

Application Note

探寻适合为扫地机器人系统供电的电池充电设计



Gabriel Xu (Field Applications Manager), Eric Zhao (Applications Manager for Battery Chargers)

摘要

扫地机器人具有丰富的功能和良好的地板清洁效果，因此越来越受欢迎。日常生活中，不需要人工参与即可清理地板。

电池管理系统 (BMS) 包含电池充电、模拟前端和电量监测，是扫地机器人电源的关键部分。本应用手册从应用要求、技术挑战、设计集成以及一些简化扫地机器人设计和改善客户体验的特性方面对充电设计进行了比较。

内容

1 引言.....	2
2 充电扩展坞设计和板载充电设计的比较.....	2
3 电池充电设计的主要设计注意事项.....	3
3.1 充电器 IC 拓扑选择.....	3
3.2 如何在充电器 IC 控制器与集成设计之间做出选择.....	4
4 可简化扫地机器人充电设计的电池充电器特性.....	5
4.1 检测异常充电和运行情况并提供保护.....	5
4.2 采用 JEITA 温度曲线的安全充电可实现较长电池寿命.....	5
4.3 低功耗可延长使用寿命和货架期.....	6
5 总结.....	6
6 参考资料.....	6

插图清单

图 2-1. 充电扩展坞设计.....	2
图 2-2. 板载充电设计.....	2
图 3-1. BQ24725 降压充电器控制器.....	3
图 3-2. BQ25731 降压/升压充电器控制器.....	4
图 3-3. BQ25798 完全集成式降压/升压充电器.....	4
图 4-1. BQ25798 充电电流温度曲线.....	5

表格清单

表 4-1. 静态电流规格.....	6
表 5-1. 扫地机器人的充电器比较.....	6

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

扫地机器人正在逐渐成为普通家庭的必备设备。机器人可以自动对硬地板和地毯进行除尘，并对硬地板进行拖地清洁，极大减轻了我们的清洁工作量和时间。扫地机器人中配备的功能越来越多，促进清洁效果不断提升。吸力和侧边滚刷是提高清洁效果的关键要素。智能传感器可避开障碍物和识别地板类型，是确保智能运行的重要组成部分。所有这些功能均需要电源才能运行。电池容量需支撑机器人运行数小时，以便完成一次清扫任务。一些先进功能（包括拖地和用于防霉的自动干燥）带来了有关电源要求和系统热设计方面的更多挑战。

2 充电扩展坞设计和板载充电设计的比较

电池充电有两种设计：充电扩展坞或板载充电。充电扩展坞可与移动清扫机器人主体分开，无需担心尺寸、重量和散热问题。充电扩展坞的传统实现方案是具有恒定电流 (CC) 和恒定电压 (CV) 调节功能的隔离式交流/直流转换器，如图 2-1 所示。将微控制器 (MCU) 用作中央电源转换控制的单级方法的成本相对较低。主要缺点是充电精度低，并且电池电压检测点离扩展坞中的电池充电系统较远。人们越来越担心由 MCU 控制的电池充电精度较低，并且电池寿命可能受到影响 [1]。由 MCU 控制的系统的另一个缺点是具有几百 kHz 的开关频率，而且提供的设计尺寸并不理想。第三，主要充电电流的接触点会增加阻抗并产生氧化效应。氧化后，电池可能因此无法充满电，并且满电状态电池的使用时间也会缩短。

