

提升锂离子电池组的安全性

概要

在电池管理系统 (BMS) 中，功率 FET 是必不可少的安全措施。功率 FET 的主要作用是在异常条件下将电池组与负载或充电器隔离开。本白皮书将介绍各个检测模块，以及它们如何控制功率 FET 的状态，以确保锂离子 (Li-ion) 电池组安全工作。

功率 FET 功能模块的工作原理看起来很简单：当连接充电器或负载时，打开 FET；如果出现任何故障，关闭 FET。要让功率 FET 提供适当的功能，设计人员必须了解负载条件和电池组限制，还必须了解功能模块电路。

在电池管理系统 (BMS) 中，功率 FET 受到电池电压、电池组电流、温度、负载和充电监视器比较结果的控制。系统内部的功能模块通过以下三种方式之一构建：(1) 通过分立式器件，这种方式需要更多的电路板空间，还要求设计人员必须掌握关于每个子模块的深入知识。(2) 一个功率 FET IC，集成大多数子功能模块，可用作多电池单元监视器/均衡器的配套 IC。功率 FET IC 可在高电池单元数（多于 16 个电池单元）应用中使用，例如太阳能农场和智能电网。(3) 功率 FET 功能模块位于完全集成的 BMS IC 中，例如 ISL94202、ISL94203 和 ISL94208。每种方法都具备大致相同的功能，本白皮书将解释每个子模块的内部功能，以及不同应用的设计考虑因素。

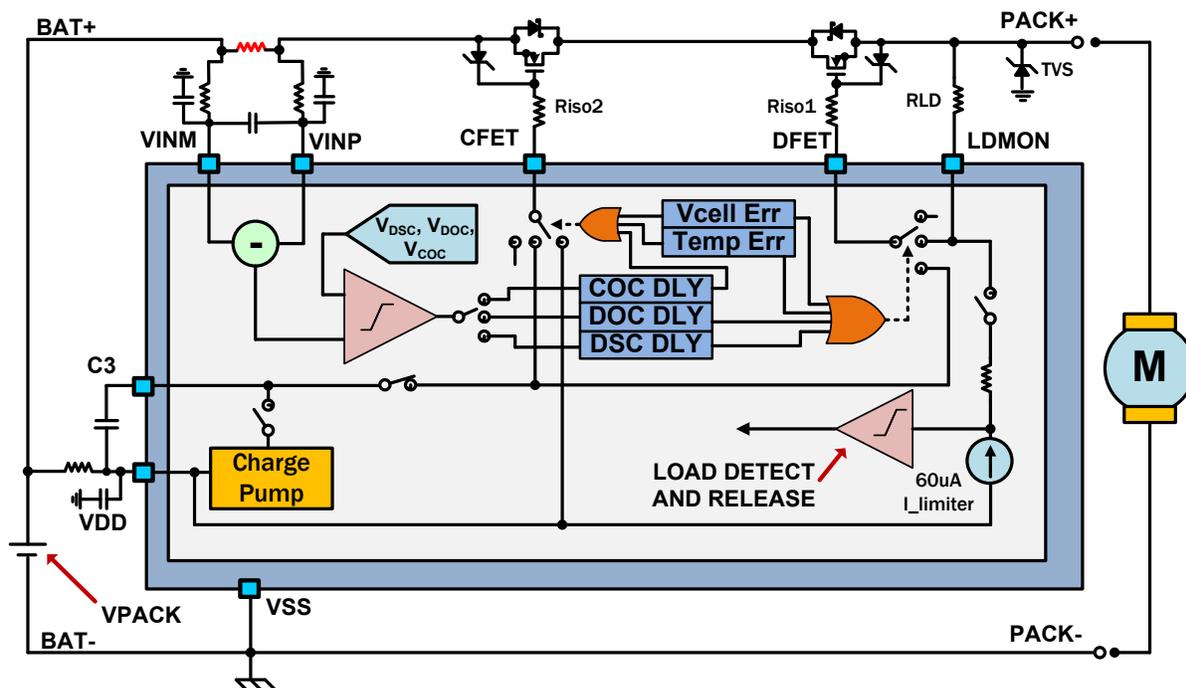


图 1：用于判断打开或关闭功率 FET 的电路的简图

以图 1 中的电路配置为例。该系统是连接到电机的高压侧串联 FET 配置。功率 FET 是否处于打开状态，要取决于电池组的电池单元电压、充电和放电电流、监视器引脚的温度和状态。子模块报告任何故障，都会导致一个或两个 FET 关闭。

