

锂离子电池充电及充电管理器的效率与保护技术及应用

Lithium ion battery and charging efficiency of manager and protection technology and application

叶云燕

摘要: 本文仅就集成化端口保护器件的应用、开关式充电提高充电效率、对电源适配器的检测和适应及 USB 接口规范、限制和识别等问题的检测与保护技术作分析与研讨。

关键词: 充电管理器, 过压与过流, USB 接口, 开关式充电, 电源适配器

Abstract: this article only the application of integrated port protection device, the switch type charging to improve charging efficiency, detection and adaptive of power adapter and USB interface specification, restrictions, and identify the problems such as Ming detection and protection technology for analysis and discussion.

Keywords: charging manager, Overvoltage and overcurrent, The USB interface, Switch type charging, The power adapter

中图分类号: TN86 文献标识码: A 文章编号: 1606-7517(2015)10-4-136

如今锂离子电池充电及充电管理器件的效率与保护技术及应用有多个方面来实现。而本文仅对集成化端口保护器件的应用、开关式充电提高充电效率、对电源适配器的检测和适应及 USB 接口规范、限制和识别等问题的检测与保护技术作分析与研讨。

1 集成化端口保护器件的应用

对充电管理器件来说, 典型的是集成化端口的过压、过流保护器件的应用。

几乎在所有的充电管理器件应用中, 它们都处在系统的外围接口部分。外部电缆在这里反复地插拔, 电流在这里通通断断, 虽然大多数外接的电源都是 5V 的设计, 但实际出现的电压可能是千差万别的, 尤其是在进行插拔操作时和电流变化时, 高于设定电压的高压冲击难以避免。为了避免这一高压对系统可能带来的损害, 如今大多数 5V 供电的充电管理器件都增加了过压关断保护和 28V 以上的过压耐受能力, 前者确保高压不会进入系统造成危害(大多数过压关断保护都发生在 6V 左右), 后者则确保充电管理器件本身不会因过压而受损。

对于那些采用只能承受较低冲击电压的充电管理器件来说, 外加过流、过压保护器件是必要的选择, 这时候, 可以考虑如 RT9718 这样的集成化端口保护器件, 它集成了过热保护、过流保护、过压保护和电池电压过保护四种保护功能, 当任何一种意外发生时, 它都能在确定的时间内将外部电源和内部系统之间的联系切断, 确保系统的安全, 当然, 它也同时具有耐受高达 28V 电压冲击的能力, 确保自身不会被轻易损坏。

图 1 是 RT9718 在应用中的电路连接关系图。其中的电阻 RILM 用于设定容许的最大通过电流, 所以过流保护点是可设定的; 过压保护电值是由具体型号决定的, 那如何实现保护呢?

RT9718 对过压状况的响应是极快的, 最多 1 μ s, 输出即被关断, 以防高压对后续电路造成危害。输出电压回落至低于 OVP 电压 100mV 后, 延时 8ms, 如果一切正常, 开关将重新打开为后续电路供电。

对于电流过大的状况, RT9718 的响应时间是 180 μ s, 这是为了避免误动作的发生, 只有持续性的过流才是它要避免的状况。过流保护的恢复时间是 64ms, 如果过流发生了

