

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

Battery Monitoring ICs Supporting Electric Vehicles and Hybrid Electric Vehicles

鈴木 敦久 森川 雅昭

■ SUZUKI Atsuhisa ■ MORIKAWA Masaaki

電気自動車 (EV) やハイブリッド電気自動車 (HEV) に搭載されるリチウムイオン電池には、過充電や過放電からの保護だけでなく、電池残量検出のために電池電圧及び温度の監視が必要になる。リチウムイオン電池の特性から電池電圧を高い精度で測定できること、車載特有のノイズ環境で外部との通信を安定して行えることが求められる。

東芝は、EVやHEVに搭載されるリチウムイオン電池を監視するため、電池電圧の高精度測定技術及び高ノイズ耐性の差動通信構成を開発した。これらの技術を用いることで、高精度の電池残量検出と、車載特有の高ノイズ環境下でも信頼性の高い電池監視システムを実現することができる。これにより、EVやHEVに搭載されるリチウムイオン電池をより安全に取り扱い、より有効活用することが可能になる。

It is necessary to measure the voltage and temperature of lithium-ion batteries for electric vehicles (EVs) and hybrid electric vehicles (HEVs) not only for the purpose of overvoltage and undervoltage protection, but also to detect the remaining battery level. High-accuracy voltage monitoring is required because of the characteristics of lithium-ion batteries, and an additional prerequisite is stable communication with the external controller in the noisy automotive environment.

Toshiba has developed a high-accuracy voltage measurement technology and a noise-tolerant differential communication technology for lithium-ion batteries installed in EVs and HEVs to realize highly accurate detection of remaining battery level and reliable battery monitoring in a noisy environment. Battery monitoring integrated circuits (ICs) equipped with these technologies make it possible to handle lithium-ion batteries safely and promote their effective use.

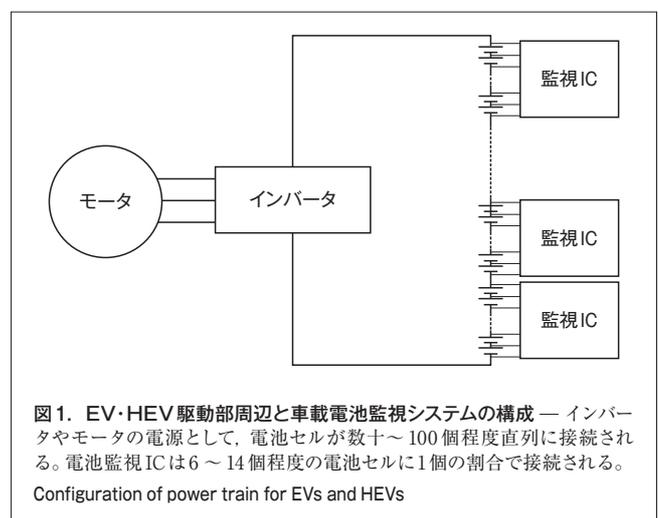
1 まえがき

近年、EVやHEVに代表される環境対応車の車両台数は、ユーザーの環境意識の高まりもあり増加の一途をたどっている。

従来、HEVではニッケル水素電池が採用されることが多かったが、近年では、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、更に自己放電が小さいことを求められることから、リチウムイオン電池の採用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ならないように、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、EVやHEV向けに多直列に接続されたリチウムイオン電池の電池残量を高精度に検出可能で、高ノイズ耐性を備えた電池監視 IC TB9140FGを開発した。ここでは、車載のリチウムイオン電池監視システムの概要と、キーデバイスとなる電池監視 IC に求められる技術、並びにTB9140FGに適用した高精度電圧測定技術、高ノイズ耐性通信技術、及びセルバランススイッチ構成について述べる。



2 車載電池監視システムの概要

一般的なEV・HEV駆動部周辺と車載電池監視システムの構成を図1に示す。モータを駆動するインバータの電源として、数十～100個程度のリチウムイオン電池セルが直列に接続される。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、6～14個程度の電池セルを1個の電池監視ICで監視する構成が用いられる。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に求められる主な機能は、次のとおりである。

(1) セル電圧測定機能 電池の残量を検出するため、また過電圧や低電圧すなわち電池の過充電や過放電などの異常状態を検出するため、個別電池セルの電圧を測定する。

(2) セル温度測定機能 電池の異常発熱を検出するため、電池セルの温度を測定する。また3.1節で述べるように、電池の放電曲線には温度依存性があるため、温度測定は電池の残量検出のためにも必要である。

