

常见的电动两轮车 BMS 架构

厉梦溪 Jayden Li / 檀瑞安 Ryan Tan

FAE East China / SE PDS

ABSTRACT

近年来，随着新国标的施行，以及平衡车，滑板车，共享电单车等新应用场景的出现，促使电动两轮车市场迎来了新的发展热潮。锂电池因为具有能量密度高，循环次数多等优点而逐渐替代铅酸电池，受到越来越多电动两轮车厂商的追捧。但因为锂电池相比铅酸电池而言，安全性更差，因此需要严格的电池管理系统(Battery Management System, BMS)对锂电池进行监控和保护。而根据不同的用户需求，往往需要选择不同的 BMS 架构，比如电摩需要实现更高功率，因此会使用多片 AFE 级联以支持更多电池串数，又比如某些电动自行车的充放电电流相差较大，会设置单独的充放电路径以优化成本。本文将介绍几种常见的电动两轮车 BMS 架构以及不同架构的优缺点及其使用场景。

Contents

1	电动两轮车 BMS 架构	Error! Bookmark not defined.
1.1	高边串联架构	2
1.2	高边并联架构	3
1.3	低边串联架构	3
1.4	低边并联架构	4
2	选择合适的电动两轮车 BMS 架构	4
2.1	高边 or 低边	4
2.2	串联 or 并联	7
3	其他两轮车 BMS 架构	8
3.1	级联架构	8
3.2	独立架构	9
4	参考文献	9

Figures

Figure 1.	典型电动两轮车 BMS 架构	2
Figure 2.	高边串联架构	2
Figure 3.	高边并联架构	3
Figure 4.	低边串联架构	3
Figure 5.	低边并联架构	4
Figure 6.	基于 BQ769x0 的高边保护方案	5
Figure 7.	BQ76952 典型高边串联应用电路	5
Figure 8.	BQ76952 典型低边驱动电路	7
Figure 9.	级联架构	8
Figure 10.	独立架构	9

1 电动两轮车 BMS 架构

Figure 1 所示为一种典型的电动两轮车的 BMS 架构。通常由电芯，模拟前端，二段保护，主控等组成。

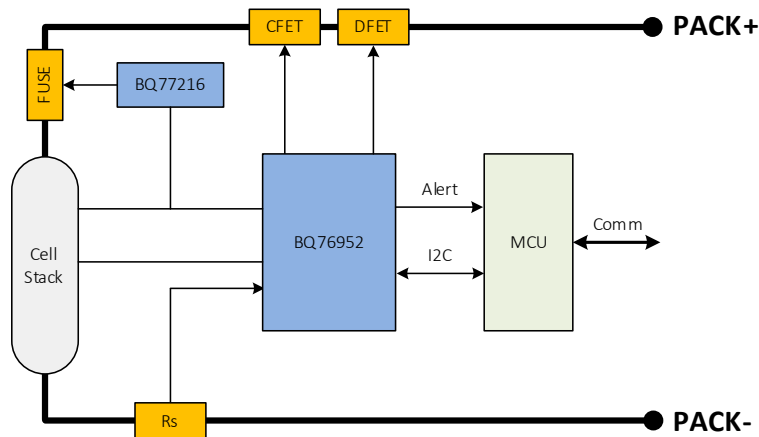


Figure 1. 典型电动两轮车 BMS 架构

其中，BQ77216 是一款单颗可支持 3-16S 的二段保护产品，不需要像传统的采用多片级联实现 16S 二次保护。并且相比传统的二段保护产品，BQ77216 不仅具有过压保护功能，而且还具备欠压，过温，开线等保护功能，满足更多的设计需求。

BQ76952 是 TI 最新的支持 3-16S 的 AFE 产品，具有采样精度高，集成高边驱动和可编程 LDO，支持脱离 MCU 独立工作，支持乱序上电，功耗小等诸多优点，而被广泛应用于电动两轮车领域。并且因为 BQ76952 具有 DCHG 和 DDSG Pin，分别实现对 CHG 和 DSG Pin 的逻辑映射，因此既能实现高边驱动的方案，也可以实现低边驱动的方案。同系列的产品还有 BQ76942 和 BQ769142，分别支持 3-10S 和 3-14S 的电池包。