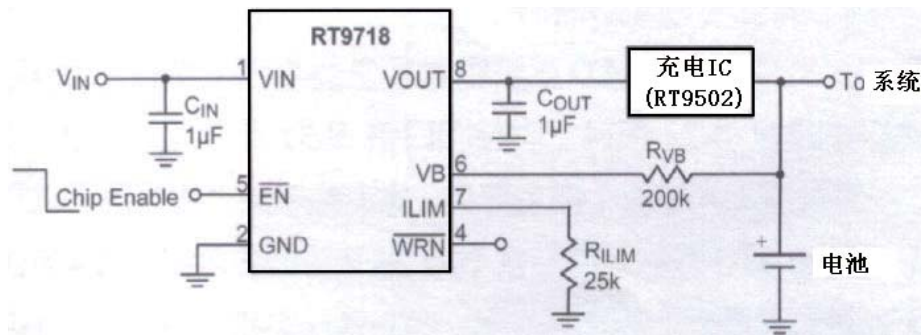


图 1 过压保护 IC 在锂离子电池管理系统中的位置

16次,开关将永久性断开,直至重新发生POR才会恢复输出。

RT9718对电池电压的过压检测是通过VB端实现的,其保护电压阈值是4.35V。在这个端子和电池之间串连了一只电阻R_{v8},这个电阻对电压保护阈值和端子的漏电大小有影响。为了降低电阻造成的保护电压阈值变化量,电阻应该比较小,但小电阻会加大漏电流,所以需要折中选择这个电阻的值,在此建议值在200kΩ-1MΩ之间。同样地,每一次电池电压过压保护的发生都需要过压状况持续了180us以上才会被触发,它也只能被容许发生16次,然后就处于永久性的保护状态,直至POR(Power ON Reset,上电复位)发生之后才会重启输出。

过热保护(OTP)的发生和IC的外部状况无关,只要它的内部温度达到140℃保护动作就会发生,输出被终止直至温度下降20℃以后,重新进入工作状态。

除了OTP以外其它每一种保护的发生都会导致WRN端的状态改变,系统设计者可以利用这个信号了解问题状况并采取相应的措施去解决问题。

2 应用开关式充电提高充电效率

在任何情况下,只有外来电源形成的电压高于电池电

压,电流才能进入电池实现充电目标,所以几乎所有的充电电源适配器输出电压都是高于电池最高电压的。但我们通常并不能将外接电源直接接入电池进行充电,这将导致电流不可控的结果,这也是为什么会有充电管理器件存在的原因。

要在外接电源和电池之间构成恒流、恒压控制电路,最简单的做法是采用线性恒流、恒压源,这也是为什么线性充电管理器件使用得比较多的原因。将最简单的RT9526的应用电路图和见下图2所示,我们就能看到它的实际使用状况:

很显然,IC内部的从VIN到BATT(电池)端之间的MOSFET构成了外部电源和电池之间的调整组件(这和线性稳压器非常相似),它在完成调整任务的同时,也是一个很讨厌的热源地——VIN和电池电压之间的电压差乘上流过它的充电电流形成的功耗在这里转化为热量,这是一种浪费,对某些系统来说可能还是个灾难,这在电池电压偏低、电源电压偏高的尤为严重。为了解决这一问题,最简单的做法是降输入电压(让输入电压略高于电池电压是最好的做法)、降低充电电流,但降低输入电压可能造成电池充不满的问题,降低充电电流会造成充电时间过长的问

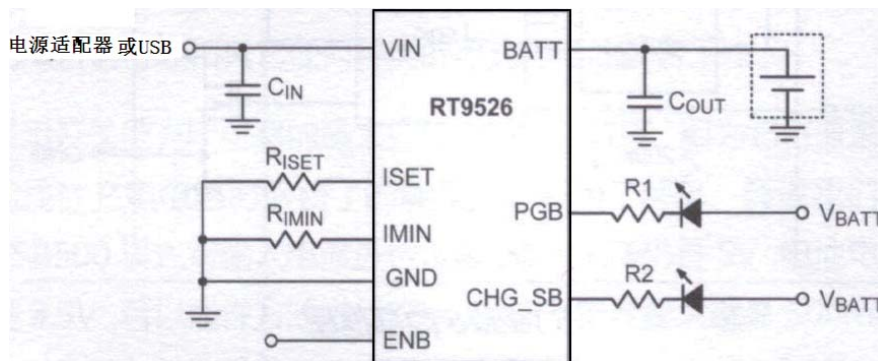


图 2 RT9526 应用图

解决效率热问题的另一种做法是弃用线性恒流、恒压源，改用开关型转换电路，而 RT9451 就是采用了 Buck 架构的充电电路，这使得它的最大充电电流达到了 4A 这样的水平，而且它的最高输入电压可以达到 12V，如果线性系统要在这样的条件下工作，其最大发热量将高达 27W 以上，一般的系统根本无法承受。

还有另外一个充电产品系列——RT9531/RT9535/RT9538 是采用了 Buck 架构的充电电路，但其可工作输入电压则更高，为 28V，可以为多节锂离子电池串联的电池组进行充电，也可以和其它任何种类的可充电电池配合工作。