外付けのサーミスタを用意し、その電圧を電池監視ICによって測定することで電池セルの温度を測定する。

(3) セルバランス機能 複数の電池セルが直列に接続されているため、電池セルのリーク電流の偏りや電池監視IC自体の消費電流の偏りによって、個々の電池セルの残量に偏りが発生する。これを解消するのがセルバランス機能である。

セルバランスにはアクティブタイプとパッシブタイプがある。アクティブタイプは、トランスやコンデンサを使用して残量の多い電池セルから残量の少ない電池セルへエネルギーを移動させることで残量をバランスさせる。これに対してパッシブタイプは、抵抗とスイッチを使用して残量の多い電池セルを放電し、残量の少ない電池セルの残量に合わせる。エネルギー効率の観点からはアクティブタイプが有利であるが、部品点数が増えてコストが増加することなどから、パッシブタイプが主流になっている。

3 電池監視ICの開発

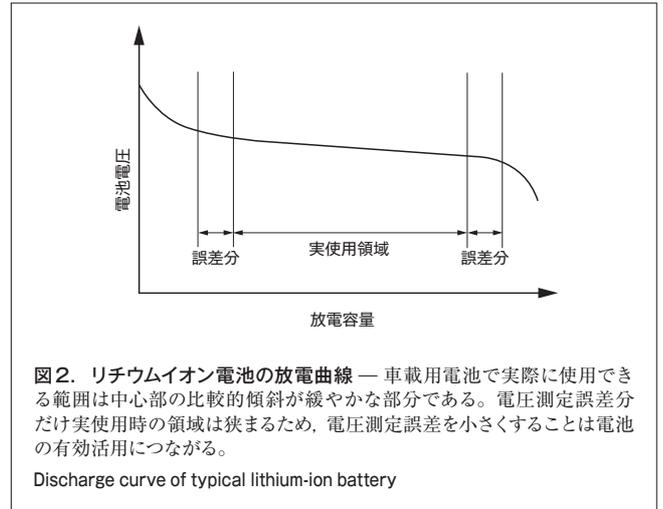
ここでは、電池監視ICに必要とされる技術と、今回開発したTB9140FGに適用した技術の特徴について述べる。

3.1 高精度電圧測定技術

リチウムイオン電池の残量と電圧の間には図2に示すような関係があり、電圧を測定することで電池残量を推定することが可能である。

一般に車載用のリチウムイオン電池は、安全性や寿命の観点から、図2の放電曲線に示した実使用領域の範囲内で使用される。この範囲では、電池残量と電池電圧の関係は極めて緩い傾斜となっている。実使用領域を決めるにあたっては、電池監視ICの電圧測定精度誤差分のマーヅンをあらかじめ見込む必要がある。したがって、電圧測定誤差を小さくすることで実使用領域を広げれば、電池の有効活用につながる。

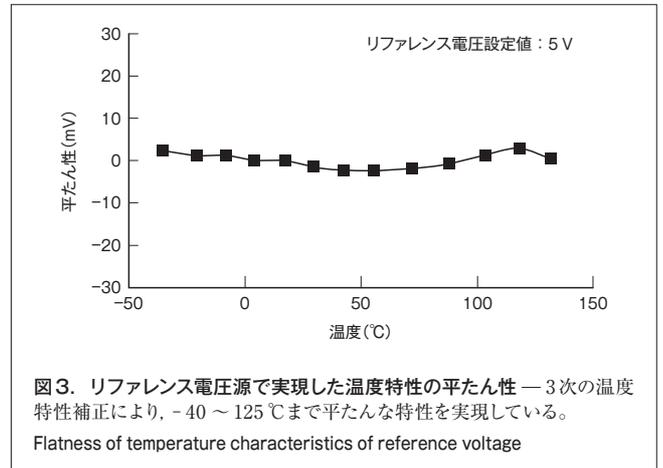
電圧測定には様々な誤差要因があるが、もっとも大きな誤差要因はA/D(アナログ/デジタル)コンバータの基準となる