按照充电 FET (CFET)和放电 FET (DFET)的位置不同，可以将电动两轮车的 BMS 架构分为以下四种：

1.1 高边串联架构

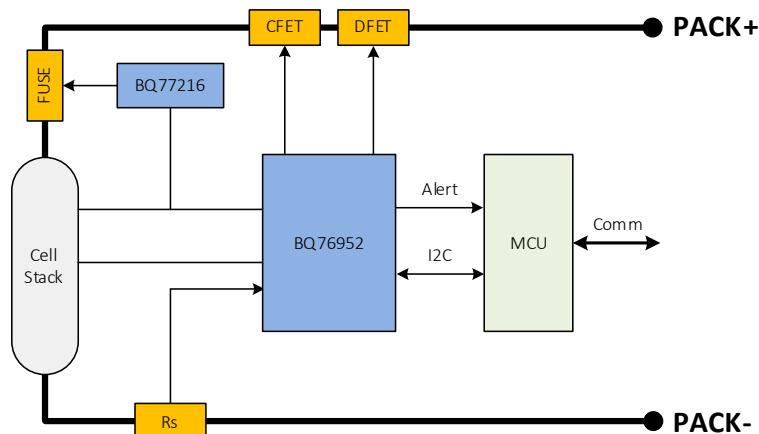


Figure 2. 高边串联架构

如 Figure 2 所示为高边串联架构。CFET 和 DFET 都置于高边，并且以串联的形式连接，所以称之为高边串联架构。

1.2 高边并联架构

如 Figure 3 所示为高边并联架构。CFET 和 DFET 都置于高边，并且以并联的形式连接，所以称之为高边并联架构。

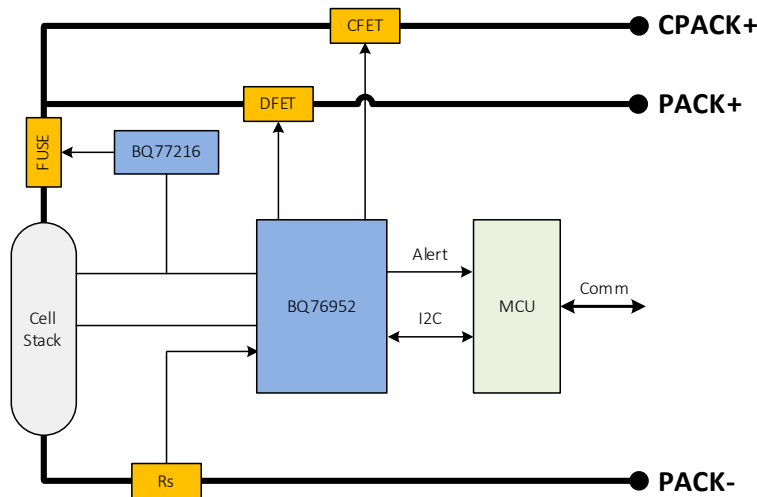


Figure 3. 高边并联架构

1.3 低边串联架构

如 Figure 4 所示为低边串联架构。CFET 和 DFET 都置于低边，并且以串联的形式连接，所以称之为低边串联架构。

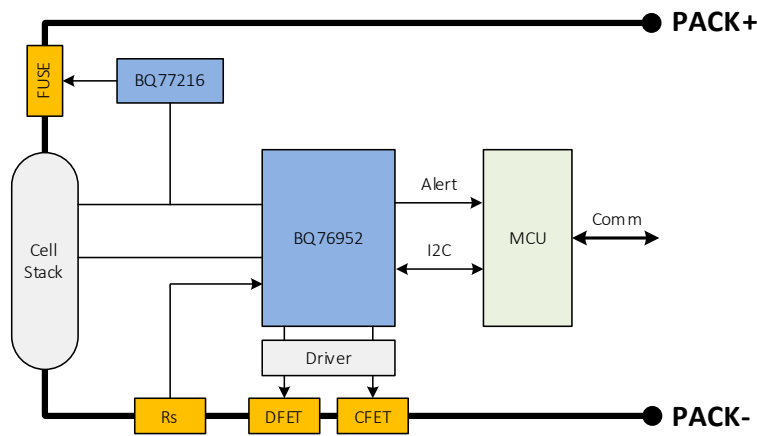


Figure 4. 低边串联架构

1.4 低边并联架构

如 Figure 5 所示为低边并联架构。CFET 和 DFET 都置于低边，并且以并联的形式连接，所以称之为低边并联架构。

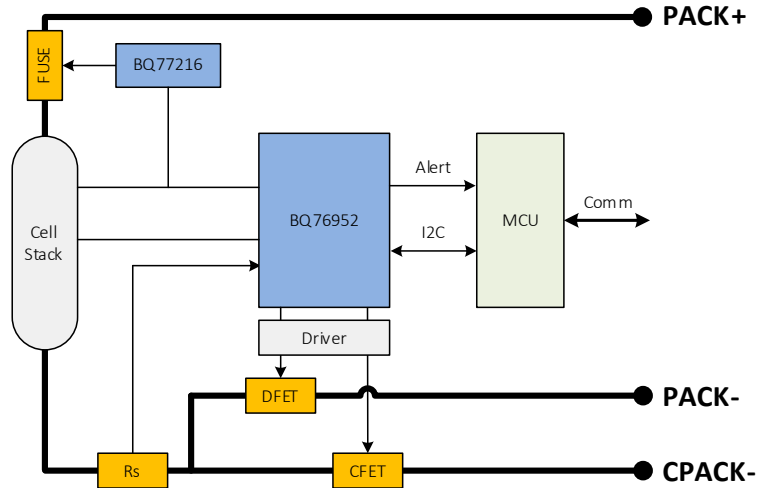


Figure 5. 低边并联架构

2 选择合适的电动两轮车 BMS 架构

