

高能效比电池化成

作者: Seraph Hu
ADI公司营销工程师

摘要

ADI公司提供基于单硅芯片的电池化成控制系统综合解决方案AD8452。凭借准确的化成工艺性能,可优化每个电池的化成时间。高效的能量回收特性能够明显节省大规模电池制造的能耗。

简介

如图1所示,锂离子(Li-Ion)制造是一个很漫长的过程。前三个阶段准备必要的材料(电极、电解质、分离器等),并将它们组装成电池。最后一个阶段激活电池,使电池能够执行电气功能。这个激活过程称之为电池化成。这种分级过程可以确保电池的一致性。低存储容量(低于5 A)锂离子电池被广泛用于各种便携式设备,例如笔记本电脑和手机。对这些电池而言,生产成本问题比生产效率更为重要。同时,汽车蓄电池的总容量则要高得多,一般都是几百安培,这是通过上千个小型电池单元或几个高容量电池来实现的。对于这种类型的应用,电池的一致性更为重要,因此分级过程(提高电池的一致性)至关重要。与此同时,作为电池制造过程中化成成本的一部分,功率效率变得尤为重要。如果这些环保汽车使用的电池却是以浪费大量能源的方式生产出来的,那将是极大的讽刺。

目前可以使用集成精密模拟前端和降压-升压PWM控制器的单硅芯片来实现更高质量、更高效的电池化成/分级过程。此解决方案的精度优于0.02%,能效比高于90%。此外,在电池化成和分级期间,释放的能量可以被其他电池制造流程循环利用。很多现有系统会将电池放电至阻性负载。有些客户将此能量用作楼宇供暖或直接把热空气排出至室外。尽管将电池放电至阻性负载是最简单的电池放电方式,但是当大量电池需要经历充放电循环时,成本就会快速增加。我们所提议的系统具有高单通道效率,但其真正的价值在于,这种系统只需增加少量复杂性,即可收回电池放电时释放的能量。这种架构可以节省超过40%的能量。

简言之,基于AD8452的单芯片解决方案使电池化成/分级过程具备以下特性:

- ▶ 降低电池成本
- ▶ 能量回收利用
- ▶ 高能效比
- ▶ 高测试精度

锂离子电池制造概述

图1显示锂离子电池制造过程。下线调理步骤中的电池化成和测试不仅是工艺瓶颈,还会对电池寿命、品质和成本产生极大影响。

电池化成是对电池进行初始充放电操作的过程。在这个阶段,将在电极上,主要是在阳极上形成特殊的电化学固体电解质界面层(SEI)。这个界面层对许多不同的因素都很敏感,在电池的整个使用寿命期间对电池的性能有很大的影响。根据电池的化学性质,电池化成可能需要许多天。在化成时使用0.1 C (C表示电池容量)电流是很典型的做法,需花费20小时完成完整的充放电周期,占总电池成本的20%至30%。

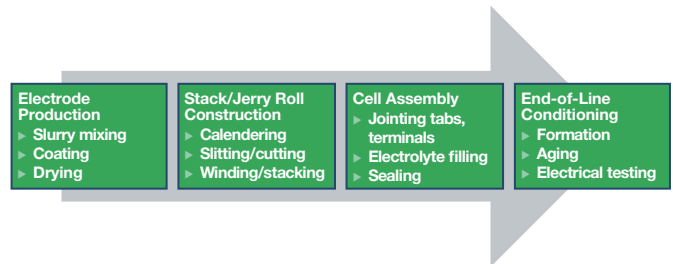


图1 锂离子电池制造过程。

电气测试可使用1 C电流充电、0.5 C电流放电,但每个周期依然需要花大约三小时。典型的测试序列要求执行多个周期。电池化成/分级和其他电气测试具有严格的精度规格,电流和电压控制在额定温度范围的 $\pm 0.02\%$ 以内。分级过程会使电池的电化学性能稳定下来。根据这一阶段记录的数据,具有相似电化学行为的电池将被分到一个模块和/或电池组。通过这种方式,最大限度使电动汽车动力系统达到一致。测量和控制精度将决定数据记录的质量,因此对整个电池电力系统的性能有着不可忽视的影响。

汽车电池制造面临的另一个挑战是能效比。效率在充电时必须保持在较高水平,并且如果可能的话应当在放电时进行能源的再循环。这不仅有助于遵守环保政策,还可以节省大规模电池制造的成本。随着如今电动汽车应用的兴起,大规模电池制造日益普及。

