

亲爱的，我的充电线在哪里？

Thong Huynh, 应用工程总监

简介

就现在而言，更常见的问题可能是“亲爱的，我的电池充电器在哪里？”世纪之交，电池（尤其是基于锂离子的电池）成本的降低和性能的提高，推动了电池供电的储能和便携式设备的稳步增长。此外，超级电容器由于具有独特的性质，也越来越多地用于各种应用。铅酸电池是一项已有150年历史的技术，至今仍广泛用于汽车、轮椅、踏板车、高尔夫球车和不间断电源(UPS)系统。一旦能量耗尽，这些储能设备必须重新充电。2019年，全球充电IC出货量为11.6亿颗，预计2024年将增长至17.2亿颗，年增长率为8.6%，相当可观。收入分别为5181亿美元和7354亿美元，复合年增长率为7.3%。图1显示了这一趋势，其来自OMDIA的“电源IC市场跟踪-2019年”¹。

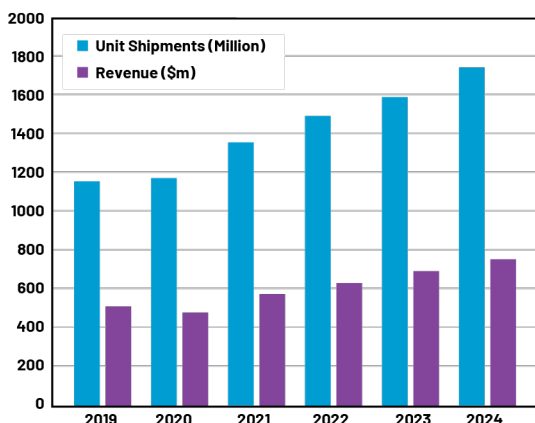


图1. 全球充电IC市场

对更多电力、更长续航里程或运行时间的需求，要求提高储能设备使用的电压。例如，机器人、无人机、电动工具和许多其他事物中使用的锂离子电池堆已经从一两个电池单元增加到多个（最多12个）电池单元。一个12芯锂离子电池堆可提供最大50.4 V的电压。在相同电流额定值下，12芯电池的续航时间是1芯

电池的12倍。或者，可以将12节电池并联以获得更高的功率，但这种方法会使电流增加12倍。更高的电流会导致更多的传导损耗，因此不宜采用并联电池。

带备用电池的应急照明、UPS备用电源、HVAC等工业系统使用24 V_{DC}电源，即使用24 V电池来为这些系统提供备用电源。然而，根据IEC 61131-2和IEC 60664-1标准，24 V_{DC}电源在瞬态条件下可升至60 V峰值电压。

在任何一种情况下，设备都要求充电器解决方案能够适应更高电池电压，并能承受瞬态事件期间的更高输入电压。

充电器基础知识

充电器有许多拓扑结构。线性充电器通过功率开关降低电源和电池之间的电压差。此类充电器效率最低，因为当电源和电池之间的电压差很大时，功率开关会消耗大量功率。升压充电器将来自电源的电压升压到电池电压。这种拓扑结构要求电源电压低于电池电压。降压充电器对来自电源的电压进行降压，并要求电源电压高于电池电压。升压-降压充电器可以使用高于或低于电池电压的电源电压为电池充电。这种拓扑结构需要四个功率开关（降压拓扑只需要两个），而且效率一般不高。

同步整流降压充电器效率最高，是本文的重点。图2显示了一个通用同步整流降压充电器电路。如今，大多数降压充电器都在相对较低的电压下运行。许多充电器的额定输入电压仅为28 V，有些为40 V。如果允许±10%的输入电压调节和2 V的降压充电器降压，那么额定值28 V的充电器实际上只能为5S锂离子电池堆（最大）充电。我们将研究一个新的60 V输入充电器IC系列，它支持更高充电电压——电池电压高达52 V（或12芯锂离子电池堆），并且可以承受65 V的输入电压瞬变。

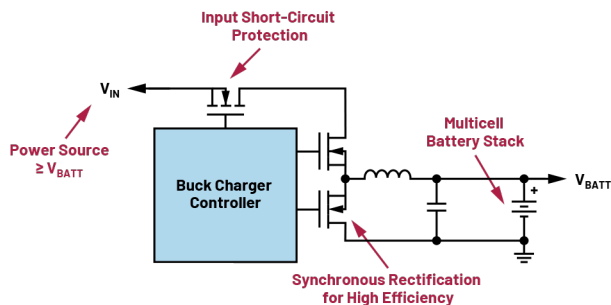


图2. 通用同步整流降压充电器

充电器的待机电流应很低以节省能源。Energy Star®规定待机功耗为30 mW或更少的手机充电器和其他小型充电器为五星。一星适用于待机功耗为300 mW或更高的充电器，其他星级适用于介于两者之间的其他充电器。Energy Star旨在降低个人充电器的功耗，这些充电器在不使用时大多也不会拔下来。在任何特定时间，全球有超过10亿个此类充电器连接到电网。