上述四种架构的主要区别在于两点：一个区别是 CFET，DFET 是置于高边还是低边；另一个区别是 CFET，DFET 是串联连接还是并联连接。根据不同的应用场合，应该选取合适的 BMS 架构。下面分别介绍在选取不同 BMS 架构时的主要考虑。

2.1 高边 or 低边

低边方案是目前应用比较成熟且比较容易实现的方案，多数两轮车也是基于低边方案设计的。同时，目前大部分模拟前端也集成了低边驱动的能力，比如我们上一代的经典产品 BQ769x0 系列就是采用的低边保护方案。

但是低边保护方案存在一个缺点：当 CFET，DFET 关断的时候，电池包的地和系统端的地不再共地，所以一旦有保护被触发关断充放电 FETs，电池端和系统端不再能够实现直接通信。若想继续实现通信，则需要采用隔离通信，这不仅会增加成本，同时也会增加功耗，尤其是欠压保护时，过大的通讯功耗对于原本就欠压的电池包更是雪上加霜。因此低边方案主要应用于对成本更为敏感的没有复杂通信的产品中。

相比较低边保护，高边保护方案即使在保护被触发后，电池包和系统端仍然是共地的，因此仍然可以实现相互之间的通信，而无需增加隔离通信，且触发保护后断开电池正端，系统更加安全。

BQ76200 是一款低功耗的高边 NFET 驱动 IC，支持充放电管单独控制，具有很强的灵活性。可扩展的 charge pump 电容可保证多组并联 FETs 的驱动能力，同时集成了 PACK 电压采样开关，方便通过 MCU ADC 实现 PACK 端电压采样。Figure 6 所示为基于 BQ76200 的高边方案。