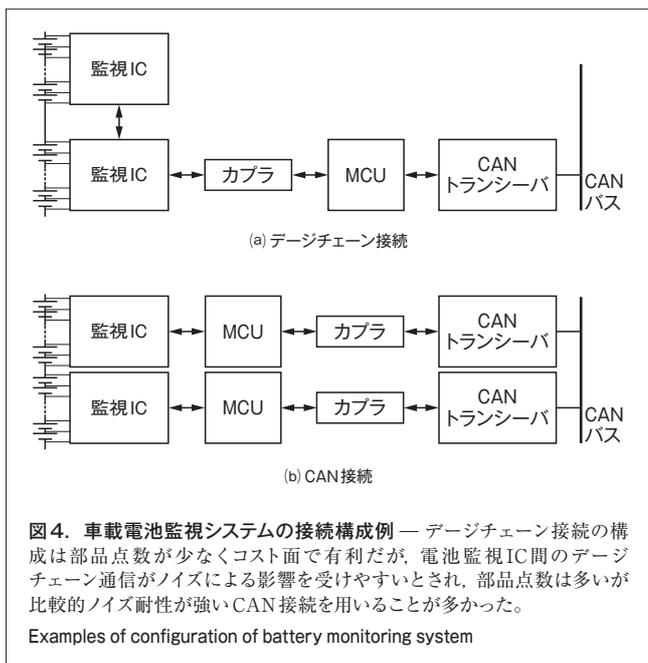


リファレンス電圧源の誤差で、特にその温度依存性が問題になる。リチウムイオン電池の動作温度範囲はその種類にもよるが-20～50℃程度であるため、冷却ファンや水冷を用いてこの温度範囲内に収まるように設計されている。電池の近くに配置される電池監視ICの周辺温度も同程度の使用温度範囲となる。しかし、セルバランススイッチを電池監視IC内に内蔵する構成では、セルバランス時の発熱によってIC内部のジャンクション温度は100℃付近まで達する。また、セルバランス用の外付け抵抗はIC近辺に配置されるため、その周囲温度もリチウムイオン電池の温度範囲以上に上昇する傾向がある。したがって、電池監視ICにはこのような広い温度範囲において出力変化の小さいリファレンス電圧源が求められる。

これらを踏まえて当社は、電池監視IC用のリファレンス電圧源を新たに開発した。このリファレンス電圧源は、一般的なバンドギャップ電圧源回路をベースに、低温領域、中高温領域、及び高温領域それぞれの温度領域で特性を補正する3次の温度特性補正を採用した。これにより、図3に示すように-40～125℃付近まで平たんな温度特性を実現している。

このリファレンス電圧源を用いることで、TB9140FGは低温





から高温までの広い範囲において電圧測定誤差が ± 4.5 mV以下 (3.7 Vのセル電圧測定時) を実現可能である。

3.2 高ノイズ耐性デージチェーン通信技術

車載電池監視システムは、電池の負荷として接続されたインバータ回路からのノイズを受けるため、ノイズ対策が必須となる。特に隣接する電池監視IC間で行われるデージチェーン(数珠つなぎ)通信(図4(a))ではノイズの影響が大きいとされている。ノイズが原因で通信が成立しないおそれがある場合には、車載機器間の通信用として開発された、比較的ノイズ耐性は強いが部品点数が多くなってコスト増加となるCAN(Controller Area Network)接続構成(図4(b))を使用せざるをえない事例も多かった。

そこで当社は、デージチェーン通信部の信号を差動化してノイズ耐性を向上させた通信方式を新たに開発した。また、電池監視IC間の通信には容量カップリング方式を採用している。

二つの隣接するIC間のデージチェーン通信では、それぞれのICの電源及びグラウンドに電位差が存在する。この電位差を乗り越えた通信方式が必要とされ、その方式としては、上位ICと下位ICのインタフェースのDC(直流)レベルを合わせて通信する方式、電流通信方式、及び容量カップリングで通信する方式の3種類がある。

DCレベルを合わせて通信する方式では、下位ICが昇圧回路を使用して昇圧する方法か、又は上位ICから下位ICに通信用の電源を渡す方法が用いられるが、前者では昇圧回路による回路規模の増大と発生するノイズが課題となる。また両者とも、電池監視IC間がDCラインで直結されるため、かりに一方のICが故障し高電圧が意図せず出力される状態となった場合にはもう一方のICまで破壊され、単一のICの故障が連鎖的

に他のICの故障を引き起こすおそれがある。

電流通信方式では、電流の大小や有無によって信号を伝達する。この方式もDCラインがIC間を直結するため、前述した故障時の課題があることに加え、通信時の消費電流の増加が懸念される。

当社が採用した容量カップリング方式では、昇圧回路は不要であることから、回路規模を低減できることに加えて昇圧回路からのノイズの影響を無視することができる。また、隣接する二つのIC間のDCライン直結がなくなり、IC間の故障の連鎖を低減することができ、より安全な構成を実現することが可能になる。

