

支持能量回馈的高能效电池化成/测试系统

作者: Luis Orozco和廖文帅, ADI公司

锂离子电池被广泛用于笔记本电脑、手机等便携式设备中,但由于存储容量较低,不到5 Ah,因而与生产成本相比,生产效率反而退居其次。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大容量电池来实现的。这种情况下,电源效率以及生产过程中的测试成本就显得尤为重要。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。

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。

取决于电池化学特性,化成可能需耗时好几个小时。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。这个花费占总电池成本的20%至30%。

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。

化成和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±0.05%以内。然而,为便携式设备的电池充电时,精度可能仅为±0.5% (电压)和±10% (电流)。

汽车电池制造中的两个主要难题是成本和能效。成本应当在从材料到制造和维护的整个过程当中加以控制。效率在充电时也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量回馈。

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	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	精度随温度和时间变化的要求较低	精度随温度和时间变化的要求较高	精度随温度和时间变化的要求最高;均流
系统拓扑	线性或开关型; 开关型是趋势		开关型; 效率更高; 首选能量回馈

图2显示的是采用ADI最新的集成式芯片组AD8450和ADP1972构建的单通道系统。两个独立的电路板允许系统轻松配置为不同的功率级。

AD8450测量并调理环路中的电压和电流信号。ADP1972是一款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。CC (恒流)和CV (恒压)环路的输出决定了ADP1972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AD8450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ADP1972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,高分辨率ADC AD7173-8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



图1. 锂离子电池制造过程

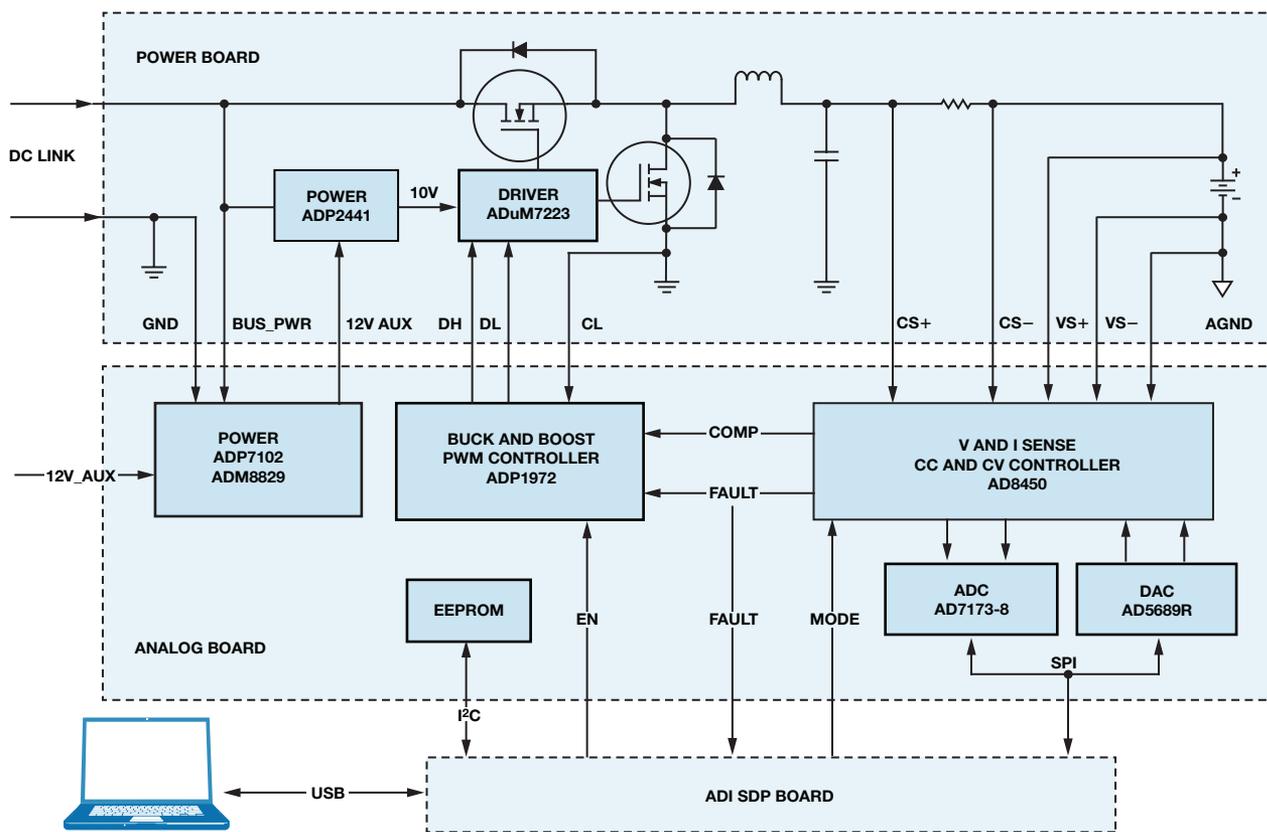


图2. 基于AD8450和ADP1972构建的单通道系统

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4V电压和20A最大电流的系统可实现高于90%的效率以及在 $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 温度范围内电流环路90 ppm精度和电压环路51 ppm精度(典型值)。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。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。