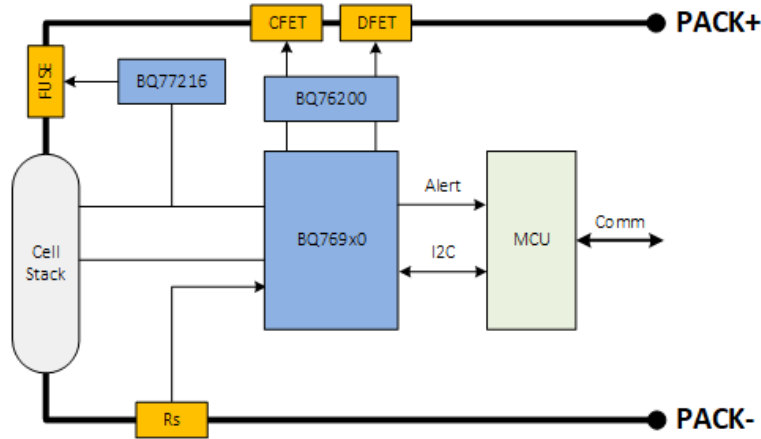


Figure 6. 基于 BQ76200 的高边保护方案

关于使用 BQ76200 实现高边方案的更多细节，读者可以参考 TI 的参考设计：[TIDA-00792](#)，[TIDA-010030](#) 以及参考文献 13。