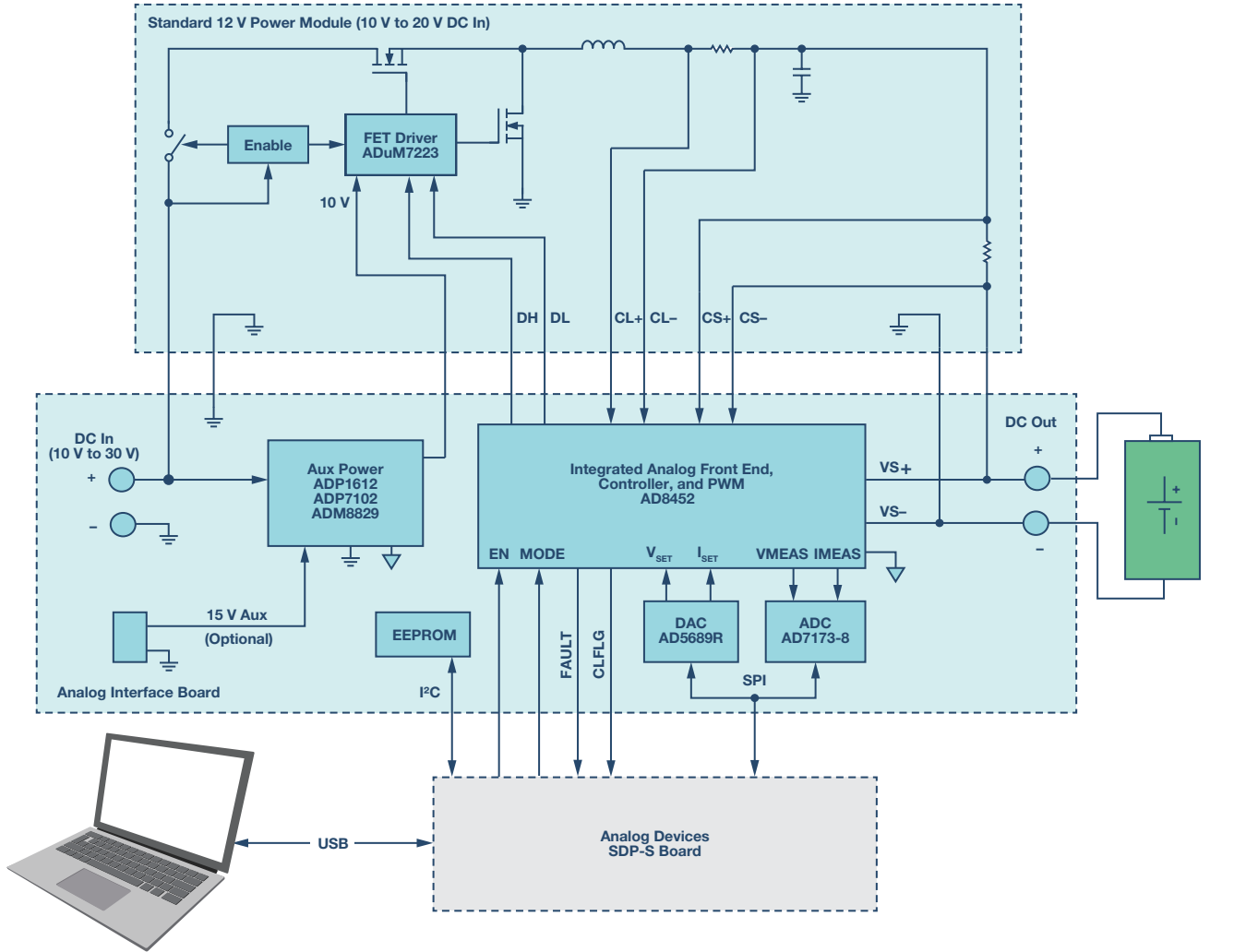


图2 围绕AD8452构建的单通道系统。

此单硅芯片解决方案将精密模拟前端和降压-升压PWM控制器集成在一个封装中，以解决上述挑战。内部薄膜匹配电阻帮助确保准确可靠的电流信号传感。精心设计的模拟控制环路与PWM控制电路相互配合，以实现可能最优化的充放电操作。由此实现的高性能可以减轻系统定期校准和维护的工作强度，获得高功率转换和回收效率。这两者都有助于控制从材料到制造和维护的整个过程的成本。

电池化成和测试系统拓扑

设计工程师经常使用线性调节器来轻松满足便携式设备中电池化成和测试的精度要求，但会牺牲效率。对于大型电池而言，这种做法会导致热管理难题，并且效率会随着温度漂移而下降。