V_{cell} 检测

无需考虑电池均衡的 V_{cell} 检测是一种电压测量方式，通过监视可以发现过压、欠压和开路电池状况。在检测电池组不供电故障，以防止电池电压降低到有效工作区域之外时，欠压条件非常重要。锂离子电池的有效工作电压区域是在 2.5V 至 4.2V 之间。锂聚合物电池的有效工作电压区域是在 2.5V 至 3.6V 之间。电池组的限定电压范围规定了充满电和空电时的极限，它是根据化学成分和设计定义的。为电池充电时，禁止超过电压上限，否则可能导致电池损坏。大多数 BMS IC 都会持续监控过压和欠压条件，而无论电池充电状态如何。

电池组中的所有电池都经过测量之后，报告电量最高的电池与电量最低的电池之间的总体压差非常有用。如果电池组压差很大，可能存在电池开路或电线开路的情况。大多数系统都有电线开路测试，可以确定测量系统与电池之间的电线已经连接。电线开路测试不像电池电压读取那样频繁，电池压差计算可以作为系统故障的早期预警指标。

当电池内部或外部连接断开时，就会发生电池开路。这种事件可能是缓慢发生的，也可能是突然发生的。电池开路的原因可能是老化、电池制造质量欠佳或在恶劣环境下工作时间过长。外部连接断开通常是电池组制造质量欠佳导致的。

连接到负载时，如果电池组拉出很大的浪涌电流，可能发生最大电池压差的误报。浪涌电流被电池组电阻失调放大，结果导致电池电压严重失调。在报告事件之前，有些芯片有一定延迟，而其他一些芯片没有。

电流检测

测量电流的大多数电池系统具有三种电流比较器：放电短路 (DSC)、放电过流 (DOC) 和充电过流 (COC)。所有这些比较器都会产生一个延迟，允许电流在采取措施之前的一段时间内大于极限值。

负载受到的控制不像充电器那样严密，需要进行快速的电流放电检测，以便在电池或功率 FET 自身被损坏之前关闭功率 FET。对于 DSC 事件，关闭功率 FET 时产生数十至数百微秒的延迟是正常的。DSC 延迟包括定时的延迟，以及关闭功率 FET 所花费的时间。当栅极和源极通过隔离电阻连接在一起时，功率 FET 关闭。隔离电阻和栅极电容形成一个 RC 电路，决定了 FET 的关闭时间。

在设置 DSC 关闭时间总延迟时，需要考虑到诸多因素。DSC 关闭时间取决于损坏电池和电路的时间，及负载启动或连接时能通过的浪涌电流。DSC 关闭时间必须与 FET 关闭时间保持平衡。关闭 FET 过快，会导致在电池测量引脚上产生大瞬态电压。最靠近功率 FET 的引脚最容易遭到大瞬态电压的损害。瞬态是由存储在功率 FET 和电池之间走线上的电感能量导致的结果，因为当电池组突然断开与负载的连接时，这些能量无处释放。电感能量释放到开路负载，直至电压上升到足够激活相连电路的 ESD 二极管。如果有足够的能量，元件可能出现电气过载。存储在走线上的能量数量是走线电感与负载拉电流的乘积。在放电短路条件下，走线中存储的能量最多。在电池电压引脚处进行滤波，有助于降低发生 EOS 事件的可能性。始终保持尽可能短的走线，最大程度地提高走线宽度。应该注意负载与功率 FET 之间的线缆的尺寸和长度。这是另一个可能出现高瞬态电压的区域。

