

从电源为电池充电提供最多电量

Best Energy Provides From Power Supply to Charging Batteries

薛蕙 供稿

摘要：文章探讨了设计的一种充电器电路是怎样从电源向充电电池提供最大功率的。设计中解决了电源与电池之间所存在的不良电阻影响等主要问题，使得电池组在充电期间可以获得最大功率。

关键词：电源，充电电池，电量，功率

中图分类号：TN86 文献标识码：B 文章编号：1606-7517(2015)03-4-129

1 引言

为了使设备的供电电池具有尽可能长的工作时间，以充电电池供电之设备的设计工程师们都希望充电器能够在不造成电源破坏的情况下从电源获取尽量大的电量，以便最大限度地增大充电电流，能够在最短时间内完成充电。为达到这个目的，电源和电池之间的电阻值是设计中的挑战性难题。本文阐述的一款充电器的设计，将可以在不受电源与电池之间不良电阻影响的情况下，从适配器获取最大的电流。

2 开关模式充电器的一般工作方式

图1所示为采用降压型变换器的充电器电路模型，其中示出了所有不理想的电阻，例如图中电感器的直流电阻 R_{IND} 。充电器IC的输入电源电压来自典型的USB端口或壁插式适配器，然后施加在 V_{BUS} 或IN引脚上。在本设计中，

在该引脚上施加的电压为 V_{BUS} 。这个模型用于给定的电池调节总阈值以确定最低电源电压。

这里我们介绍锂离子电池充电器的工作方式。图2示出了充电器根据电池电压在三个主要运行阶段的工作：低的电池电压表明电池深度放电。这时电池必须先以小电流充电，直到电池电压达到阈值 V_{prechg} ，就可以用以上介绍的最大电流充电。该电流通过调节回路保持不变，被称之为稳流/恒流阶段。

当电池电压增大到设定的稳定电压，而且充电电流已经下降，则电池已处于满充电状态。在充电电流不断下降的同时，充电器工作在稳压/恒压阶段。锂离子电池的典型稳压值为4.2V。

