

Application Brief

设计适用于汽车应用的快速充电和放电超级电容器备用系统



Charles Harthan

新兴的电动汽车 (EV) 传动系统正在改变汽车的制造方式，但是电动汽车如何影响动力总成之外其他部件的设计？许多 EV 在充电口和微控制器单元 (MCU) 场系统中添加备用电源系统，以便在汽车主电池不可用时提供应急电源。如图 1 所示，充电口是充电电缆插入 EV 的端口，在充电口内，电机将充电电缆夹到 EV 上，以验证充电期间的连接是否安全。对于北美充电标准 (NACS) 充电口，需要用于电机的备用电源系统，因为充电口为 ASIL-D 级。MCU 场是车辆控制安全气囊、紧急制动和传感器等系统的大脑。在汽车电池断开连接的情况下，必须为这些关键系统提供备用电源。虽然 NACS 充电口和 MCU 场具有不同的功能，但是两者都对驾驶员安全至关重要，并且由于可快速充电，因此利用超级电容器作为备用电源。为了设计这些超级电容器备用系统，工程师面临以下挑战：在快速充电的同时管理功率损耗、精确充电以利用超级电容器的全部容量，以及快速使超级电容器升压以支持备用功能。



图 1. EV 充电口

根据应用规格选择正确的充电器拓扑

超级电容器必须快速充电，以确保在汽车启动之后可以及时提供备用电源，但如何根据系统要求选择正确的充电器拓扑？公式 1 涉及电压和充电时间，有助于为充电口和 MCU 场选择正确的充电器拓扑。在方程式 1 中， I 是充电电流， C 是总电容， dV 是超级电容器电压， dT 是充电时间。

$$I = C \times \frac{dV}{dT} \quad (1)$$

通常，与 10V 的充电口相比，MCU 场具有 48V 的更高充电电压，以提供更长时间的备用电源和更短的充电时间 (< 60 秒)。因此，与充电口相比，MCU 场应用需要更大的充电电流，从而导致更大的功率损耗。为了支持更高的功率耗散，开关充电控制器是 MCU 场的有效充电器拓扑。开关行为有助于减少功率损耗引起的热量，而控制器拓扑将开关 FET 放置在充电器外部以提高电源能力。由于功率损耗较小，充电口应用可使用线性充电器。由于线性充电器不需要像开关充电控制器那样的电感器和 MOSFET，因此线性充电器还有助于减少元件总数。

有助于更大限度增加超级电容器的电荷

要解决的另一个关键挑战是尽可能使超级电容器充电至满电荷状态。所有充电设计都具有充电电压精度规格，详细说明了实际充电电压可以高于或低于目标充电电压的程度。环境温度也会影响充电电压精度。一些 IC 在 25°C 环境温度下可以具有 1% 的充电电压精度，但在更高和更低的环境温度下，精度可能降低。充电电压精度对于充电口和 MCU 场应用非常重要。如果实际充电电压低于预期，则超级电容器在备用模式期间可使用更少的电荷。如果充电电压高于预期，则超级电容器的充电电压可能高于额定值，这会导致电容器性能下降。图 2 突出显示了超级电容器中的可用能量如何随充电电压精度呈指数增长或下降。具体来看，充电电压精度范围为 1% 至 2%，该图显示了充电电压精度变化 1% 如何使超级电容器的能量过度充电或充电不足加倍。因此，在设计超级电容器系