提高 FET 栅极和 FET 控制引脚之间的隔离电阻值，可以增加 FET 的关闭时间，从而减小瞬态电压的量级。通过改变 RC 时间常数和 FET 电容，会导致功率 FET 打开时间增加。请注意，在这些事件中都使用了隔离电阻。

关闭功率 FET 过慢，会导致功率 FET 损坏或欠压条件。大多数功率 FET 数据手册都包含一个典型曲线，显示 FET 电流与 V_{DS} 值之间的关系，以及它们的持续时间，如图 2 所示。假定有一个 20V 电池组，短路电流为 100A。下图显示 FET 在这种条件下能够存在 1ms。

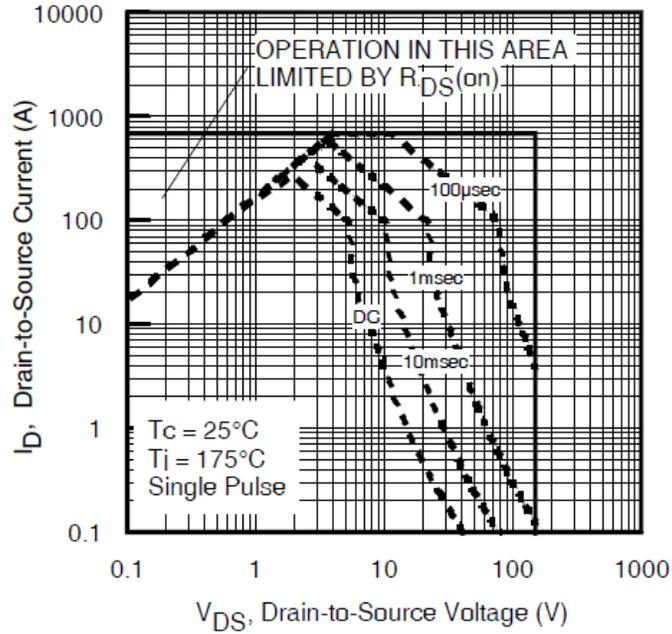


图 2: FET 的关闭时间应该在功率 FET 的安全工作区域内

通常 DSC 限制应考虑浪涌电流持续时间。浪涌电流可能达到工作电流的 100 倍甚至更多。图 3 是瞬态浪涌的示例。浪涌电流峰值为 270A。工作电流消耗为 8A。如果允许浪涌电流超过 DSC 限制，FET 将在打开和关闭条件之间切换。

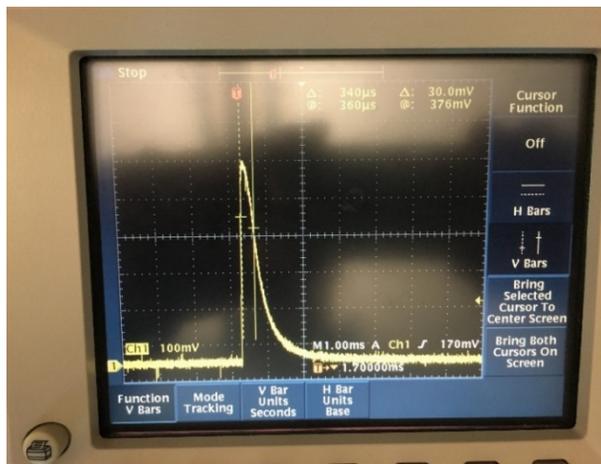


图 3: 浪涌电流可能意外超过放电短路限制

图 4 显示了当图 3 的浪涌电流被拉到电池时导致的电池组压降。

图 4 显示了使用低阻抗电池和电池间连接的重要性。浪涌电流导致电池组电压降低 10.8V。通过增加功率 FET 的隔离电阻 (R_{iso1} 和 R_{iso2})，可以降低浪涌电流的量级。隔离电阻的增加导致浪涌电流事件的持续时间增加。