混合动力汽车中使用的大量电池都必须完美匹配，这便提出了更为严格的精度要求，使得开关拓扑成为极具吸引力的选择。表1显示各类电池单元的功率容量和最终功能对比。

表1 线性和开关系统对比

电池尺寸	小	中等	大
容量(Ah)	<5	10 至 15	30 至 >100
应用	便携式设备， 比如手机、 摄像机等。	笔记本电脑	HEV、EV、 滑板车
各系统通道数	~512	~768	16 至 64
技术要求	随温度和时间 变化的漂移较低	随温度和时间 变化的精度较高	随温度和时间 变化的精度 最高；均流
系统拓扑	线性或开关；开关趋势		开关； 更高效率； 优先能源回收

图2显示的是采用ADI最新的集成式硅芯片AD8452构建的单通道系统。这个单芯片解决方案使系统能够轻松配置不同的功率级。AD8452的模拟前端测量并调理环路中的电压和电流信号。它还具有一个内置PWM发生器,可配置为降压或升压模式。模拟控制器和PWM发生器之间的接口由不受抖动影响的低阻抗模拟信号构成;而抖动会使数字环路产生问题。恒流(CC)和恒压(CV)环路的输出决定了PWM发生器的占空比,并通过ADuM7223驱动MOSFET功率级。模式从充电变为放电后,测量电池电流的AD8452内部仪表放大器的极性反转。在CC和CV放大器内部切换可选择正确的补偿网络,并且AD8452将其PWM输出改为升压模式。整个功能通过单引脚利用标准数字逻辑控制。在此方案中,AD7173-8高分辨率ADC用于监测系统,但它不属于控制环路的一部分。扫描速率与控制环路性能无关,因此在多通道系统中,单个ADC可测量大量通道上的电流和电压。DAC也是如此,因而可以使用低成本DAC(比如AD5689R)来控制多个通道。此外,单个处理器只需设置CV和CC设定点、工作模式和管理功能,因此它能与很多通道实现接口,而不会成为控制环路性能的瓶颈。配置为4 V电池和20 A最大电流的系统可实现高于90%的效率以及超过 $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 时的90 ppm典型精度(电流环路)和51 ppm典型精度(电压环路)。CC至CV的转换是无毛刺的并且时间在500 μs 以内。从1 A至20 A的电流斜坡需要的时间不到150 mS。根据具体配置,这个数值可以更小。用户需要做出一些权衡,例如,在斜坡时间和低电流性能之间权衡,以决定所需的斜坡速度。这些规格对于汽车电池制造和测试而言是十分理想的。图3显示了CC放电模式下的效率,以10 A和20 A为例。ADI直接提供完整的测试结果。

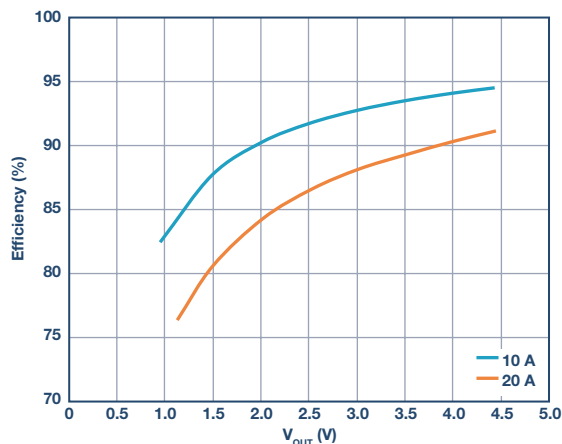


图3 系统能效比测试结果。

降低电池成本

降低电池成本的难点在于它涉及整个制造过程。本文描述的系统可降低电池化成和测试系统成本,而无需牺牲性能。更高的精度可以减少校准周期时间和次数,进一步增加正常运行时间。另外,更高的开关频率简化了设计并使用小体积的电子元件,所以能进一步降低系统成本。这个方案还可以把通道并联使用以输出更大的电流,且操作非常简便。所有控制操作均可在模拟域中完成,无需开发复杂的算法,因而该方法还可最大程度降低软件开发成本。最后,能量回收功能,加上超高的系统效率,有利于大幅降低持续运营成本。

能量回收利用

与电池放电至阻性负载的架构相比,基于AD8452构建的系统可以控制电池电压和电流,同时,把这些能量“推”回公共总线中,这样,其他电池组就可以在充电循环中使用这些电能。每个电池通道都可能处于充电模式,从直流总线吸收能量,或者处于放电状态,将能量推回直流总线。最简单的系统包括一个单向AC/DC电源,该电源只能把电流从交流市电拉进直流总线,如图4中的系统所示。这意味着,系统必须保持精确平衡,确保来自AC/DC电源的净电流始终为正。如果推进直流总线的电能超过充电通道消耗的电流,结果会导致总线电压增加,有可能损坏部分组件。