尽管铅酸电池、锂离子电池和超级电容器都是储能设备，但它们的充电/放电特性明显不同。我们将考察这些特性，并讨论每个特性的充电解决方案。一个好的电池充电器可提供良好的电池性能和耐用性，尤其是在不利条件下充电时。

铅酸电池充电器

铅酸电池是现存最古老的可充电电池，1859年由法国医生Gaston Planté发明²。一百五十年后，它仍然广泛用于汽车、轮椅、踏板车、电动自行车、高尔夫球车和UPS系统。

铅酸电池必须缓慢充电。典型充电时间为8到16小时。电池必须始终以充电状态存储，定期进行完全饱和充电对于防止硫酸盐化至关重要。通常的做法是在大约8小时内将铅酸电池充电至70%，然后再用8小时进行最重要的补足充电。如果铅酸电池不时接受完全饱和充电以防止硫酸盐化，则部分充电也没问题。让电池长时间处于浮动充电状态不会造成损坏。

找到理想的充电电压限值至关重要。高电压（高于2.45 V/单元）可产生良好的电池性能，但由于正极板上的板栅腐蚀，电池使用寿命会缩短。低电压限值会造成负极板硫酸盐化。温度也会影响电池电压，温度系数典型值为-5 mV/°C（每10°F每电池单元0.028 V）³。好的充电器必须补偿此温度系数，以避免电池在高温时过度充电或在低温时充电不足。

例如，MAX17702（参见图3）是一款完整的铅酸电池充电器控制器，设计支持4.5 V至60 V的输入电压范围。该器件提供高效率（超过97%）、高电压、同步降压解决方案，可为12 V/24 V/48 V铅酸电池组充电。图4a和4b显示了其充电周期和充电效率。