要以最快速度完成充电，充电器必须能够提供已经为其设定的最大电流，直到 $V_{Bat}=4.2V$ 。要确定允许的输入电

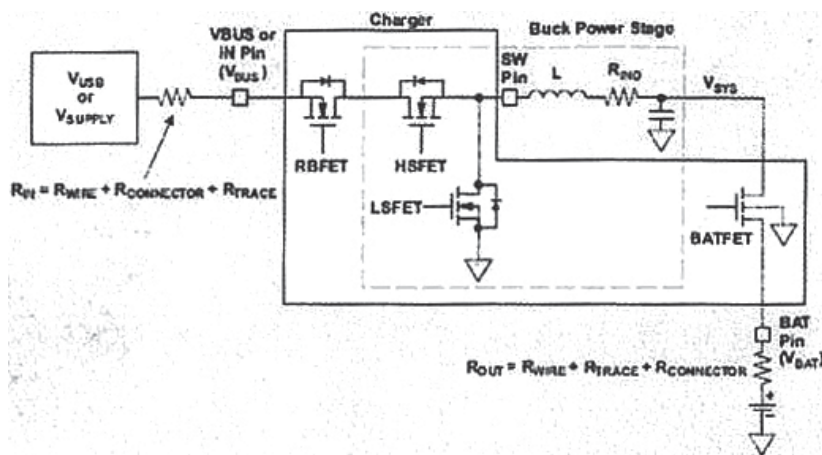


图1 存在电阻的开关式充电器模型

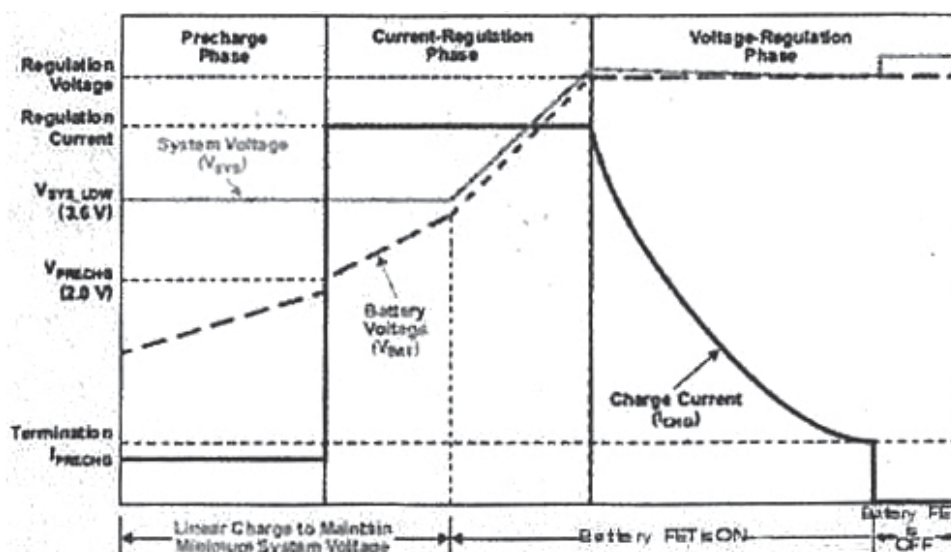


图2 B02419/25/26/29 充电器的充电曲线图

压最小值 $V_{BUS-min}$ ，设计工程师们必须考虑下列因素：

① V_{BUS} 和 V_{BAT} 之间的工作电压预留空间能支持目标充电电流范围。

开关稳压器具有最大占空比。

工作电压有预留空间，MOSFET 和电感器内部的电阻会在电流流过时形成电压降。如果 V_{BUS} 和 V_{BAT} 之间的电压差过于小，就无法达到目标充电电流。例如，如果 V_{BUS} 为 4.3V， V_{BAT} 为 4.2V，从 BUS 输入到电池的总电阻值为 150m Ω ，那么流到电池的最大电流是 660mA。

2.1 关于开关稳压器的最大占空比设计。

在现实的设备中，没有一款高侧 NMOS 降压型变换器能够实现 100% 的占空比。在 HSFET/LSFET 开启 / 关闭过程中，为了避免短路，总会有停滞时间。如果占空比超过最大值，开关稳压器会跳过某些 LSFET 开启脉冲，维持平均输出电流 / 电压。

2.2 关于 $V_{BUS-min}$ 阈值的计算。

$V_{BUS-min}$ 阈值是支持目标最大充电电流和保持占空比低于降压型变换器最大占空比所需要的最低 BUS 引脚电压。图 3 示出了工作在连续导通模式 (CCM) 的降压型变换器的电感器电流和开关节点电压。 V_{BUS} 可借助电感器的纹波电流计算，并按以下方程式推导得到：

$$I_{Ripple} = \frac{\Delta V \times \Delta T}{L} \quad (1)$$

在电感器的电流上升沿的纹波电流：

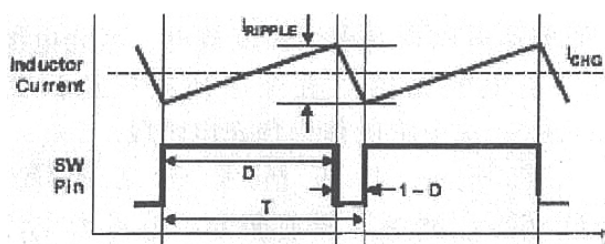


图3 在 CCM 状态下的充电器电感电流与运行占空比的关系

$$I_{Ripple} = \frac{[V_{BUS} - I_{CHG} \times (R_{RBFET} + R_{HSFET}) - I_{CHG} \times (R_{IND} + R_{BATFET}) - V_{BAT}] \times D \times T}{L} \quad (2)$$

在电感器的电流下降沿的纹波电流：

$$I_{Ripple} = \frac{[V_{BAT} - I_{CHG} \times (R_{IND} + R_{BATFET}) - I_{CHG} \times R_{LSFET}] \times (1-D) \times T}{L} \quad (3)$$

由于纹波电流相同，则可以求得 V_{BUS} 计算式：

$$V_{BUS} = \frac{1}{D} V_{BAT} + I_{CHG} \times (R_{REFET} + R_{HSFET} + R_{IND} + R_{BATFET}) - \frac{1-D}{D} \times I_{CHG} \times (R_{BATFET} + R_{IND} + R_{LSFET}) \quad (4)$$