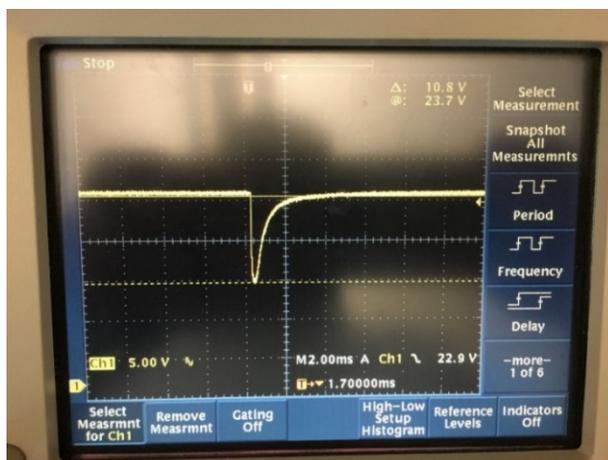


图 4：当电池组拉出图 3 的浪涌电流时，在电池组级别上产生的压降

放电过流限制和延迟是次要限制，可以防止损坏的负载或系统，或者将错误负载连接到电池组。DOC 条件的存在时间可能比 DSC 长得多，需要考虑的因素少于 DSC。

充电过流限制可以防止电池过充，还可防止使用错误的充电器为电池组充电。COC 延迟允许短时间的不规则充电传输到电池。图 5 显示了小型摩托车的负载情况。当电流为负时，电机为电池充电。来自电机的再生电流可能远大于充电电流。设置的 COC 限制应该接近充电器的电流，以防止使用错误的充电器为电池充电。大多数再生电流的持续时间都很短。在图 5 中，在 250 秒后记录的再生电流是在小型摩托车下山时产生的。280 秒左右的再生电流是在小型摩托车滑行停止时产生的。此电池组的充电电流为 2A。

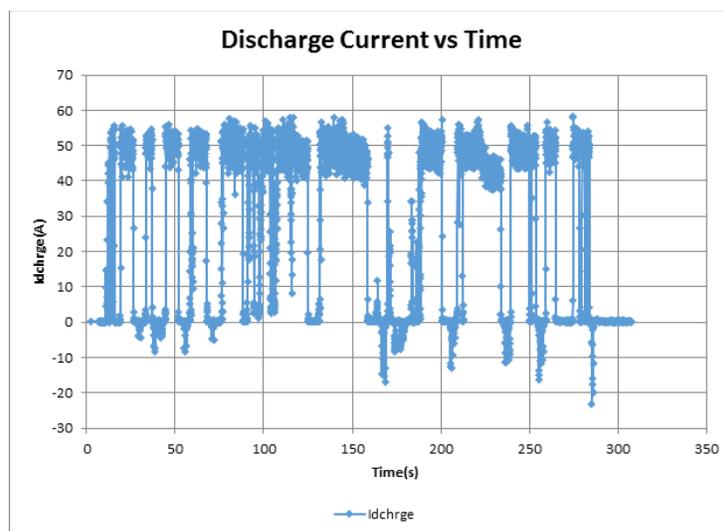


图 5：小型摩托车的负载情况

设置充电电流时，要考虑到很多因素。主要因素是电池本身的充电接受能力。在设置充电电流时，要考虑的其他因素包括充电时间、电池发热、电池老化。

温度检测

检测电池温度的主要原因是确保电池没有达到热逃逸条件。可能导致热逃逸的条件包括电池过充、电池组短路、电池内部短路。有些化学成分比其他物质更容易发生热逃逸。

除了热逃逸检测之外，我们还使用热检测来确定电池是否能够安全地充电或放电。大多数锂电池都有推荐的充电/放电温度范围，如图 6 所示。在笔记本电脑等应用中，可能需要在图 6 所示的仅允许放电的区域中充电。JEITA 是锂电池充电标准。该标准要求当在不太稳定或不太能够接受充电的温度区域中减小充电电流。图 7 是 JEITA 充电标准的实例。对于大多数应用，图 6 中的温度范围足够使用，而且易于实施。