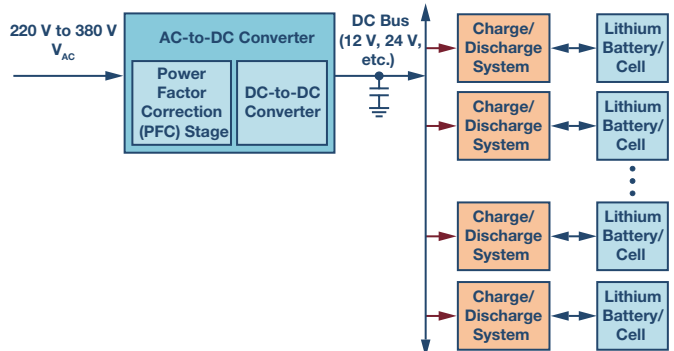


图4 带电池芯间能量回收功能的电池测试系统。

双向AC-DC转换器通过将电能推回交流电网解决了上述难题,如图5所示。在这种情况下,可以先将所有通道设为充电模式,然后设为放电模式,把电流推回电网。这就要求复杂性更高的AC-DC转换器,但在系统配置方面具有更大的灵活性,并且不需要精确平衡充电电流和放电电流,即可确保来自电源的电流为正。

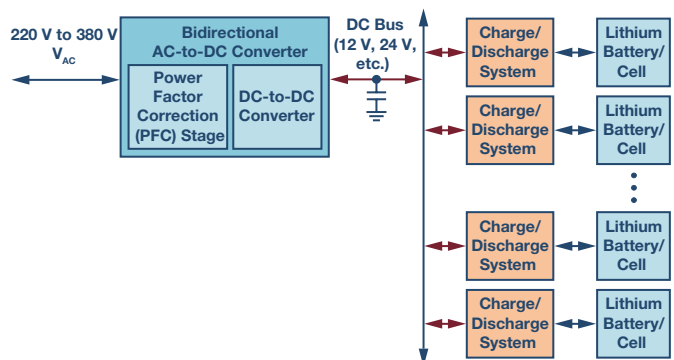


图5 带交流市电能量回收功能的电池测试系统。

支持能量回收的效率

为了进一步展示能量回收的好处,请考虑包含两个3.2 V、15 A电池的电池组。这些电池可以储存大约48 Wh的电量。若要对一个电量完全耗尽的电池充电,假定充电效率为90%,则系统必须向每个电池提供大约53.3 Wh的能量。在放电模式下,系统将减少48 Wh来覆盖电阻中转换为热量的电能,或者将其回收至总线。如果不经回收,那么大致需要107 Wh来对两个电池充电。然而,如果一个系统能以90%的效率回收能量,那么第一个电池的43.2 Wh现已能够为第二个电池充电。如前所

述，系统充电效率为90%，因此它将再次需要53.3 Wh，但其中43.2 Wh来自放电电池，因此我们只需提供其余10.1 Wh，即所需总能量为63.4 Wh。能量节省了40%。在实际生产环境中，不同的卷盘在整个生产过程中放置着上百个电池，因此将每个卷盘设为一组充电或放电模式不会增加总生产时间。

结论

开关电源可为现代可充电电池的制造提供高性能、高性价比解决方案。AD8452可以简化系统设计，系统精度优于0.02%，能效比高于90%，并且支持能量回收功能，与那些浪费放电能，而不重复用于为其他电池充电的系统相比，可以节省超过40%以上的能源，有助于解决可充电电池制造瓶颈问题，并且让混合动力汽车和电动汽车从生产过程开始就环保友好。

作者简介

Seraph Hu毕业于伯明翰城市大学，获得电子工程学士学位，后在伦敦帝国理工学院获得集成电路设计硕士学位。他于2011年加入ADI，成为一名专注于精确DAC的应用工程师。Seraph曾担任中国技术业务开发工程师，之后从事该地区的仪器仪表业务营销工作。他目前对电池测试领域非常感兴趣，但他也有兴趣探索未来的手机测试应用。联系方式：seraph.hu@analog.com。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区，
与ADI技术专家互动。提出您的
棘手设计问题、浏览常见问题
解答，或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn



全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路2290号展想广场5楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区西小口路66号
中关村东升科技园
B-6号楼A座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路889号光谷国际广场
写字楼B座2403-2405室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA21284sc-9/19

analog.com/cn