以上等式 (4) 可以用一些假定条件加以简化：在 $L = 2.2 \mu H$ 时，96% 占空比之下的纹波电流小于 300mA (此电流值为平均电流)。在最大占空比为 96% 时， $(1-D)/D$ 与等式 (4) 中第二项相比仅为 4.2%，因此第三项可以忽略。

$V_{BUS-min}$ 阈值是最大占空比下的 V_{BUS} 电压：

$$V_{BUS-min} = \frac{V_{BAT}}{D_{max}} + I_{CHG} \times (R_{RBFET} + R_{HSFET} + R_{IND} + R_{BATFET}) \quad (5)$$

如果 V_{BUS} 电压低于计算得出的 $V_{BUS-min}$ 阈值，则电池就无法充满。

2.3 关于最低 USB 电源电压设计

在此将讨论由于输入线路电阻的存在, 在使用 USB 适配器时, 充电器的输入电压可能会降低到允许值以下。USB 规范规定, 在全负载情况下, 来自低功率端口的供电电压经过所有集线器和线缆输出到器件时, 可能会低到 4.1V。

假定图 1 中的输入电源是 USB 端口, V_{USB} 为 5V, 串联电阻为 0, R_{IN} 为线缆、连接器和 PCB 线条的总电阻, 充电器模型为理想的降压型变换器, 则可达到 100% 的占空比。

充电器的输入电压 V_{BUS} 必须高于电池充电稳压器阈值 V_{BATREG} , 通常为 4.2V。假定 V_{USB} 的最小值为 4.75V, 则:

$$V_{BUS} = V_{USB-min} - I_{USB-max} \times R_{in} > V_{BATREG} \quad (6)$$

假定从 USB 电源到 BUS 引脚的电阻 R_{in} 为 400m Ω , 表 1 所列为 USB2.0 端口和 USB1.5A 适配器分别达到的最低 V_{BUS} 电压。

在最大占空比下, V_{BUS} 接近 V_{BAT} , 所以有 V_{USB} 约等于 I_{CHG} 。将等式 (5) 展开, 可以确定给定充电电流的最低输入电源电压:

$$V_{supply-min} = \frac{V_{BAT}}{D_{max}} + I_{CHG} \times (R_{IN} + R_{RBFET} + R_{HSFET} + R_{IND} + R_{RATFET}) \quad (7)$$

可以根据以上等式 (7) 来判断需要多低的线缆和连接器电阻 (或者选用更高质量的线缆和连接器), 或者需要多宽/多厚的 PCB 线条, 才能避免充电器 BUS 引脚处出现过大的电压降, 从而使适配器用作电池充电的功率达到最大化。

2.4 基于输入电压动态电源管理 (VIN-DPM) 的设计

如果需要使用多个适配器和/或线缆和/或连接器, 可能难以在设计中统筹考虑所有的线路电阻方案。具有 VIN-DPM 功能的充电器不论输入线路电阻的大小如何, 都可以防止输入电压陡降。那么, 什么是 VIN-DPM 呢?

VIN-DPM 是许多 TI 充电器采用的模拟环路。使用该环路的目的是在不损坏适配器的情况下, 有限度地从电源获取可用电流, 即限制输入电流进而得到充电电流, 以维持电源电压在 VIN-DPM 水平。这项特性可在 USB 端口属于输入电源之一时采用。那么, 在无 VIN-DPM 功能的情况下, 充电器是如何运行的呢?

图 4 所示是充电器在没有得到 VIN-DPM 功能保护时的运行情况。随着系统负载电流和电池充电电流的增大, 输入电流也随其增大, 因此, 电源内阻上的电压差增大。