采用开关型充电电路的最大好处是提高了效率，因为它将原来采用线性充电电路时浪费了的能量充分利用了起来。假设我们以 USB500 模式对输入电流进行设限，输入电压仍是 5V，电池电压是 3.3V，若以线性方式进行充电，则充电电流最大就是 500mA，此时的输入功率是 2.5W，输出功率是 1.65W，此时有 0.85W 功率被浪费掉了，而且造成了热问题。如果改用开关型充电电路，假设其转换效率为 95%，则输出功率可达 $2.5W \times 95\% = 2.375W$ ，充电电流就可以达到 $2.375W / 3.3V \approx 0.72A$ 。这意味着在同样的输入电流限制下，充电速度加快了，而且发热量极小，只有 0.125W。

图 3 是对同一个电池分别用线性充电器和开关型充电器在 USB500 电流限制模式下进行充电所得的充电电流和充电时间的比较图，从中可以看到，将电池充电到恒压充

电电流为 100mA，线性方式用了 14000 秒，开关方式只用了 12500 秒。

从图 3 中我们可以看到，在这种输入电流恒定恒的模式下，线性充电方式的充电电流是恒定的，而开关充电方式的充电电流是不恒定的，不恒定的原因有两个：其一是充电电流没有达到设定的充电电流；其二是输入电流恒定意味着输入功率恒定，在转换效率不变的情况下，输出功率也是恒定的，随着输出电压的提高，输出电流就下降了。

与线性充电电路中由单只 MOSFET 就可以构成调整电路不同，开关型充电电路的构成要复杂得多，它的基本电路如下图 4 所示：

实际上，它就是一个具有恒流、恒压输出功能的 Buck 型降压电路。由于同步 Buck 电路的电路主体部分是可逆的，所以，只要对控制电路部分进行一些改造，它就可以构成 Boost 电路，只不过这个 Boost 电路能够实现的是将电池电压提升以后输出到 Vin 端，这就可以反向为外部设备供电，而这恰好是 USB—OTG 应用所需要的，所以，具有 Buck 充电方式的 RT9450A 和 RT9451 都被设计成了这样的形式。

3 对电源适配器的检测和适应

早期的充电管理器件是不关心给自己供电的电源适配器是否有问题的，只要输入电压超过自己的 POR (Power ON Reset, 上电复位) 电压，器件就会进入工作状态并开

