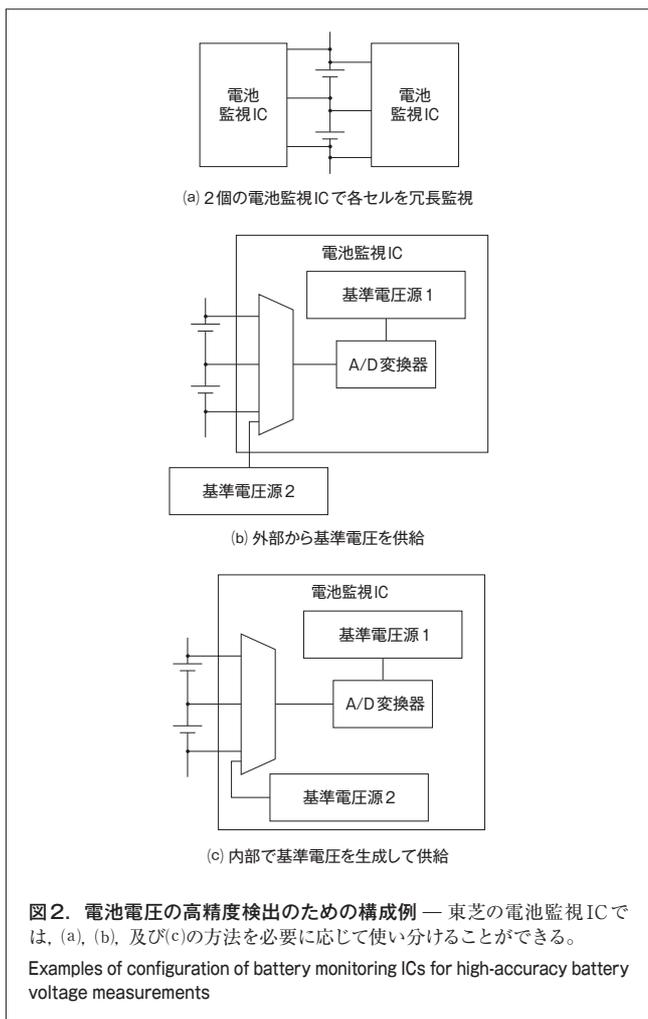
電池電圧の測定は、電池監視ICにおいてもっとも重要な機能であり、その測定精度の正しさのチェックも重要である。チェックのための構成例を図2に示す。(a)は電池監視ICを2個用意してこれらの電池監視ICで各セルを冗長監視する方法、(b)は外部から測定精度の正しさを確認するための基準電圧を供給する方法、また(c)は内部で基準電圧を生成して供給する方法である。

(a)の方法では、冗長性は増すがシステムの複雑性も増大し、可用性の低下及びコスト増となる懸念がある。

(b)及び(c)の方法では、A/D(アナログ/デジタル)変換器用の基準電圧源とは独立した第2の基準電圧源を用意し、その電圧をA/D変換することで電圧測定系の測定精度の正しさを確認する。

第2の基準電圧源に関しては、共通の原因による故障を考慮して選択する必要がある。例えば、A/D変換用の基準電圧源と第2の基準電圧源をまったく同じ回路構成、電源、及びデューティ比で駆動させた場合、それぞれの電圧源は同じような出力電圧の変動傾向を示す可能性が高く、結果としてこの方法では故障検出ができなくなる可能性がある。対策としてもっとも好ましいのは、(b)のように電池監視ICの外部から独立した基準電圧を供給する方法であるが、コスト増となる懸念がある。

したがって、(c)のように第2の基準電圧源は電池監視ICに内蔵したうえで、いかにA/D変換器用の基準電圧源と独立性を保つかが課題となる。独立性を確保する手段としては、異なる回路構成を用いる、電源を独立させる、チップ上の基準電圧源の配置を隣接させないなどが考えられる。当社で開発中の製品では、これらを考慮して第2の電圧源を構成している。