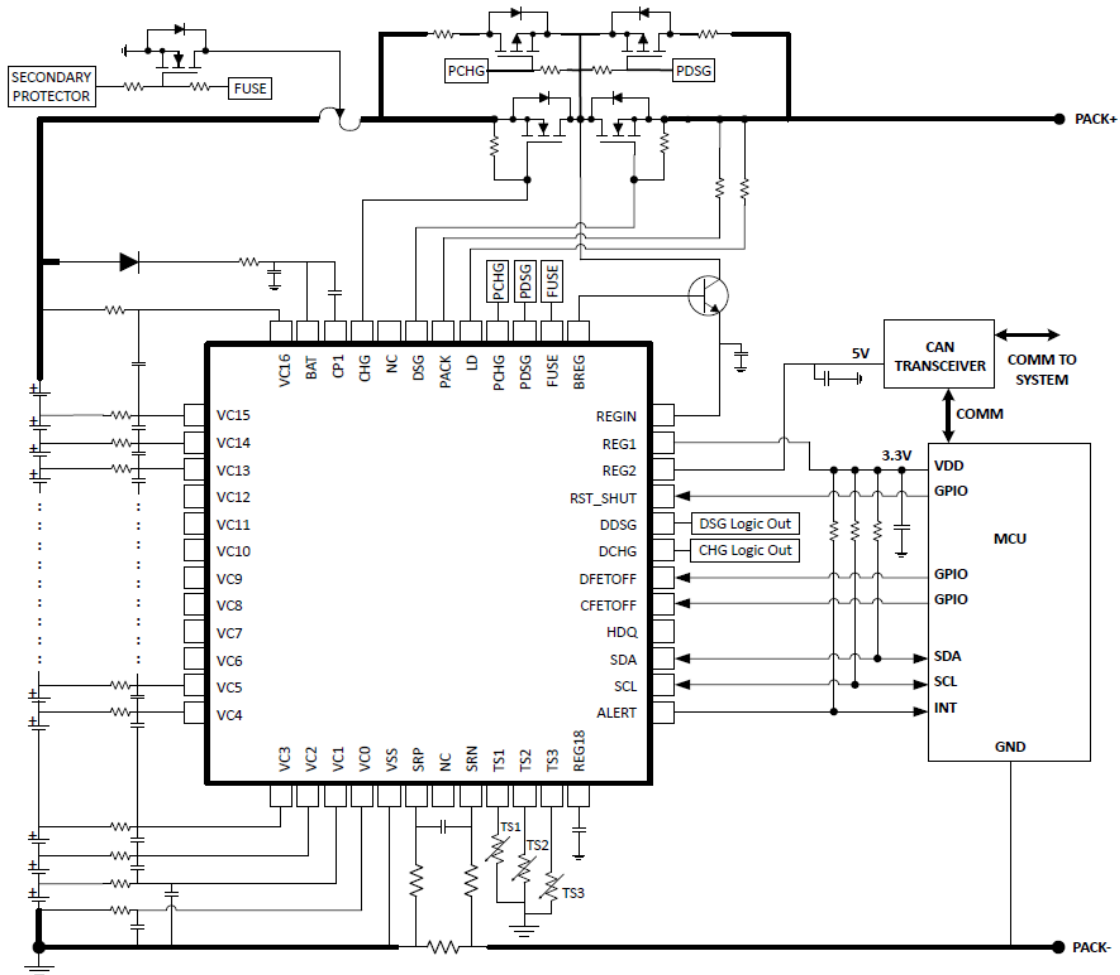


Figure 7. BQ76952 典型高边串联应用电路

相比于 BQ769x0 系列，BQ769x2 系列 AFE 因为本身集成了高边驱动能力，所以无需增加任何其他器件就可以实现高边保护方案，可以帮助节省一颗高边驱动芯片。Figure 7 所示为典型的高边串联应用电路，可以看到，通过 BQ76952 的 CHG Pin 和 DSG Pin 就可以直接驱动高边的 CHG FET 和 DSG FET，简单方便又经济实惠。关于 BQ769x2 的驱动能力，参考文献 8 有详细的分析和测试结果供参考。

此外，基于 BQ76952 的高边驱动方案，TI 也提供了相应的参考设计供大家参考：[TIDA-010208](#)。

BQ769x2 作为 TI 新一代的 AFE，相比 BQ769x0，除了集成高边驱动外，还具有支持串数更多，支持乱序上电，更多的工作模式和通信接口，采样精度更高，保护功能更全，均衡能力更强等诸多优点。Table 1 详细列举了 BQ769x2 和 BQ769x0 的性能对比。

Table 1. BQ769x0 VS BQ769x2 性能对比

Feature	BQ769x0	BQ769x2
Num of Cells	3-15S	3-16S
Abs Max	[-0.3, 36] x 3 V	[-0.3, 85] V
MIN/MAX cell voltage accuracy, no board calibration, 0°C to 60°C	±35 mV	±10 mV
Current / Passed Charge Monitoring	Dedicated 16-bit CC	Dedicated 24-bit CC; 64-bit passed charge integration. Synced w/ V
Integrated Protections	OV, UV, OCD, SCD	OV, UV, OCC, OCD1/2/3, SCD, UTC, UTD, OTC, OTD, OTF, OW, HWP, PTO, VIM
HW Protection	OV, UV, OCD, SCD	OV, UV, OCC, OCD1/2, SCD
FET Drive	Low-side NFET	High-side NFET
Temperature Sensors	3 NTC	9 NTC
Integrated LDO	2.5 /3.3V, 45mA max	Dual; 1.8 /2.5 /3.0 /3.3 /5.0V, 45mA max each
Internal Cell Balancing Current	5mA/Cell	50mA/Cell
Adjacent Internal Cell Balancing	No	Yes
Operating Current	Normal /Sleep /Shutdown = 130uA /40uA /0.6uA	Normal /Sleep /DeepSleep /Shutdown = 286uA /24uA /9uA /1uA
Communication	100KHz I2C	400KHz I2C, HDQ, 2MHz SPI
OTP/EEPROM Available	No	Yes
Standalone Mode	No	Yes
Pre CHG /Pre DSG	No	Yes
Charger Detect	No	Yes
Random Cell Connection	No	Yes

基于以上优点，越来越多的低边方案也开始使用 BQ769x2 进行设计。BQ769x2 虽然没有集成低边驱动，但是集成的 DDSG Pin 和 DCHG Pin，可分别实现对 DSG Pin 和 CHG Pin 的逻辑映射，利用这两个引脚可以通过简单的电路轻松实现低边保护的方案，Figure 8 所示为典型的基于 BQ769x2 的低边保护电路。