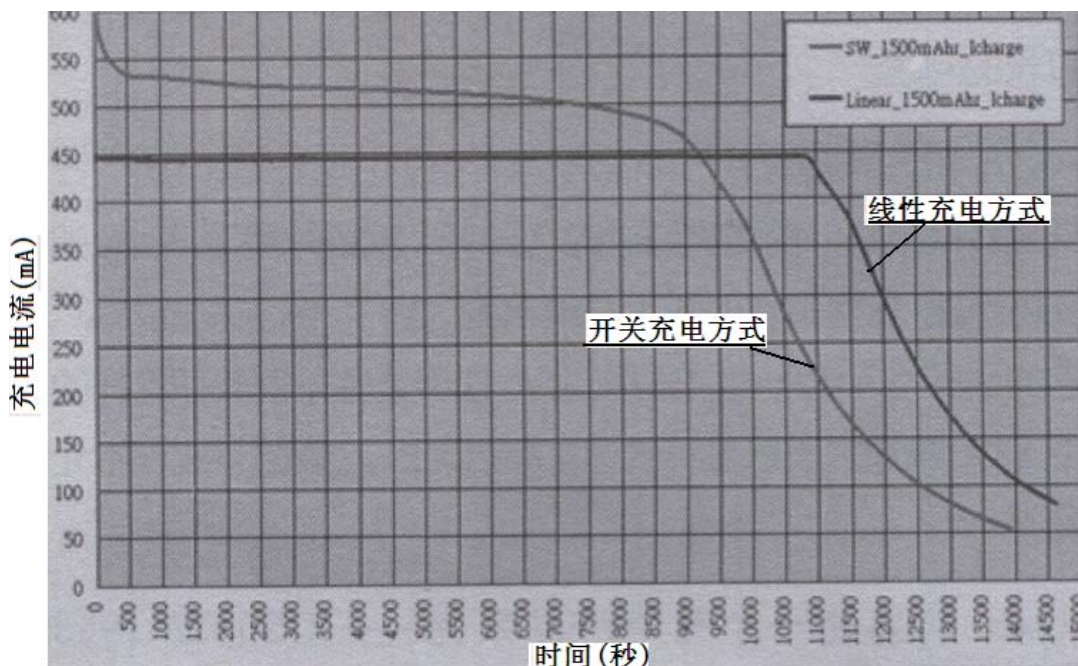


图 3 输入电流受限条件下线性充电方式和开关充电方式的对比示意特性

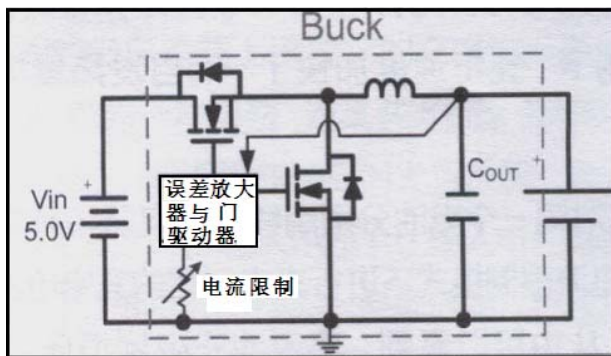


图 4 BUCK 模式开关充电电路拓扑

始按照设定的充电策略为电池进行充电，这时候唯一要保证的是输入电压不要超过 IC 的耐压。

由于过高的电压在经过线性电路为电池充电时会有热的问题存在，过高的电压进入系统时可能对后续电路造成危害，所以过压保护电路最先进入充电 IC 的设计中。

有时候电源适配器的输出功率不足，较大的负载电流会造成其输出电压下降，而只要输入电压高于电池电压，线性充电电路就能将电流送入电池，如果压差不足，电流就会自动减小，这个过程中就会出现自动平衡的状态，于是乎将 IC 的 POR 电压降低就成了一个自然的选择。值此将以新理念对一些方法进行介绍，以便对相关技术的应用有更多的了解。

*AICR

AICR(Active Input Current Regulation) 含义是主动的输入电流调整。

一般的充电管理都是关心充电电流，对输入电流是不太关心的，因为对于线性充电系统来讲，充电电流基本上就等于输入电流，多出来的部分就是器件自身的消耗，相对来说那部分是很少的。但对具有路径管理功能的充电器件和采用开关方式工作的充电器件来说，情况就完全不同了，输入电流充电电流常常是不相等的，这时候关心输入电流就是有必要的了。对 USB 规范的符合时提到的 USB100 模式和 USB500 模式就是这样的状况。

*MZVR

MIVR(Minimum Input Voltage Regulation) 含义是最低输入电压调整。

由于任何实际电压源的电流供应能力都是有限的，当它们不能满足负载的电流需求时，其电压将下降。电压的下降可能带来这样的一些后果：输出功率下降（不是所有

电源都是如此）；供电源发生 UVP（电压过低保护）；供电源崩溃或反复启动；低于负载的最低工作电压，负载不能正常工作。这些状况在 USB 供电时可能表现得最严重，主机可能因此而死机，这可是有可能带来灾难性后果的。

MIVR 的作用就是确保输入电压不会低于最低值，以此确保可能的灾难不会出现。由于电压的降低是由过大的电流消耗引起的，解决此问题的办法当然是降低电流了。RT9451 就是这么做的，它可以将最低输入电压调整到 4.2V~4.76V 之间，此电压是可以设定的，步进间距是 80mV。图 5 显示了 RT9451 在实现这种调整时的电流状况，可以看到由于供电能力不足，期望的输入电流不会得到满足，以便维持最低输入电压在设定的水平上。从 RT9451 最低输入电压调整示意图上看出输入电流因输入电压调整而受限。