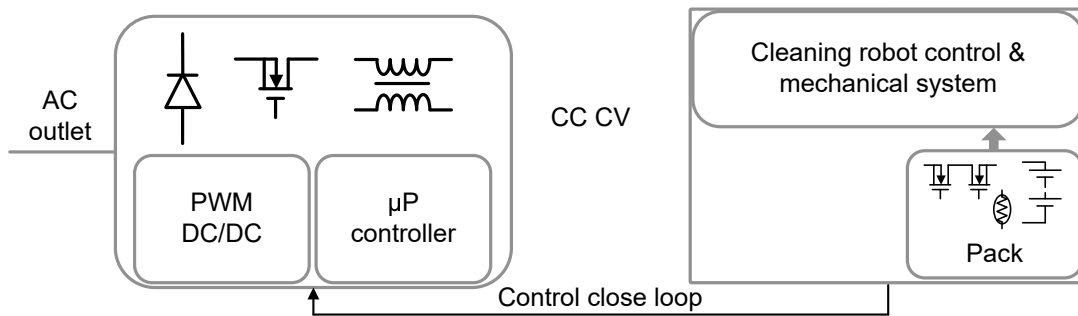


图 2-1. 充电扩展坞设计

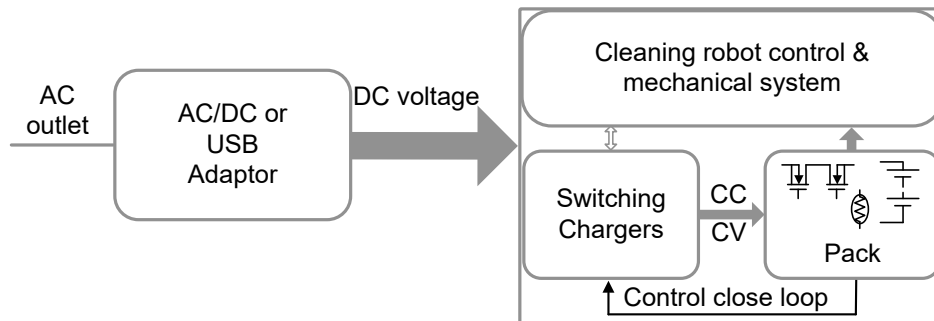


图 2-2. 板载充电设计

制造商旨在通过具有高可靠性、满足长期需求的设计来打造自身品牌形象。电池充电的精度、设计的尺寸和电池寿命是电池充电面临的主要挑战。图 2-2 所示的板载设计可以提供具有固有高充电精度的充电功能、更小的设计尺寸、更高的运行效率以及通用 USB 充电设计的灵活性等。

充电精度与电池容量的最佳利用率和电池寿命有关。TI 电池充电器广泛用于扫地机器人应用，可在整个温度范围内实现 $\pm 0.5\%$ 的精度。例如，在 0°C 至 85°C 的结温范围内，降压/升压充电器 BQ25730 电池电压精度规格 $V_{\text{BAT_REG_ACC}}$ 为 $\pm 0.5\%$ [2]。

使用工作频率高达 750KHz 及以上的专用充电器可减小充电设计尺寸，并且强大的驱动器电路可实现出色的效率。工作频率可达到 MCU 工作频率的 5 倍或更高。借助适用于 MOSFET 的专用栅极驱动器电路可提高性能，从而实现更小的尺寸和更好的热性能。板载电池充电设计还具有灵活性优势，可最大限度地提高输入源利用率，并降低潜在的总 BOM 成本。板载开关充电器可采用交流/直流适配器或标准化的 USB 适配器作为输入源。

3 电池充电设计的主要设计注意事项

为实现性能和成本之间的更好权衡，并提供满意的电池充电用户体验，需考虑多个不同的设计注意事项。我们可以从充电器拓扑、设计紧凑性和特殊特性方面来进行设计讨论，以便实现出色的设计并提供卓越的客户用户体验。

3.1 充电器 IC 拓扑选择

根据适配器和电池的电压，板载电池充电拓扑可以是降压或降压/升压类型。如果使用降压充电器，则需要一个高侧 MOSFET 和一个同步 FET。充电工作频率可提高至 700KHz 至 800KHz。设计尺寸可以缩小。降压充电器要求输入电压具有足够的裕量，以便将电池充至满电状态。4 节串联电池具有 16.8V (典型值) 完全充电电压。适配器电压需要有足够的裕量来适应非设计元件充电路径上的压降以及增加的接触电阻，如图 3-1 所示。在适配器可用的情况下，BQ24725A 充电器控制器可广泛应用于降压充电设计 [3]。

