

用电子组件提高电动型汽车的电池性能

Upgrade Electric Vehicle Battery Performance with Electronics

Mike Kultgen 凌力尔特公司 信号调理产品 设计经理

摘要：混合动力电动型汽车电池中的电子组件是提高性能和安全性关键。在集成电路设计领域的新技术使电池组设计师能进一步提高锂离子电池的性能。更高的测量准确度、更坚固的数据链路和电池容量的主动电荷平衡都帮助实现了更低成本、更长的行驶周期和更快的充电。本文介绍了凌力尔特公司在电池监测和电池管理等方面的应用方案。

关键词：电动汽车；电池；电池监测；电池管理

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5517.2013.1.007

典型的电池组方框图(图1)由几组串联连接的锂离子电池组成，它们的测量和平衡由高压模拟集成电路完成。这些模拟前端(AFE)IC执行艰难的测量每节电池电压、电流和温度的任务，并向控制电路传递数据。控制器运用电池数据计算电池组的电荷状态和健康状态。控制器可能命令前端IC给某些电池充电或放电，以在电池组内保持平衡的电荷状态。

更高的准确度意味着更低的成本

模拟前端IC的测量准确度对系统成本有直接影响。需要准确的测量以实现有用的电荷状态(SOC)计算。为了实现长寿命，电池组一般在20%至80%的SOC之间工作。如果在SOC计算中有5%的不确定性，那么电池组的尺寸就必须增大5%，这导致电池的成本显著增大。给一个16kW-hr电池组增加5%的容量，需要约360欧元(460美元)。改进SOC计算以实现

1%的误差意味着，每个电池组能节省约300欧元(385美元)。

电池电压测量是SOC算法的关键要素。当测量3.3V LiFePO₄(磷酸铁锂)电池时，IC电源和电池组开发人员都集中采用总测量误差1mV的规格。

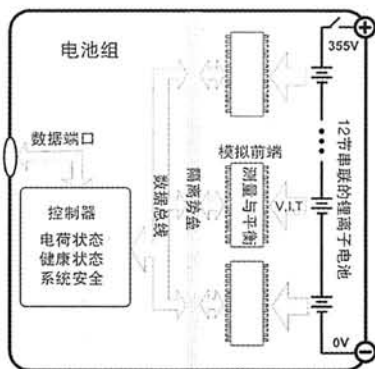


图1 电池组方框图

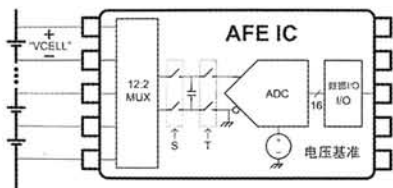


图2 典型模拟前端(AFE)IC

对于诸如售价480欧元(615美元)的Fluke-289手持式万用表等实验室设备，测量3.3V至1mV以内的电压是司空见惯的。AFE IC必须以1/100的成本提供相同的性能，并在汽车环境中连续工作15个年。只有为数不多的IC技术能够实现这一目标。

真实世界中的准确度

什么样的IC技术最适合电池测量呢？答案可从图2(典型AFE IC的方框图)的误差分析获得。12个串接电池之一由多路复用器(MUX)模块来选择。通过闭合“S”开关把电池电压存储在一个电容器上。断开“S”开关，然后闭合“T”开关。电池两端的电压将转移至ADC。这种“飞跨电容器”方案消除了顶端电池33V的大共模电压，并保持了3.3V的差分电压。模数转换器(ADC)将电池电压与其电压基准进行比较，并产生一个与VCELL和VREF之比成比例的数字结果。