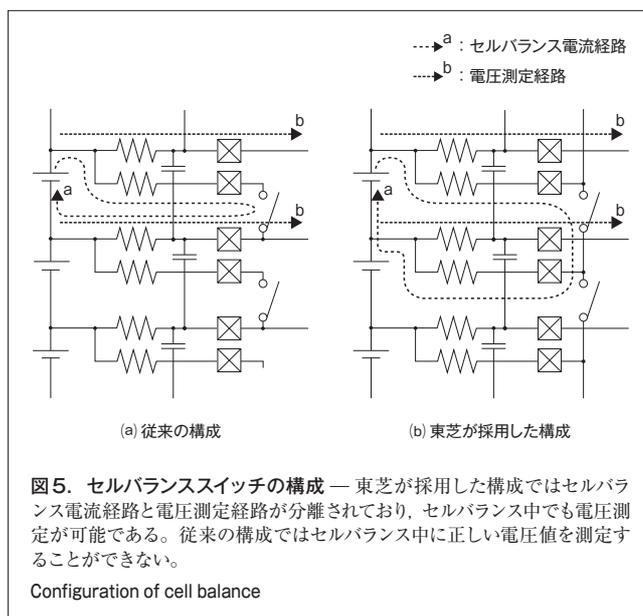
一般的なコンデンサカップリング方式では、一定時間以上同じ信号レベルが続いた場合、信号の送信側と受信側のDCバランスが崩れてしまうため、高速シリアル転送用の8B10B符号化やマンチェスタ符号化などの対策を信号に施す必要がある。このため、ハードウェアやマイクロコントローラユニット(MCU)のソフトウェアが複雑となりコスト増加の要因となる。

これに対して当社は、入出力回路とプロトコルに改良を加えることで、これらの特殊な符号化を行わなくても安定した通信が可能な構成を開発した。これにより、コスト増加も避けることができた。

3.3 電池電圧を監視中にセルバランスが可能な内蔵セルバランススイッチ構成

従来の内蔵セルバランススイッチの構成例と、当社が採用したパッシブタイプの内蔵セルバランススイッチの構成例を図5に示す。

従来の構成(a)では、電圧測定経路とセルバランス電流経路が分離されていないため、電圧測定用の入力RC(R:抵抗, C:コンデンサ)フィルタの抵抗にセルバランスの電流が流れ



る。これにより、セルバランス中は電池電圧が下がったように見えてしまい電圧測定を正しく行うことができなかった。

これに対して当社が採用した構成(b)では、セルバランス電流経路と電圧測定経路が分離されている。このため、セルバランス電流が流れたとしても電圧測定経路には影響を与えないため電池電圧を正確に測定することができる。また、電池電圧測定部に挿入されるRCフィルタと、セルバランス電流値を決める抵抗が別個に設けられているため、システム設計の自由度が高いというメリットもある。

この方式では、隣接するセルバランススイッチを同時にオンすることができないため、セルバランスする時間が従来方式に比べて2倍になるデメリットがある。

しかし、従来方式でもセルバランス中には電圧測定ができず、電池を使用していない時間、例えば車両の停車中にしかセルバランスできない。停車中に本来停止している電池監視システムを動作させることは消費電力を増加させることになり、セルバランスに要する時間をできるだけ短くすることが求められる。

これに対して開発した方式では、車両の走行中であっても電圧測定を行いながらセルバランスが可能である。走行中であれば電池監視システムは元々動作状態でありシステムの消費電力が増加することはなく、セルバランスの時間が長くなっても問題ないと考えられる。

4 あとがき

当社は、電池残量を高精度に検出可能で高ノイズ耐性を備えた電池監視IC TB9140FGを開発した。EVやHEVの車両台数はユーザーの環境意識の高まりもあり、今後いっそう増加することが予想される。

TB9140FGでは0.13 μ m世代の高耐圧アナログ素子混載BiCD (p.17-20参照) プロセスを使用しているが、次世代の製品ではこのプロセスをベースとして更に高耐圧化を図ったプロセスを使用した、IC1個当たり16セルに対応する電池監視ICの開発を計画している。今後も当社は、電池監視システムのコスト削減に貢献していく。



鈴木 敦久 SUZUKI Atsuhisa

セミコンダクター&ストレージ社 アナログ・イメージングIC事業部 車載LSI技術部主務。車載用LSIの開発に従事。
Analog & Imaging IC Div.



森川 雅昭 MORIKAWA Masaaki

セミコンダクター&ストレージ社 アナログ・イメージングIC事業部 車載LSI技術部主務。車載用LSIの設計・開発に従事。
Analog & Imaging IC Div.