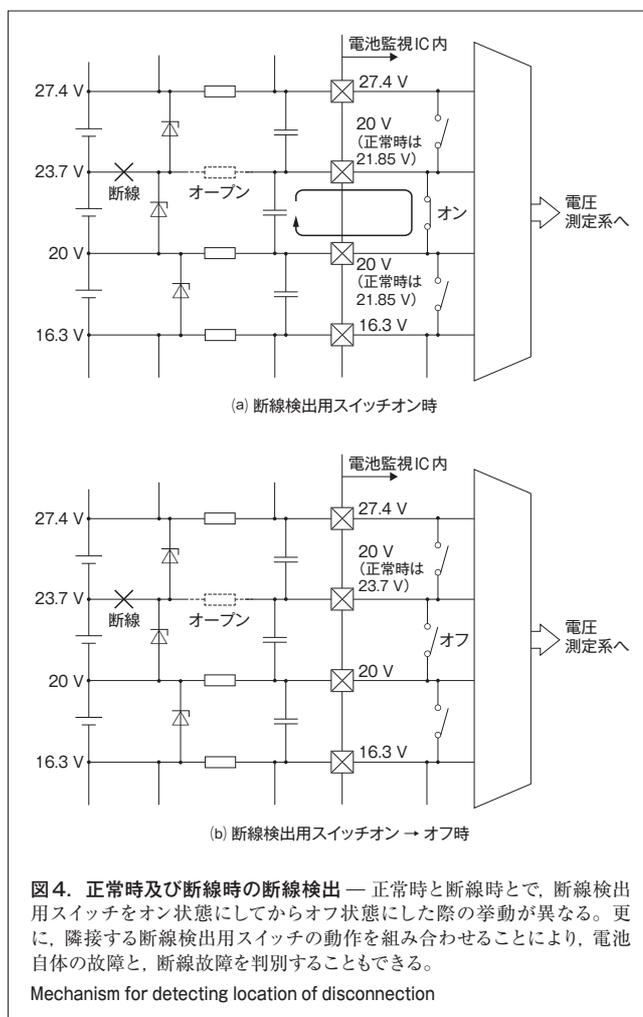
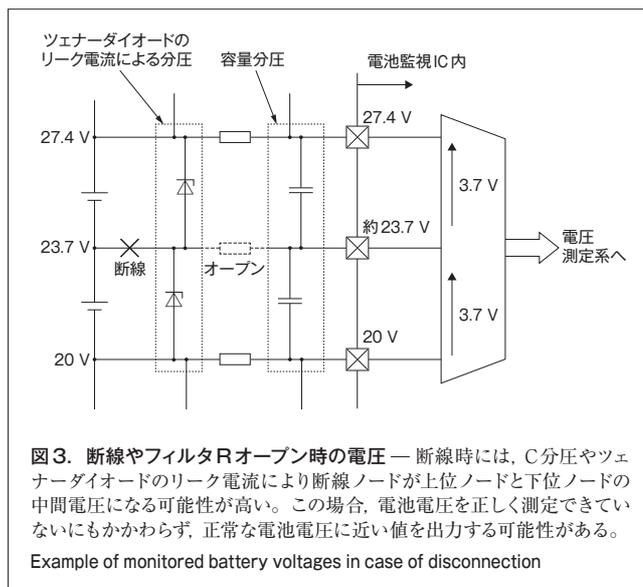


4.2 電池-ユニット間の断線検出、及び入力部RCフィルタでの抵抗オープン検出

電池-ユニット間の断線、又は電池電圧の入力部RCフィルタ (R: 抵抗, C: コンデンサ) のRで断線が発生した場合、断線したノードの電圧は、図3に示すように、RCフィルタのCの分圧による効果で、およそ断線箇所の下位ノードと、上位ノードの中間の電圧になる可能性が高い。この場合、かりに電池電圧が異常であっても、電圧測定結果としては2セル分のおよそ平均の電圧が得られるため、電池電圧の異常を検出できない可能性がある。

このような断線故障を検出するには、電池監視IC外部のRCフィルタのCを強制的に充電又は放電させて、その後の挙動から断線を判定する必要がある。更に、充電又は放電の間は電池電圧の測定精度が悪化するため、電池電圧の測定時間に比べ十分に短い時間で断線の判定を完了させる必要がある。

当社で開発中の製品では、電池電圧の均等化に用いられるセルバランススイッチとは別に、各電池電圧の入力端子間に断線検出用スイッチを設けている。このスイッチをオン状態にすると、図4(a)に示す経路で電流が流れ、Cは放電される。その



後スイッチをオフ状態にすると、図4(b)に示すように正常時はスイッチをオン状態にしたセルの電圧測定結果はセル電圧が得られ、断線時には0Vが得られる。この状態では、断線故

障、Rオープン故障、及び電池自体の故障（完全に放電し、電池電圧が0Vとなる故障）を判別することは難しいが、隣接する断線検出用スイッチの動作も組み合わせることで、これらの故障を判別できる。

4.3 通信における故障及びデータ異常の検出

通信部分に求められる要件としては、電池監視ICがまちがったデータを出力しない、又はまちがったデータを出力しても誤りであることを信号の受信側が認識できる必要がある。ノイズなどにより電池監視ICとMCU間の通信路でデータが異常を示すことも考慮すると、後者の考え方で通信を構成することが妥当である。

当社の製品では、通信データにCRC (Cyclic Redundancy Check) コードを付加し、受信信号に誤りが無いことを確かめられるようにすることで電圧測定結果が正しく伝送されていることを確認できる。また、電池監視ICを制御する通信信号に対してもCRCを付加するなど、電池監視ICの誤った通信により誤動作をしないように考慮している。

5 あとがき

当社は、ISO 26262に対応したシステムに使用可能な電池監視ICの製品群を開発している。故障検出回路などの安全機構を設けた場合、システムの複雑化や回路規模の増加をもたらす、コスト増加を招く傾向がある。当社は、今後も安全機構の最適化を図ることによって、コストの上昇を抑えるとともにシステムとして国際規格に適合できる製品を開発していく。

文 献

- (1) 鈴木敦久 他. 電気自動車やハイブリッド電気自動車を支える電池監視IC. 東芝レビュー. 67, 10, 2012, p.40-43.
- (2) テクノアソシエーツ. “東芝. 車載向け機能安全国際規格「ISO26262」最高水準の認証を取得”. <<http://e2a.jp/review/120409.shtml>>, (参照 2014-06-11).
- (3) デンソー 車載用IC研究会. 図解カーエレクトロニクス [上] システム編. 東京, 日経BP社, 2010, 270p.



鈴木 敦久 SUZUKI Atsuhisa

セミコンダクター&ストレージ社 ミックスドシグナルIC事業部
車載IC応用技術部主務。車載用ICの商品企画及び開発に従事。

Mixed Signal IC Div.



高田 信行 TAKADA Nobuyuki

セミコンダクター&ストレージ社 ミックスドシグナルIC事業部
車載IC応用技術部参事。車載用ICの商品企画及び開発に従事。

Mixed Signal IC Div.