统 (如充电口和 MCU 场) 时必须考虑充电电压精度, 以在不牺牲寿命的情况下更大限度增加超级电容器中的可用电荷。

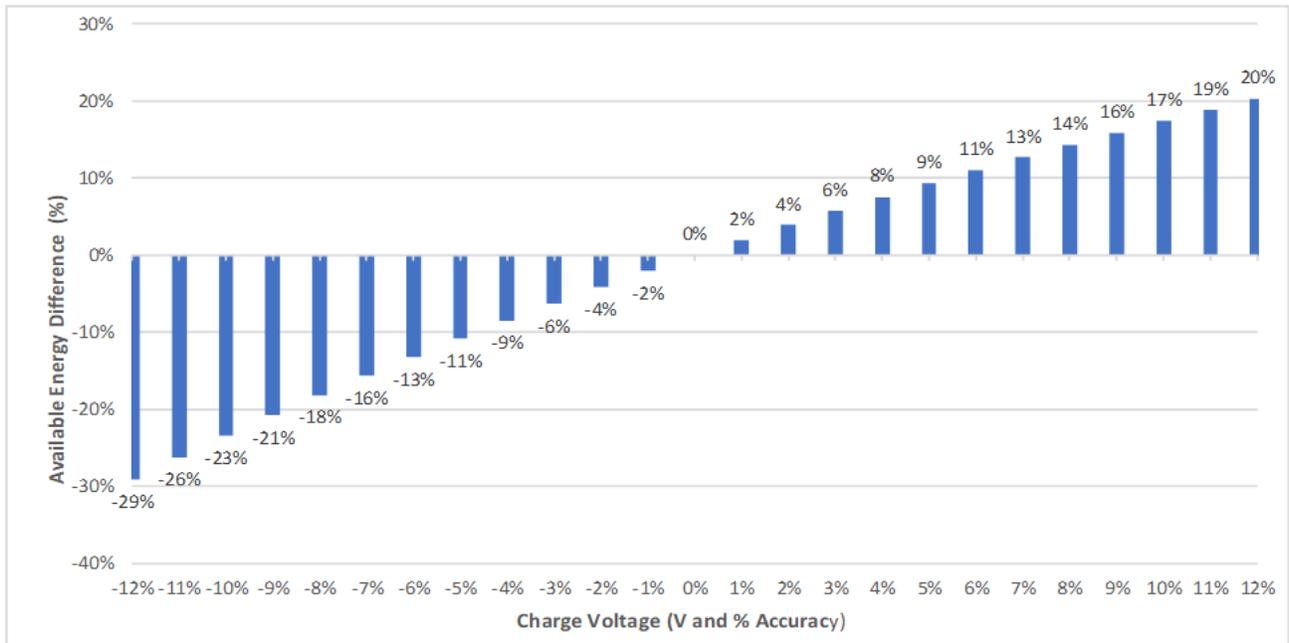


图 2. 可用能量差与充电电压之间的关系

升高超级电容器电压, 在备用模式下为系统供电

超级电容器系统的另一个设计挑战是将超级电容器的电压升高到足以为系统供电的电平。对于充电口, 超级电容器总共充电至 10V, 而用于解锁车门的电机驱动器通常需要 60W (10V, 6A), 因此需要升压转换器来在超级电容器放电时升高功率。实现升压的两种方法如下面的方框图所示: 同一 IC 上的充电和升压或者单独 IC 上的充电和升压。除了电机驱动器元件被 MCU 取代之外, MCU 场的方框图是相同的。充电器和升压相结合的主要好处是减少元件总数并简化系统设计。

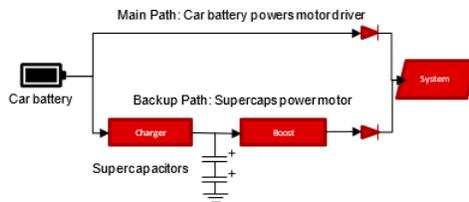


图 3. 充电器和升压独立方框图

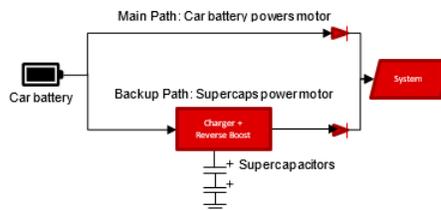


图 4. 充电器和升压组合方框图

BQ25173-Q1 和 BQ25856-Q1 超级电容器充电器

BQ25173-Q1 和 **BQ25856-Q1** 是可用于汽车应用 (如充电口和 MCU 场) 的线性、开关超级电容器充电器。BQ25173-Q1 可以为 1 至 4 个串联的超级电容器充电, 并具有以下优势:

- 通过 2 μ A 输入静态电流和 350nA 静态电流, 更大限度减少汽车电池和超级电容器的电流消耗
- 从 -40°C 至 125°C 环境温度下, 以 $\pm 1\%$ 的充电电压精度将超级电容器充电至目标充电电压
- 采用线性充电拓扑, 无电磁干扰 (EMI)
- 利用并联 BQ25173-Q1, 实现 $> 1A$ 的充电电流和更出色的热性能

BQ25173-Q1 需要与升压 IC 配对, 如充电器 + 升压独立方框图中所示。BQ25856-Q1 是高功率充电应用 (如 MCU 场) 的理想选择, 具有以下优势:

- 支持高输入和输出电压应用, 输入和输出可耐受高达 70V 的电压
- 能够以正向和反向功率模式对超级电容器进行充电和升压
- 在正向和反向模式下, 以高达 20A 的充电电流快速对超级电容器充电
- 在 -40°C 至 125°C 环境温度下, 以 $\pm 0.5\%$ 的充电电压精度帮助将超级电容器充电至目标充电电压

BQ25856-Q1 充电控制器的宽 V_{in} 范围支持直接连接到 12V 或 48V 汽车电池, 反向升压模式功能可在提供不间断系统电源的同时节省额外的升压转换器 IC。BQ25173-Q1 和 BQ25856-Q1 超级电容器充电器有助于为低功率和高功率超级电容器备用应用提供设计。

结语

随着更多的 EV 系统采用电力驱动, 超级电容器备用电源越来越受欢迎, 充电口和 MCU 场就是两个需要备用电源的示例。BQ25173-Q1 和 BQ25856-Q1 是两个可用于汽车级备用应用的超级电容器充电器选项。BQ25173-Q1 是用于具有线性拓扑的 EMI 敏感系统的良好选项, 需要外部升压 IC 来使超级电容器放电。BQ25856-Q1 是用于高功率应用的开关充电控制器选项, 反向模式功能可对超级电容器进行升压, 从而提供不间断电源来支持系统。BQ25173-Q1 和 BQ25856-Q1 可帮助工程师为电动汽车系统设计各种超级电容器备用系统。

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司