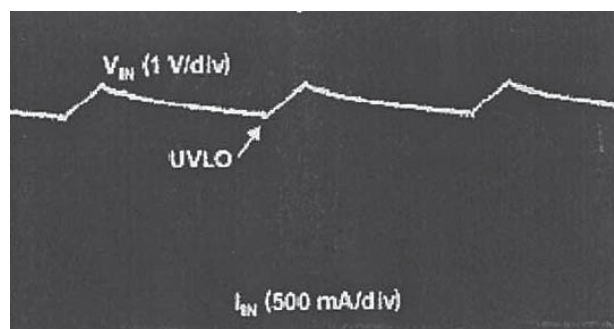


图 4 带高输入线路电阻和无 VIN-DPM 情况下, 充电器充电电流中的不理想脉冲

充电器输入引脚上的电压低于电源提供的额定输出电压。此外, 电压源在能够提供的电流大小上受额定值的约束。当负载电流大到维持充电电流和负载电流之和的输入电流超过电源的电流供应能力时, 输入电压就会下降, 原因是输入电容器因所需的高电流放电。当输入电压降至欠压阈值时, 充电器就会关闭。在关闭这段时间内, 输入电压会随着输入电容器充电而恢复。一旦输入电压达到 UVLO, 充电即再度开始。充电器开启后会重复这个过程, 因此导致充电电流中出现不理想的开关脉冲。

采用 VIN-DPM 特性的充电器能通过限制输入电流防止充电电流中出现不理想的开关脉冲。具体地说, 当输入电压下降并降至 VIN-DPM 的阈值时, VIN-DPM 功能就会激活, 将输入电流降到更低的水平, 这样可以防止输入电压陡降至欠压点。

采用输入电压的动态电源管理 (VIN-DPM), 其适配器通常能够提供 100mA 到数安培的电流, 而最新的 USB 端口能够提供高达 1.5A 乃至更大的电流。在使用具备 VIN-DPM 功能的充电器时, 便携式设备制造商能够针对有特定输出功率限制、电流限制等的适配器和 USB 端口来优化充电器的设计。VIN-DPM 也允许使用一些成本较低的适配器、USB 端口和/或线缆。例如, 如果智能电话的充电器具备 VIN-DPM 功能, 就可以在不造成端口电压陡降的情况下使用低成本高电阻 USB 充电线缆从 1.5A USB 端口获得最大充电功率。图 5 示出了电源的两种不同输入电阻给 IC 造成的影响。评估电路性能可以用 bg24192、bg24260 或 bg24295 等电池充电器, 配置为 1.5A 输入电流限值、2.0A 充电电流和 4.76V VIN-DPM 阈值。在图中的两种情况下, 充电都可以持续进行, 适配器未发生损坏。但是, 在图 5(b) 中, VIN-DPM 电路为应付串联电阻上的电压差而降

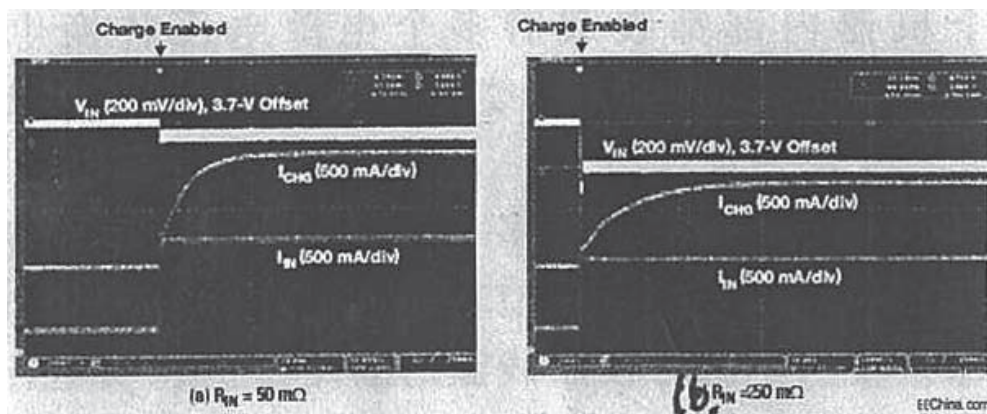


图5 不存在和存在 VIN-DPM 功能之电池充电器的例子

低了输入电流值的限制。随着输入电流的降低，充电器会首先降低充电电流，然后降低系统负载电流。

3 小结

为了解决电源和充电器之间的电阻阻碍充电器从电流获取最大功率，导致电源电压陡降，造成充电器欠压闭锁，

文章提出了一组方程式用来计算充电器所需的最低电源电压，它们还可以计算既定电源适配器的最大充电电流。此外，VIN-DPM 特性还能动态地降低充电器的输入电流限值，避免适配器电压陡降，因此允许使用多种类型的适配器和 / 或电源连接。

(参考资料来源 :21ic.com)