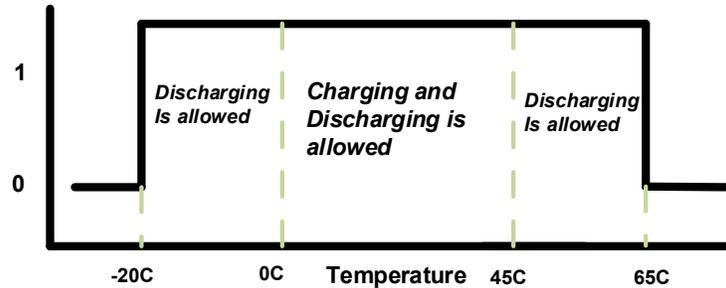


图 6: 锂电池的可接受充电/放电温度区域

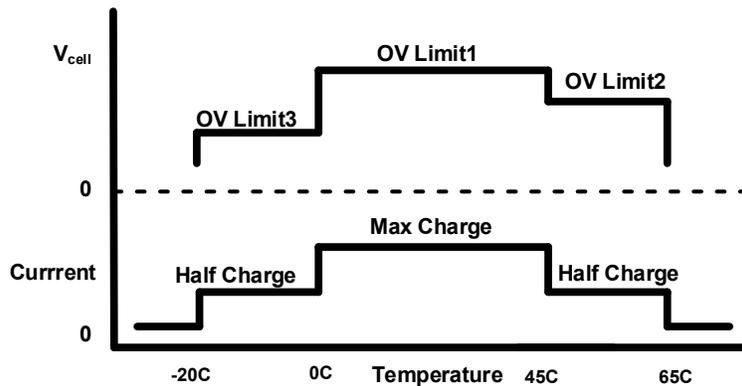


图 7: 在极端温度区域中也可以进行充电，但更加复杂

结论

对于标准 BMS IC，我们必须了解它们的功能模块，以及功率 FET 在工作区域中发挥的作用，这一点非常重要。有一些 IC 允许充电时将充电 FET (CFET) 和放电 FET (DFET) 均打开。而其他一些 IC 则会关闭 CFET。在串联功率 FET 配置中，当电池工作在仅允许放电的温度范围内时，CFET 都不应关闭。当 CFET 关闭时运行负载，将允许电流通过 CFET 的体二极管。这会增加 FET 的功耗，导致 FET 温度升高。如果不采取措施来散发 FET 的热量，包括通过布局或使用散热器，元器件可能被损坏。在串联配置中工作时，处于关闭状态的 CFET 还会减小负载功率，从而影响应用性能。

在大多数中小型电池组中，两个热敏电阻会被用来监测温度。其中一个热敏电阻放置在电池组中心，由于与电池绝缘，此处的温度较高。因为工作温度较高，这些电池老化更快。第二个热敏电阻的位置是在电池组外部，在这里可以很好地测量环境温度。适当的温度检测可以保护电池，防止出现热逃逸，确保电池安全充电或放电。

了解更多

- **产品信息**
 - [ISL94202 独立电池组监视器](#)
 - [ISL94216 电池前端](#)
 - [ISL94208 电池管理模拟前端](#)
- [电池组监视器如何保护锂离子电池](#)
- [免费 IC 样品](#)

© 2020 Renesas Electronics Corporation or its affiliated companies (Renesas). All rights reserved. 所有商标或商业名称均是其各自所有者的资产。瑞萨电子认为本文档所含的信息在提供时准确无误，但对其质量或使用不承担任何风险。所有信息均按原样提供，不作任何形式的担保，无论是明示、暗示、法定担保，还是因交易、使用或贸易惯例引发的担保，包括但不限于对适销性、对特定目的适宜性或非侵权性的担保。瑞萨电子对因使用或依赖本文档所含信息造成的任何直接、间接、特殊、结果、偶然或其他损失概不负责，即使已提示相关损失的可能性亦不例外。瑞萨电子保留停止这些产品或更改其产品设计或规范或本文档其他信息的权利，恕不另行通知。所有内容均受美国和国际版权法保护。除非本文档特别准许，否则未经瑞萨电子事先书面许可，不得以任何形式或通过任何方式复制本材料的任何部分。访客或用户不得因任何公开或商业目的而修改、分发、发布、传送本材料的任何内容，亦不得对其创建衍生作品。