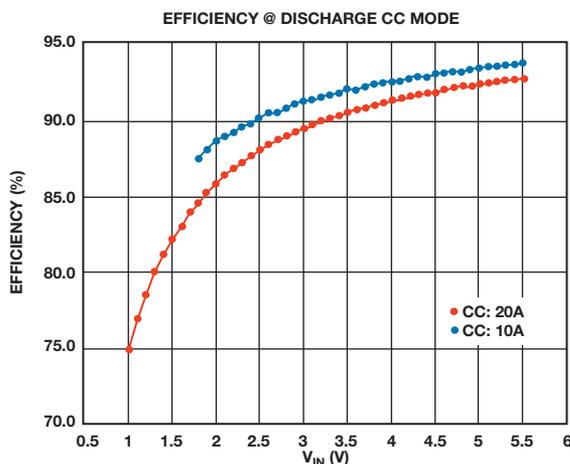


图3. 测得的系统能效

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，更高的开关频率带来了设计的简化和电子组件体积的缩小，结果能进一步降低系统成本。还可以把通道结合起来，输出更高的电流，操作异常简便。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，能量回馈功能，加上超高的系统效率，有利于大幅降低持续运营成本。

能量回馈

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。尽管这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，即可回收电池放电时释放的能量。

基于AD8450和ADP1972的系统放电时，不是把电池电能转换成阻性负载，而是在控制电池电压和电流的同时，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吸进直流总线，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。

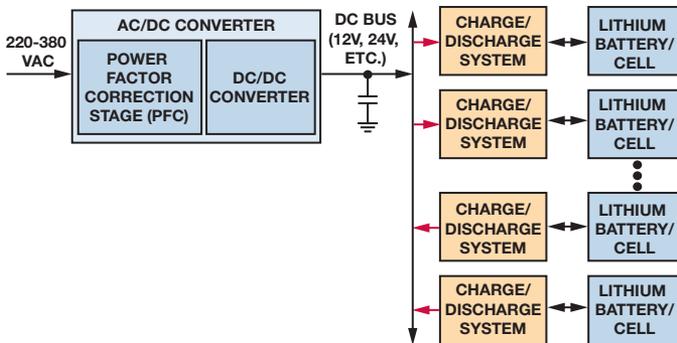


图4. 带电池芯间能量回馈功能的电池测试系统。

双向AC/DC转换器通过将电能推回交流电网解决了这个难题，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，把电能退回电网。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。

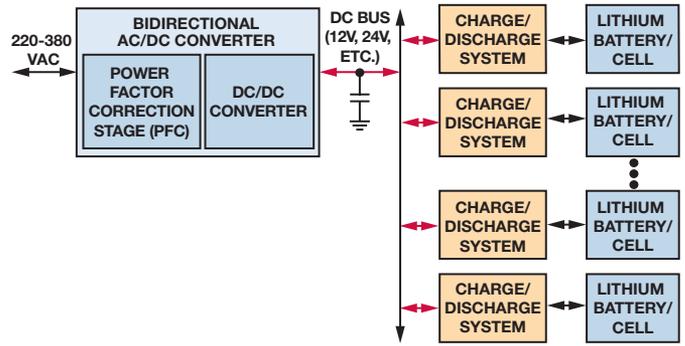


图5. 带交流市电能量回收功能的电池测试系统

支持能量回馈的效率

为了进一步展示能量回馈的好处，请考虑一组3.2 V、15 Ah电池。这些电池大约可存储48 Whr。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 Whr的能量。在放电模式下，系统将减少48 Whr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 Whr来对两个电池充电。然而，如果一个系统——比如上文示例——能以90%的效率回收能量，那么第一个电池的43.2 Whr可以用来为第二个电池充电。如前所述，系统充电效率为90%，因此它将再次需要53.3 Whr，但其中43.2 Whr来自放电电池，因此我们只需提供其余10.1 Whr，即两个电池所需总能量为63.4 Whr。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。AD8450和ADP1972可以简化系统设计，系统精度优于0.02%，能效高于90%，并且支持能量回馈功能，有助于解决充电电池生产中的瓶颈问题。借助这种方法，从生产过程开始，混合动力汽车和电动汽车将变得更加环保。

致谢

作者感谢Qiang Li和Irvin Ou对于设计和测试文中讨论的能量回馈系统所做的努力。

参考文献

Wang, Jianqiang等人，[高容量单体锂离子电池充放电系统研究](#)。PEDS2009。

Wenshuai Liao, Luis Orozco. [精密模拟控制器优化高效率锂离子电池制造](#)。ADI公司，2014年。

Wolter, M等人，[锂电池生产线中的下线测试与化成工艺](#)。第9届系统、信号和设备国际多方会议，2012年。IEEE。

有关文中任意产品的更多信息，请访问：www.analog.com/cn。

作者简介

Luis Orozco是ADI公司仪器仪表部的系统应用工程师。主要涉及精密仪器仪表、化学分析和环境监测应用。他于2011年2月加入ADI公司。在加入ADI公司前，他已在数据采集设备设计方面具有10多年的工作经验。Luis工作地点在美国德克萨斯州奥斯丁市，联系方式：luis.orozco@analog.com

廖文帅是位于美国马萨诸塞州威明顿的ADI公司线性与精密技术部门(LPT)的一名营销工程师，主要从事线性标准产品(运算放大器、仪表放大器、差动放大器、RMS-DC转换器)和ASSP产品的营销、定义和应用工作，涉及众多行业和客户。他于2002年8月加入ADI公司。在加入ADI公司前，他在3G基站射频工程师岗位上工作了三年。联系方式：wenshuai.liao@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。

ezchina.analog.com



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
上地东路 5-2 号
京蒙高科大厦 5 层
邮编：100085
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

亚洲技术支持中心

免费热线电话：4006 100 006
电子邮箱：
china.support@analog.com
技术专栏：
www.analog.com/zh/CIC
样品申请：
www.analog.com/zh/sample
在线购买：
www.analog.com/zh/BOL
在线技术论坛：
ezchina.analog.com