如果开关的阻抗太大，无法在很短的采样时间内给电容器充电，那么MUX和飞跨电容器就可能引入测量误差。细致的开关电容器设计可消除这个误差项。

由ADC进行从模拟到数字的转换还可能由于组件失配而引入误差。其

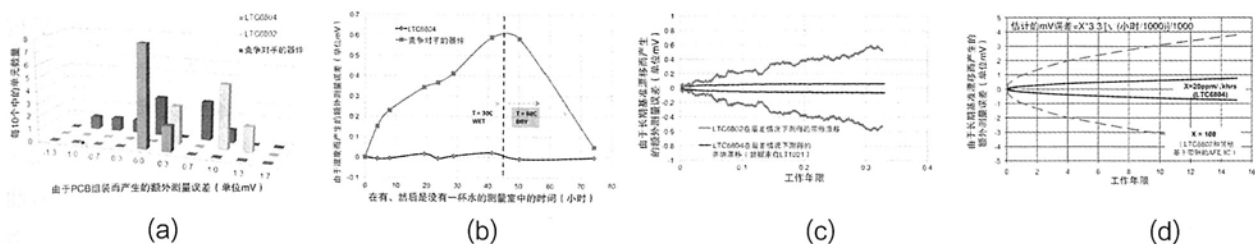


图3 生产之后的测量误差

次, 细致的设计与组件微调相结合, 可降低ADC引起的误差。

AFE IC的基本限制来自电压基准

假如电压基准下降了1%, 则所有的读数都将增加1%。电压基准是由某种物理量产生的, 可以是反向偏置PN结的雪崩击穿(一个齐纳基准)、两个基极-发射极电压之差(一个带隙基准)、或一个电容器上存储的电荷(一个EPROM基准)。每个AFE IC在生产中都进行了微调, 以使电压基准的初始值非常准确。不幸的是, 视IC技术的不同而不同, 电压基准可能随着时

间、温度、湿度和印刷电路板(PCB)组装应力的不同而产生极大的变化。

要在严酷的汽车环境中运行, 最佳技术是齐纳基准。数年来, 凌力尔特新的LTC6804 AFE电池组监视器IC运用齐纳电压基准技术, 以保持优于所需的准确度。LTC6804比前一代产品有了显著改进, 前一代产品依靠带隙电压基准。例如, 考虑PCB组装所产生的应力。AFE IC在焊接过程中会遭受几种热冲击。在塑料封装和铜引线框架的膨胀和收缩过程中, 芯片会经受机械应力。带隙基准的表现就像一个应变计, 将机械应力转换成基准

电压的变化。电压基准的任何变化都会直接降低电池测量的准确度。PCB组件应力的影响示于图3, 在热冲击之前和之后对10个AFE IC(3种类型)进行了测量。基准漂移以电池测量误差(单位是mV)来表示(假设采用的是一个3.3V电池)。

由于真实世界因素: (a)PCB组装应力、(b)湿度变化、(c)所测得的基准漂移和(d)估计的长期基准漂移而产生的3.3V电池测量误差。

湿度是另一个考虑因素。潮气渗进塑料封装, 并改变机械应力。对应力敏感的基准会出现电压变化。最后, 还有长期漂移。在IC封装组装过程中, 芯片会受到应力。这种应力随着时间推移而缓慢释放, 导致基准产生变化。在运行数千小时以后, 这种影响会减小, 这就是长期漂移规定以ppm/khr为单位的原因。图3显示了3000小时以后所测得的漂移以及预计15年以后的漂移。