降压/升压充电器支持灵活地通过不同输入电压为不同的电池配置充电。其优势在于同一适配器可用于具有不同的电池配置、电池电压和容量的不同代际或平台的扫地机器人。这有助于降低研发成本和总系统成本。长期来看，标准化的 USB-PD 充电适配器可以用作输入充电电源，从而进一步降低整个设计的成本。图 3-2 展示了降压/升压充电器控制器 BQ25730。

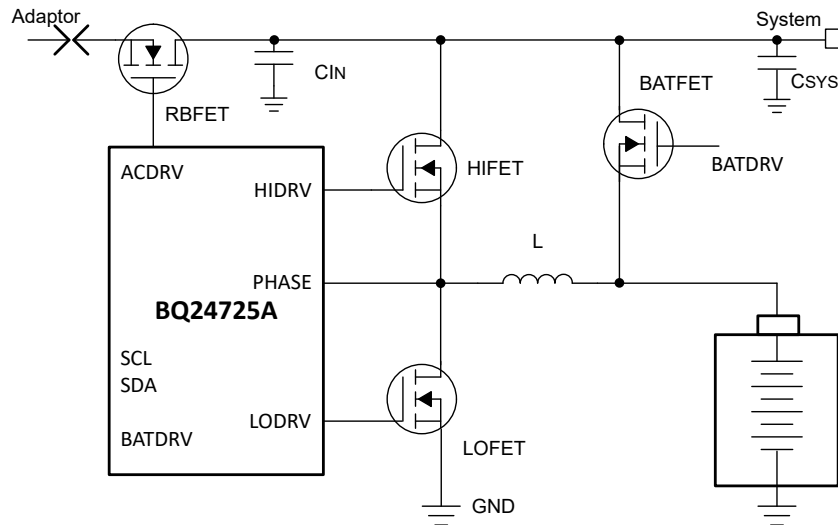


图 3-1. BQ24725 降压充电器控制器

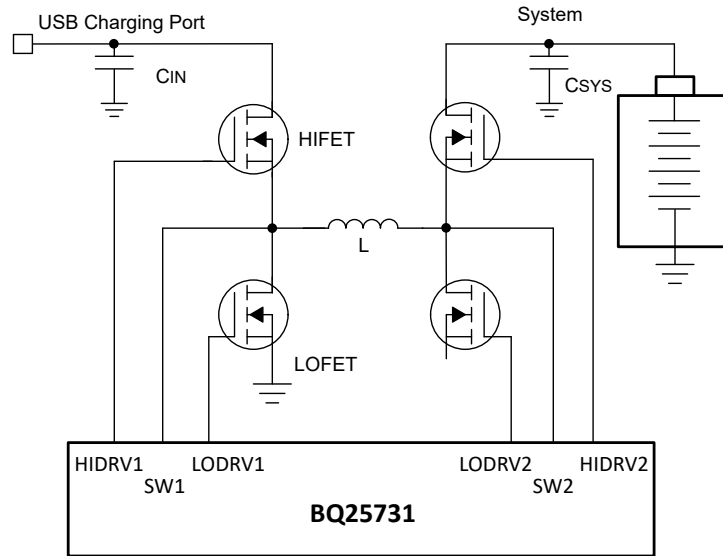


图 3-2. BQ25731 降压/升压充电器控制器

3.2 如何在充电器 IC 控制器与集成设计之间做出选择

借助充电控制器，设计人员能够以相对较低的成本灵活地实现不同功率级的定制设计。由于板载充电的空间局限性，设计人员往往倾向于采用完全集成式设计。BQ25798 提供了降压/升压充电设计选项，在 4mm x 4mm QFN 封装中集成了所有 MOSFET 和感应元件，集成设计如图 3-3 所示 [4]。BQ25798 集成了所有 MOSFET，并已广泛用于清洁应用。