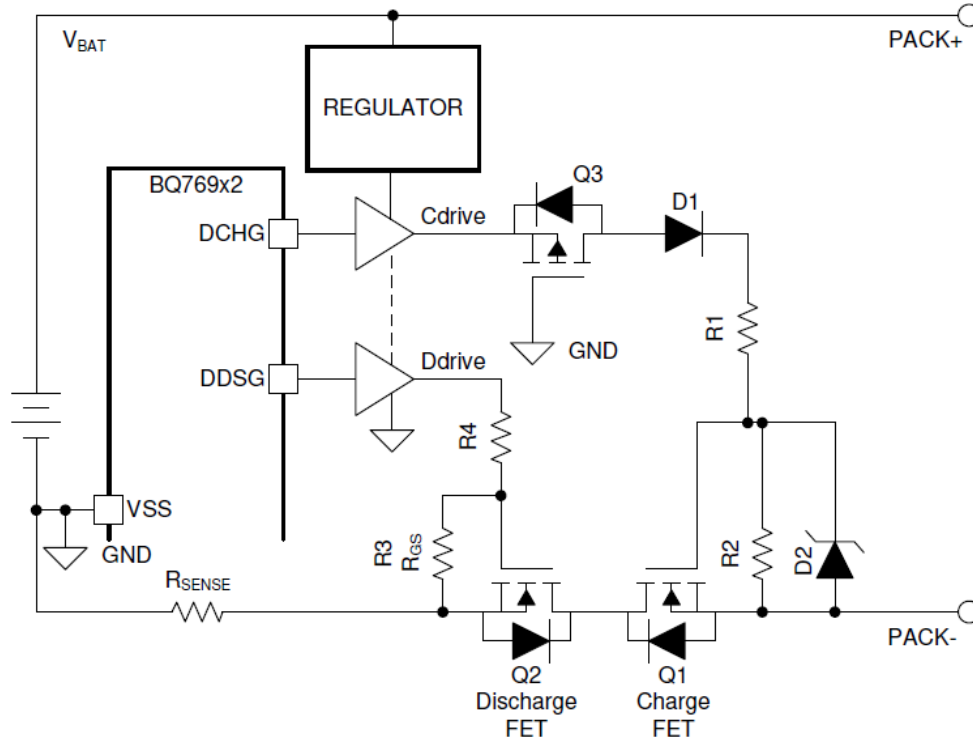


Figure 8. BQ76952 典型低边驱动电路

因此，即使电池包的负载侧仍然需要低边方案，BQ769x2 也可以满足用户的需求！

此外，由于有寄生参数的存在，对电池包在某些恶劣的条件下的正常工作会带来一些挑战。因此必要时，在设计驱动电路时也需要对他们进行更周密的考虑，参考文献 8-10 中有更详细的分析和设计，本文不再赘述。

2.2 串联 or 并联

串联架构的充电口和放电口共用一个端口，缺点是 CFET 和 DFET 的数量均需要按照充放电电流的最大值进行选型，若充电电流和放电电流相差比较大时，比如一般电动车锂电池包的充电电流要比放电电流小，选择串联架构，则需要选择比实际需要更多的 CFET，造成不必要的浪费。并且无论是充电还是放电，所有的电流都需要经过 CFET 和 DFET，会产生更多的损耗和热，一定程度上也减少了电池的有效容量。优点是不需要考虑反向电流的问题，因为 CFET 和 DFET 的背靠背连接可以阻断反向电流。此外，串联架构可以节省一根功率线和一个接线端子。

相比串联架构，并联架构可以按照实际的充放电电流需要分别选型 CFET 和 DFET 的数量和型号。并且无论是充电还是放电，都只经过一级 FET，所以损耗和发热也都更少。缺点是需要考虑反向电流，如经 CFET 的体二极管流向充电口，或经过 DFET 的体二极管流向电芯，若要阻断这些电流路径，需