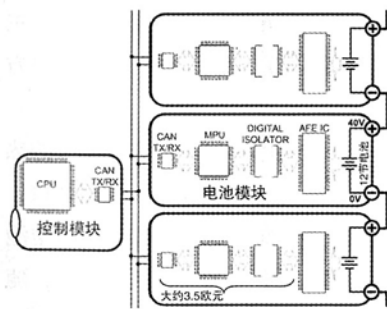


图4 运用CAN的隔离式数据通信

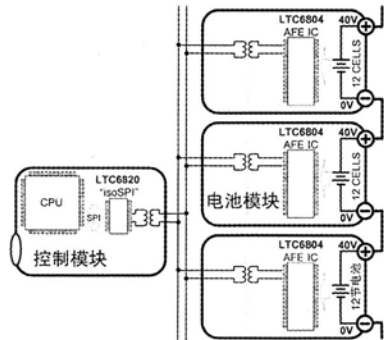


图5 运用isoSPI实现的隔离式数据通信

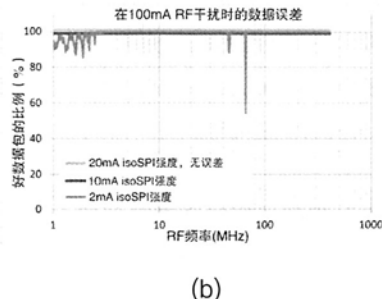
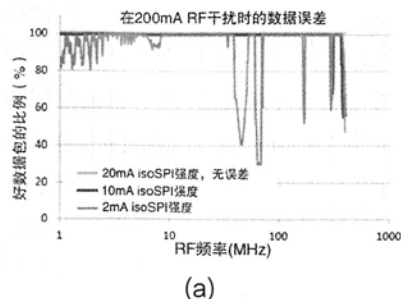


图6 isoSPI抗RF干扰能力

新的隔离式数据链实现模块化电池组

电池组设计师受到激励开发模块化系统。16kW-hr的电池也许不便于放入汽车内的单个舱中。此外, 为了经济的适用性和保修, 电池组可以分成小的模块。而且, 单个模块化电池组设计可以扩大或缩小, 以满足很多

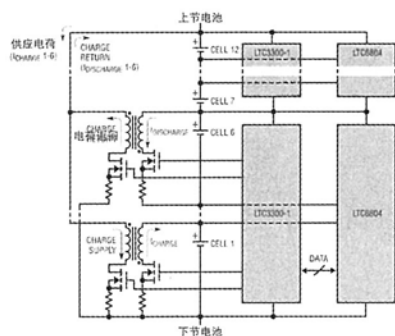


图7 采用LTC6804和LTC3300的监视器和主动电荷平衡解决方案

不同汽车平台的需求。

倘若把一个大型电池组拆分成若干个较小的模块,则会使电气连接的设计变得复杂化。在电池模块和控制电路之间传输数据需要一个线束。线束将遭受严重的电磁干扰(EMI)。必须仔细注意数据通信硬件和软件。AFE IC领域的新发明可以极大地降低数据通信的成本,同时保护电池组免受EMI影响。

2012年生产的具备模块化电池组的汽车一般采用结合的CAN(控制器局域网)通信和数字隔离器,如图4所示。CAN用两条导线提供坚固的通信。一个小型微处理器(MPU)将数据从CAN协议转换到AFE IC更简单的SPI或I²C协议。模块之间的隔离由一个数字隔离器IC提供,这有时需要一个隔离式电源。

新的LTC6804 AFE IC消除了CAN的成本和软件复杂性问题,同时在模块之间提供坚固和隔离式两线数据传输。图5显示,用LTC6804的isoSPI端口与一个简单的脉冲变压器相结合,实现了电池模块的互连。另一种凌力尔特IC是LTC6820隔离式SPI接口IC,将任何微处理器的SPI端口连接到

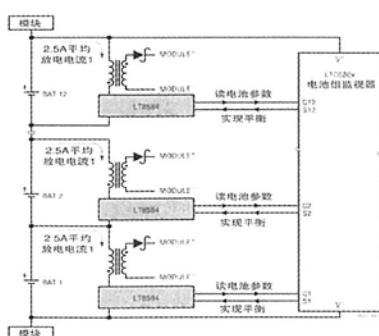


图8 采用LTC6804和LT8584的监视器和主动电荷平衡解决方案

isoSPI总线。来自微处理器的时钟、数据和芯片选择信号由LTC6820解码成不同的脉冲。LTC6804将这些脉冲解码回时钟、数据和芯片选择信号。微处理器将LTC6804 AFE IC看作一个简单的SPI外围设备。透明的isoSPI总线提供电流隔离和抵抗EMI的能力。

isoSPI脉冲的信号强度和两线连接的阻抗是可调的。通过改变电阻器的值(未显示),用户可以提高信号电流。这种灵活性意味着,isoSPI总线可以定制以通过100米电缆通信并抑制高干扰电平。LTC6804 AFE IC包括15位循环冗余校验(CRC),以确保数据的完整性。图6说明了大电流注入(BCI)测试的结果。BCI测量一个系统的抗电磁干扰性。RF能量通过夹在电缆的探头注入。另一个探头测量所产生的RF电流。数据包通过电缆发送,CRC用来查看是否有数据损坏。采用几种不同的isoSPI数据脉冲强度来重复测试。20mA isoSPI数据脉冲不受200mA RF注入的影响。