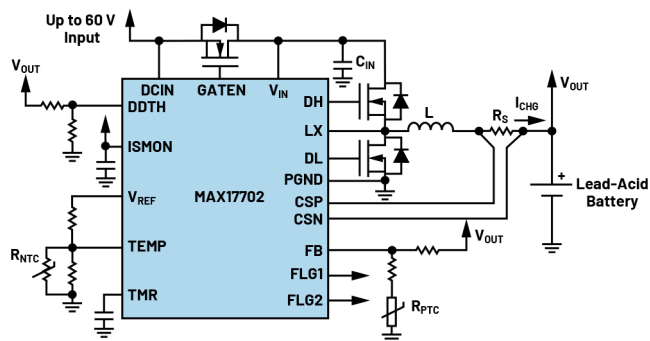


图3. 高压铅酸电池充电器控制器

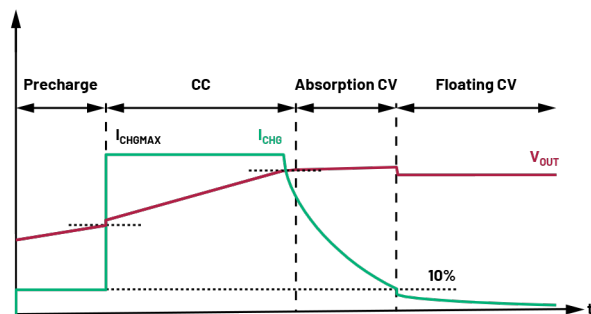


图4a. MAX17702铅酸充电周期

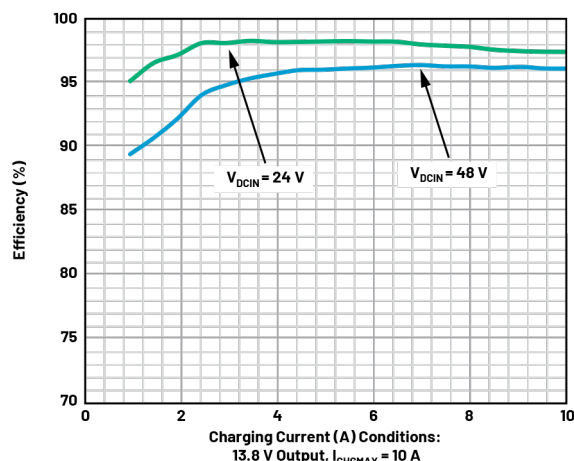


图4b. MAX17702充电效率

铅酸电池能量密度低，不适合便携式设备。便携式设备需要锂电池。

锂离子电池充电器

由于重量轻和高能量密度，锂离子电池是普遍接受的用于便携式应用、重工业、电驱动和卫星的电池。

锂离子电池的维护工作量很少。这种电池没有记忆效应，不需要故意完全放电就能保持良好状态。但它需要保护电路，电池堆内部和充电器均需要，以防止短路、过充、热失控和过度放电。锂离子电池如果在1.5 V/单元以下保持一周或更长时间，就可能产生枝状晶体，影响安全性。

为防止过度放电，内置电池保护电路将电池置于睡眠状态。当电池在放电状态下储存，自放电使电压降至截止点时，就会发生上述情况。常规充电器将这样的电池视为无法使用，电池包通常被丢弃。高级锂离子充电器具有唤醒特性或“预充电”功能，可以对由于过度放电而进入睡眠状态的锂离子电池充电。在预充电模式中，充电器应用很小的充电电流以将电压安全提升到2.2 V/单元与2.9 V/单元之间，从而激活保护电路，然后开始正常充电。

在正常充电期间，锂离子充电器以恒流恒压(CCCV)模式运行。充电电流是恒定的，电压达到设定限值时便不再上升。达到电压限值时，电池饱和，电流下降到电池不能再接受进一步的充电为止，此时充电终止。每个电池都有自己的低电流阈值。

锂离子电池在充电时应始终保持凉爽。锂离子电池不能吸收过多电荷。因此，监控电池温度及其充电电压以确保电池健康和安全性非常重要。良好的充电器必须包含这些特性。

图5给出了高级锂离子电池充电器的例子。MAX17703是一款高效率、高电压、同步、降压充电器控制器，设计支持4.5 V至60 V的宽输入电压范围。该器件为最多12芯锂离子电池堆提供了完整的充电解决方案。

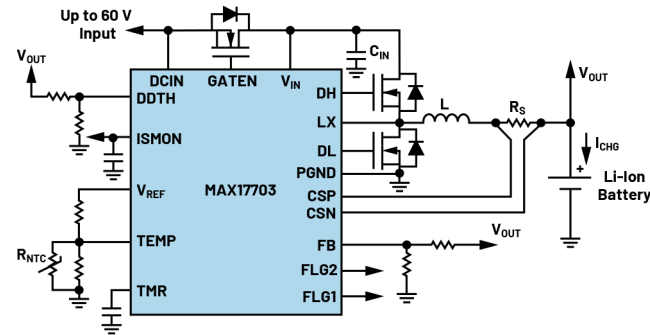


图5. 高级高电压锂离子电池充电器电路

该器件分别为 $\pm 4\%$ 和 $\pm 1\%$ 时提供精确的CCCv充电电流/电压。当充电电流减小到收尾电流阈值时，充电器进入补充充电状态；收尾定时器周期结束后，充电器退出充电状态。当输出电压低于充电阈值电压时，充电器启动充电周期。这是一个很棒的特性，可以让长时间留在充电座上的电池保持满电状态，而不会消耗太多电力，并且符合Energy Star要求。该器件可以检测和预处理深度放电电池，利用预充电特性将其唤醒。为了提供更多保护，该器件会检测电池温度，使得充电只能在规定的温度范围内进行。它还有一个输入短路保护特性，用于在输入意外短路时防止电池放电。图6显示了MAX17703的充电周期。

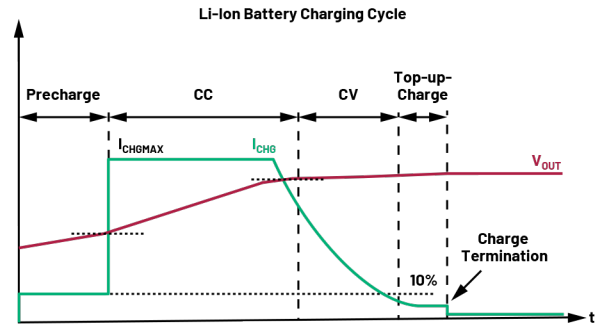


图6. MAX17703锂离子电池充电周期

超级电容充电器

超级电容器相比电池有一些独特的优势，因此越来越多地用于各种应用。超级电容器依据静电原理工作，没有化学反应，避免了与电池化学存储相关的寿命问题。其高耐用性允许数百万次的充/放电循环，使用寿命长达20年，比电池高出一个数量级。其低阻抗支持快速充电和放电，几秒钟便可完成。另外，它还有适度的长时间保持电荷的能力，这一切使超级电容器非常适合需要快速充放电循环的应用。超级电容器还能与电池并联使用，从而支持负载转换期间需要瞬时峰值功率传输的应用。