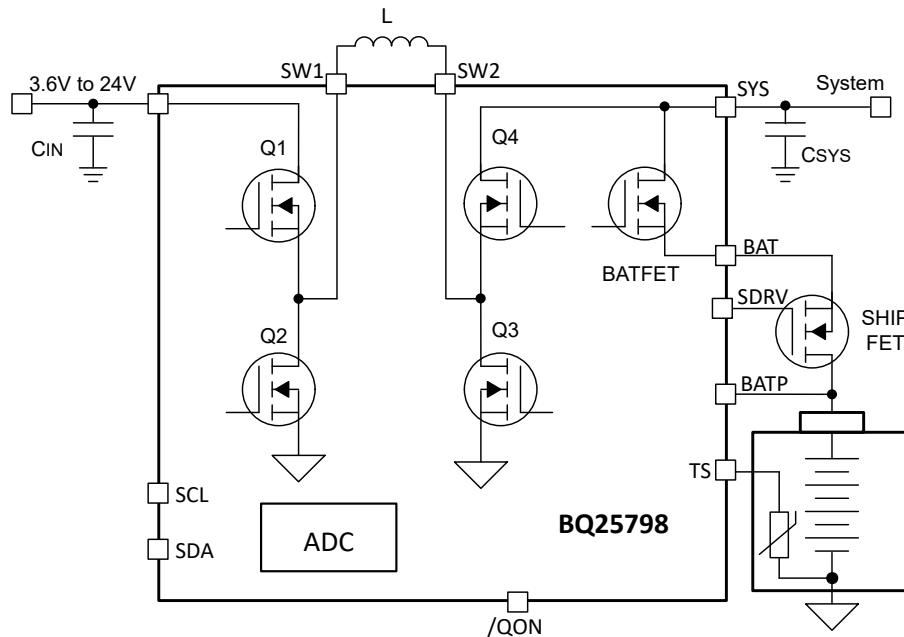


图 3-3. BQ25798 完全集成式降压/升压充电器

4 可简化扫地机器人充电设计的电池充电器特性

板载充电器提供了许多特性，可简化设计并改善客户体验。

4.1 检测异常充电和运行情况并提供保护

系统主机必须获得有关输入源异常情况（例如过压 (OV) 或欠压 (UV)）的信息。该特性对于具有自清洁功能的扫地机器人非常有用。与自清洁操作相关的强烈振动可能会引起接触问题。集成式 ADC 可以通过监控输入电压来检测由振动导致的异常情况。

4.2 采用 JEITA 温度曲线的安全充电可实现较长电池寿命

电池制造商提供了温度范围规格。JEITA 曲线是一种基于电池温度的常见充电电压和电流曲线，如图 4-1 所示。借助集成的温度曲线，主机无需执行复杂的温度监控以及相关的充电电流或电压调整。该特性不仅有助于延长电池寿命，还可以缩短充电时间，从而针对具有拖地功能的机器人提供更好的客户体验。将拖布用热风烘干 10 到 30 分钟后，系统的环境温度会较高。具有温度曲线管理功能的电池充电器仍可以保持在 JEITA 曲线范围内为电池充电，并且不会影响电池寿命。这样可以缩短整体充电时间，从而为客户提供更佳的用户体验。 T_{COOL} 有 4 个选项 [5C、10C、15C 和 20C]，同时 T_{WARM} 也有 4 个选项 [40C、45C、50C、55C]。充电器电压和电流相对于调节值具有不同的百分比。例如， I_{CHG} 在 T_{COOL} 处有 4 个选项由 ISETC[1:0] 控制，在 T_{WARM} 处有 4 个选项由 ISETH[1:0] 控制。 I_{CHG} 百分比和这些不同百分比的组合涵盖了广泛的充电温度曲线。

降压/升压充电器支持灵活地通过不同输入电压为不同的电池配置充电。其优势在于同一适配器可用于具有不同的电池配置、电池电压和容量的不同代际或平台的扫地机器人。这有助于降低研发成本和总系统成本。长期来看，标准化的 USB-PD 充电适配器可以用作输入充电电源，从而进一步降低整个设计的成本。图 3-2 展示了降压/升压充电器控制器 BQ25730。