主动电荷平衡加速充电并增大能量

所有串联连接的电池都需要平衡。一节电池到另一节电池的自放电

速率、电子负载和温度都不同。经过很多充电和放电周期后,这些差别导致电池电荷状态出现不容忽视的不平衡。电荷不平衡会降低电池组容量。例如,如果一节电池的电量比其他电池多10%,这时给电池组加上充电电流,那么这节电池就会达到80%的充电状态限制,而其他电池则充电到70%。电池组中的可用电量减少了10%。被动平衡通过一个负载电阻器消耗单节电池的电量,对于在串联连接的电池组中平衡失配电池而言,这是成本最低和最简单的方式。大多数AFE IC都支持被动平衡。

被动平衡能效低且速度慢。典型的平衡电流范围为电池容量的1%至5%。要从一个40A-hr的电池消耗10%的电量,在I=400mA时需要10个小时,或者在I=2A时产生8W的热量。很多电池都可能需要平衡。就大容量电池组而言,被动平衡器产生的热量是不可接受的,而高效率、大电流主动电荷平衡器是惟一可行的解决方案。

主动电荷平衡不仅能以更低的热量加速充电,而且有助于恢复容量。电池随着老化容量会下降。由于电池组的温度变化率和电池制造差异,随着时间推移,电池会有不同程度的老化。电池甚至有可能在维修时被替换。在采用被动平衡方式时,电池组的容量由最薄弱的一节电池决定。平衡电池组并充电至80%。当最薄弱的电池达到20%时,电池组的放电就停止了。正确设计的主动电荷平衡系统将按照需要,高效率地在整个电池组中重新分配电荷,并基于平均容量的电池而不是最低容量的电池确保达到

20%和80%状态。为了最大限度地延长电池组的运行时间，在电池组的充电和放电过程中，都必须对电池加以平衡。

LTC3300和LT8584等的新IC将在汽车电池组中实现主动电荷平衡。LTC3300(图7)为满足大型电池系统的双向主动平衡需求而设计。

这采用了一种非隔离型同步反激式拓扑，一次最多可对12个或更多邻接电池中的6个电池进行电荷平衡。平衡电流可能高达10A。通过将每个反激式变压器的副端交错连接，电荷可从一个由12节电池组成的模块传送到另一个模块。可实现非常高的传送效率(>92%)，而且就典型的电池至电

池失配情况而言，可以实现非常高的容量恢复(>80%)。LT3300可以通过LTC6804上的串行端口来控制。这两个IC建立了准确和易于使用的电池监视器和平衡系统。

LT8584(图8)单片反激式DC/DC转换器用单向拓扑实现了主动平衡。这种单向方式有一个优势，即从一个给定电池向整个电池组重新分配电荷，从而提供高效率电池放电。这种拓扑可能仅在放电方向移动电荷，因此对给定电池的“充电”会比双向方式的效率低。集成的6A电源开关支持2.5A平均平衡电流。LT8584还可以测量平衡电流、芯片温度和电缆电阻。LT8584直接连接到LTC6804 AFE IC，

实现了又一个易于使用两个IC来监视和平衡的方案。

新的IC提高性能并降低成本

LTC6804等测量IC提供有保证的测量准确度和长期稳定性，因此电池组可从每节电池抽取最多能量。isoSPI等简单的隔离式两线通信方案最大限度地降低了组件成本，并提供抗电磁干扰能力。LTC3300和LT8584主动电荷平衡IC加速充电，并最大限度地提高电池容量。这些令人兴奋的新IC是最先进和面向新一代(混合)电动型汽车电池组的产品。B&W