要额外的电路辅助实现，参考文献 14 有更加详细的电路和测试结果，本文不再赘述。此外，并联架构需要多一根额外的功率线和一个额外的端口，有些场合不适合使用。

注：有些文档也会将串联方案称为同口方案，并联方案称为异口或分口方案。

3 其他两轮车 BMS 架构

除了上述按照 CFET 和 DFET 的位置分类外，还可以按照模拟前端的数量，有无 MCU 等对两轮车 BMS 架构进行分类。

3.1 级联架构

按照模拟前端的数量，可以将两轮车 BMS 分为级联架构和非级联架构。

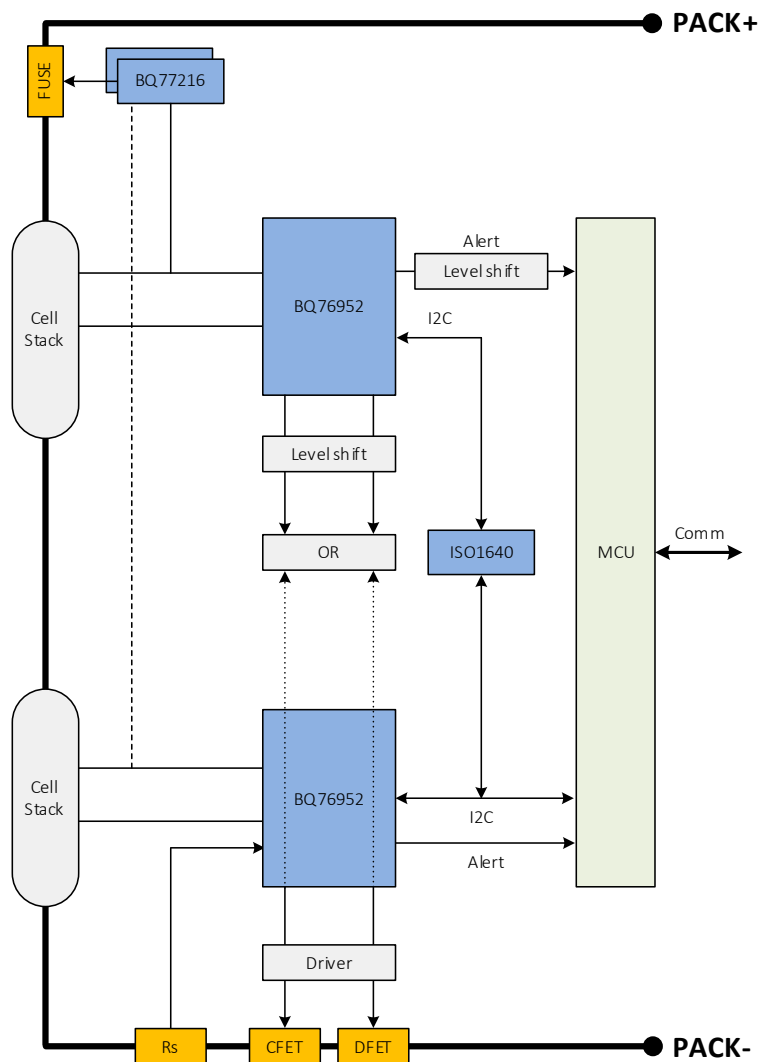


Figure 9. 级联架构

目前主流的电动两轮车 BMS，如电动自行车，滑板车，平衡车等，一般采用 10S，14S 或者 16S 电池包，一颗 BQ769x2 就可以支持，所以对于目前主流的电动两轮车 BMS，采用上述单颗 AFE 方案即可，Figure 2 ~ Figure 5 均为非级联架构。但对于一些要求功率比较大的应用场合，如电轻摩或者电摩，其电压通常高于 60V，则需要采用高于 16 串的电池包来实现更大的功率，单颗 BQ76952 已经不足以支持，需用采用两颗进行级联使用，也就是采用级联架构。