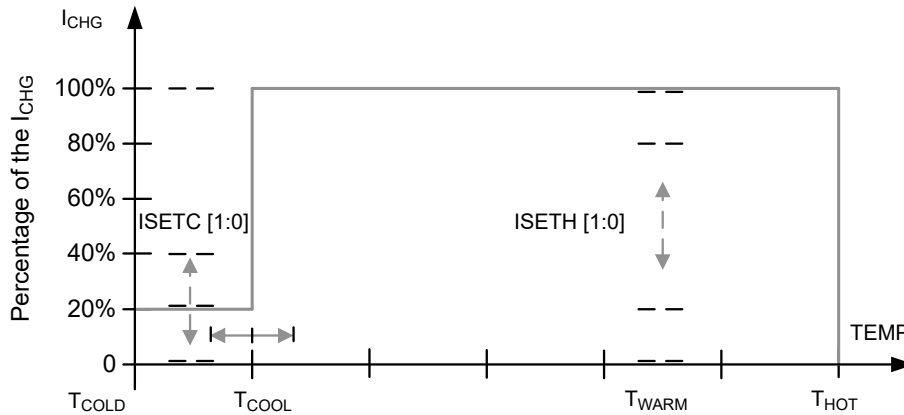


图 4-1. BQ25798 充电电流温度曲线

4.3 低功耗可延长使用寿命和货架期

当长时间处于待机状态不工作时，电池充电器的功耗必须保持非常低。为此，BQ25798 提供了一个特性，即可以通过关闭图 3-3 中所示的可选 SHIP FET 来将充电器 IC 设置为运输模式，从而实现 11uA 的超低功耗。表 4-1 展示了 BQ25798 数据表中电气特性表的参数测试条件。

表 4-1. 静态电流规格

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
IQ_BAT_OFF	充电器处于运输模式时的静态电池电流 (BATP)	VBAT = 8V, 无 VBUS, I2C 启用, ADC 禁用, 处于运输模式, TJ < 85°C		11	16	μA

扫地机器人系统可以通过拉低 QON (按 ON 按钮) 来唤醒, 如图 3-3 所示。所有这些特性均由硬件实现并有助于系统设计。

5 总结

扫地机器人具有丰富的自动功能, 并提供良好的地板清洁效果, 因此越来越受欢迎。表 5-1 比较了应用 [2] [3] [4] 的应用手册中不同设计的关键参数。电池充电管理和设计在打造品牌形象的过程中发挥着非常重要的作用。板载充电器设计可在不影响电池寿命的情况下充分利用电池容量。这类设计还可实现高功率密度以及与总 BOM 成本的良好权衡。保护功能、JEITA 温度曲线和低静态电流等共同作用, 可简化设计, 并有助于延长使用寿命, 进而最终提供更好的客户体验。

表 5-1. 扫地机器人的充电器比较

	BQ25725A	BQ25730	BQ25798
拓扑	降压	降压/升压	降压/升压
开关频率 (KHz)	615、750、885	400、800	750、1500
电池配置	1 至 4 节串联	1 至 5 节串联	1 至 4 节串联
需要外部 FET	2 (SW) + 1 (PP) ⁽¹⁾ + 1 (RBFET)	4	0
V _{BAT} 充电精度	± 0.5%	± 0.5%	-0.65% 至 0.55%
热敏电阻	否	否	JEITA
ADC	否	8 位	16 位
运输模式和 Iq	否	否	是, 11uA
封装 (mm x mm)	3.5x3.5 QFN	4x4 QFN	4x4 QFN

(1) SW = 关, PP = 电源路径

6 参考资料

1. *Factors that affect cycle-life and possible degradation mechanisms of a Li-Ion cell based on LiCoO2*, Soo Seok Choi, Hong Slim, Journal of Power Sources 111 (2002) pp. 130-136.
2. 德州仪器 (TI), [BQ25730 : 具有电源路径和 USB-C® PD OTG 的 I²C 1-5 芯电池 NVDC 降压/升压电池充电控制器](#), 产品文件夹。
3. 德州仪器 (TI), [BQ24725A : 具有 N 沟道功率 MOSFET 选择器的 SMBus 1-4 芯降压电池充电控制器](#), 产品文件夹
4. 德州仪器 (TI), [BQ25798 : 具有双输入选择器和 MPPT 的 I²C 控制型 1-4 芯、5A 降压/升压太阳能电池充电器](#), 产品文件夹。

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