超级电容器的快速充放电循环要求充电器能够处理大电流，在充电过程中以恒流(CC)模式平稳工作，充电可能从0 V开始，一旦达到最终输出值，则以恒压(CV)模式工作。在高电压应用中，许多超级电容器串联在一起，需要充电器来管理高输入和输出电压。

MAX17701（参见图7）是一款高效率、高电压、同步、降压超级电容充电器控制器，专为大电流充电而设计，可在4.5 V至60 V的输入电压范围(V_{DCIN})内工作。输出电压可编程，范围为1.25 V至($V_{DCIN} - 4$ V)。该器件利用外部N-MOSFET提供输入电源侧“逻辑或”功能，防止超级电容器放电回到输入端。图8显示了简单但电流很高的充电曲线。

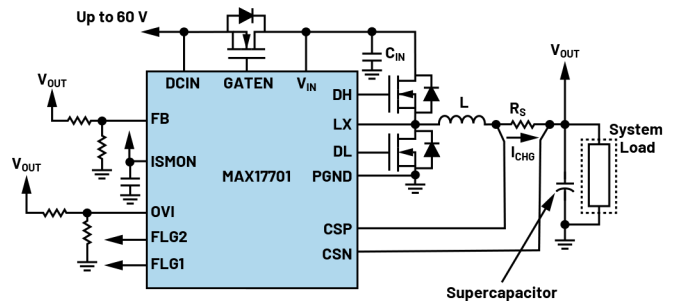


图7. 高电压、大电流超级电容充电器

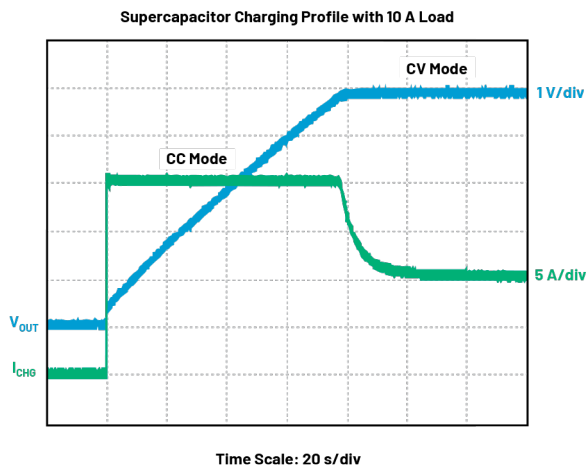


图8. MAX17701超级电容充电曲线

结论

电池供电的储能和便携式设备的使用稳步增长。对更多电力、更长续航里程或运行时间的需求，要求提高电池堆使用的电压。在使用24 V_{DC}电源的工业系统应用中，瞬态条件下可以达到60 V峰值电压。传统充电器解决方案大多以28 V输入为限。得益于高电压同步降压充电拓扑结构，ADI公司的新型充电器解决方案可实现更高的电池堆电压和充电效率。



作者简介

Anthony T. Huynh（又名Thong Anthony Huynh）是Maxim Integrated（现为ADI公司的一部分）的应用工程技术团队(MTS)的主要成员。他在设计和定义隔离式与非隔离式开关电源及电源管理产品方面拥有20多年的经验。在ADI公司，他定义了100多种电源管理产品，包括DC-DC转换器、热插拔控制器、以太网供电以及被世界领先制造商采用的各种系统保护IC。

Anthony持有4项电源管理方面的美国专利，并撰写了该领域的多篇公开文章和应用笔记。他拥有俄勒冈州立大学电气工程学士学位，并修完了波特兰州立大学电气工程硕士学位的所有课程，同时他曾作为兼职讲师在波特兰州立大学教授电源电子课程。

铅酸电池、锂基电池和超级电容器都是储能设备，具有非常不同的充电/放电特性，需要专用充电器才能获得最优充电解决方案。高级电池充电器还提供充分的保护以保障电池性能和耐用性，尤其是在不利条件下充电时。这些在较新的充电器解决方案中也得到解决。

参考资料

- 1 Kevin Anderson。“电源IC市场跟踪-2019年”。OMDIA，2020年9月。
- 2 “铅酸进展”。Battery University，2016年7月。
- 3 US 31DC XC2 - 数据手册。U.S. Battery，2019年。