Figure 9 所示为一种典型的级联架构示意图。BQ76952 和 BQ777216 均支持级联使用，具体的级联方法可分别参考文献 4，5。

因为高压侧的 BQ76952 是以低压侧的 V_{stack} 作为参考地的，所以高压侧 BQ76952 的通讯需要隔离 I2C。

图中所示 ISO1640 为 TI 最新的隔离 I2C 产品，支持高达 1.7MHz 的双向数据传输运行频率，采用 TI 的电容隔离技术，与光电耦合器相比，这项隔离技术在功能、性能、尺寸、功耗方面更具优势。

3.2 独立架构

按照有无 MCU，可以将两轮车 BMS 分为独立架构和非独立架构。Figure 2 ~ Figure 5 均有 MCU 搭配工作，所以均为非独立架构。Figure 7 中 AFE 则脱离了 MCU 而独立工作，所以为独立(standalone)架构。当 BQ769x2 工作在独立模式时，仍然可以对电池状态进行监控，对充放电 FETs 进行控制，当触发保护条件时，自行控制 FETs 关断实施保护，当保护条件撤去时，自行恢复 FETs 导通。

独立架构的优点是可以节省一颗 MCU，适用于对成本要求较为苛刻的应用场合。但是因为缺少 MCU，所以在灵活性上有所损失，用户需要按照实际需求进行选择独立还是非独立 BMS 架构。

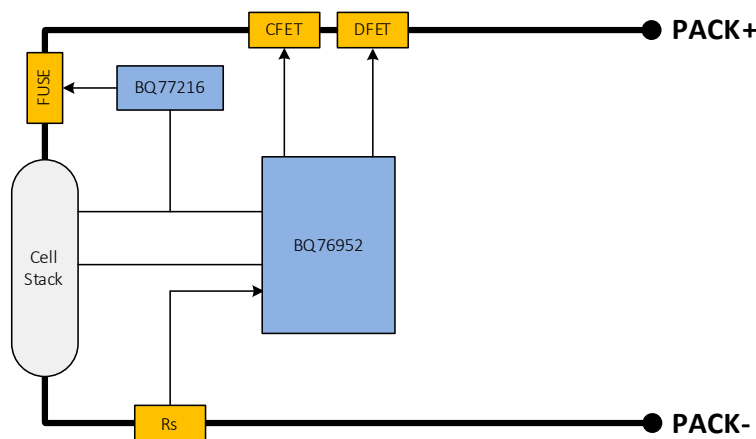


Figure 10. 独立架构

4 参考文献

1. 具有精确电池测量和高侧 MOSFET 控制功能的 10 节至 16 节串联电池组参考设计 (TIDA-010208)
2. BQ76952 3-Series to 16-Series High Accuracy Battery Monitor and Protector for Li-Ion, Li-Polymer, and LiFePO4 Battery Packs datasheet (SLUSE13A)
3. How to stack battery monitors for high-cell-count industrial applications
4. BQ76952 Evaluation Module User Guide (SLUCC33A)
5. BQ76952 Technical Reference Manual (SLUUBY2A)

6. *BQ76200 high-voltage battery pack front-end charge/discharge high-side NFET driver datasheet (SLUSC16B)*
7. *Multiple FETs with the BQ76952, BQ76942 Battery Monitors*
8. *高串数锂电池包短路保护电路的设计及考虑因素 (ZHCAAJ0)*
9. *基于 BQ76952 的电池包短路保护 DSG FET 损坏原因及优化方法*
10. *Using Low-Side FETs with the BQ769x2 Battery Monitor Family*
11. *10s-16s battery pack reference design with accurate cell measurement and high-side MOSFET control (TIDA-010208)*
12. *Multi-Cell 36-48V Battery Management System Reference Design (TIDA-00792)*
13. *bq76200 Beyond the Simple Application Schematic (SLUA794)*
14. *Parallel Paths with the BQ76952 Battery Monitor Family*

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司