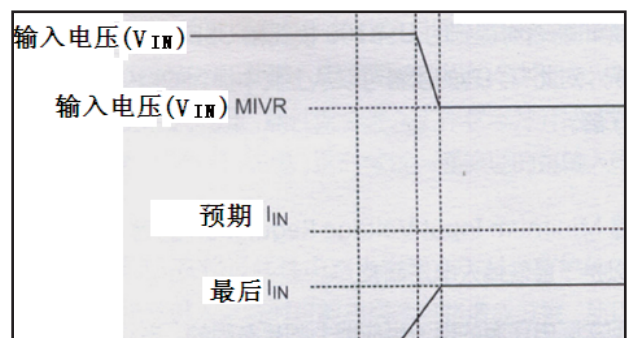


图 5 RT9451 最低输入电压调整示意图

* 故障适配器检测

这当然就是适配器故障检测功能了，它用于检测适配器是否具有供电能力，这个操作仅在充电管理器件的输入电压上升阶段进行。当 RT9451 的 VIN 端检测电压超过预设的 VIN(MIN) 时，IC 内部在 VIN 端接入一个大约为 30mA 的恒流源并持续 32ms 的时间，如果此电流在此时间段内够持续存在并且 VIN 端电压维持在 VIN(MIN) 之上，则认此适配器具备供电能力，后续操作可以继续下去，否则就将 IC 的全部工作停下来，并将内部的状态位置位，系统中的 MCU 可以借此状态位的信息做出相应的后续操作。当此问题存在时，RT9451 将以 2S 为周期重复进行监测工作，直至问题被消除为止。

4 USB 接口规范、限制和识别

将含有 USB 接口的设备接入主机时，规范要求设备有效以前最多只能从主机的 USB 电源总线 VBUS 上获取

100mA 电流，设备通过验证可以获取最大 500mA 的电流。当含有锂离子电池的设备要利用 USB 接口为电池充电时，它也必须符合这一规范的要求，而这一任务就落在充电管理器件的头上。有的人可能认为 100mA 和 500mA 的电流限制是 USB 主机能给出的电流最大值，这其实是个错误的认识，电流的大小永远都是由负载决定的，作为供应方的主机能做的最多是限制最大电流输出能力，并借此防范可能的风险。

其 RT9525 的 USB100 和 USB500 模式就是用来帮助设备去符合规范要求的设计，在这两种模式下，RT9525 最多只能吸入 90mA 和 475mA 的电流。

充电器件怎么能知道现在为我供电的电源是来自 USB 端口而不是电源适配器呢？在电源的供、需双方之间能够借助电源线建立起通讯管道以前，这是一个要另外解决的问题。

几年前，当中国的手机充电器规范建立起来时，它是这样来做的：在结构上采用 USB 接口的结构，利用 USB 的数据线端子“D+”和“D-”来传递信息，只要这两个端子之间是短路的，这就表明供电端是电源适配器。这个方法和标准的 USB 信号端子不一样，USB 是用来传递数据的，端子的内部连接的是运算放大器的输入/输出端，具有较高的阻抗，不可能表现为短路状态。所以，只要我们向 D+/D- 之中的一个端子注入一个电流然后又能在另外一个端子上接收这个电流，那我们就知道这两者之间是短路的，

这就说明这个电源供应器是电源适配器了，反之则可以被认为是标准的 USB 端口。支持 USB-OTG 应用的 RT9451 的 USB 侦测功能就是这样实现的，但并不是市场上的每一个充电 IC 都具有这一功能。

当使用没有 USB 端口侦测功能的充电 IC 但又完成这一功能时，就只能依靠其它做法来实现了，这对拥有 USB 通讯功能的系统来说不是难事，但这不属于我们现在要谈的内容。

5 状态指示是锂离子电池充电的有效监视

人机界面是我们人类和机器设备打交道时了解系统状况、操控设备的界面，这其中最基本的就是状态指示。

对于锂离子电池来说，当进行电池充电时，电源状态是否有异常？充电过程是否还在进行过程中？这些信息是设备使用者非常关心的内容。如今已有充电管理器件都提供了这样的信息输出，它们通常是用某些个端子的状态或是通过内部寄存器的数据状态来表达的，通过外接 LED 或是将状态信息读入系统的控制器中再通过其它方式表现出来，让使用者可以随时了解当前状况是怎样的以提高使用者的舒适程度。前文显示的应用电路图中出现的 LED 符号都是起这种作用的，要注意的是 IC 的信号输出端子，有一部是比较单纯的两种状态输出——开或关、高或低，有一些是多态输出的，最典型的是具有第三种状态——高阻状态，请在设计时正确理解并好好利用。