



摘要

笔记本电脑、手机和数码相机等许多便携式电子设备都采用可充电电池作为电源。最常见的可充电电池是镍镉 (NiCd)、镍氢电池 (NiMH) 和锂离子 (Li-ion) 电池，而充电电路取决于电池的化学成分。本应用报告介绍了一种采用 MSP430™ 微控制器来为锂离子电池充电的方法。本应用报告中讨论的工程配套资料可从以下 URL 下载：
<https://www.ti.com/cn/lit/zip/SLAA287>。

内容

1 引言.....	2
2 测量电路.....	3
3 软件.....	4
3.1 主例程.....	4
3.2 ADC ISR.....	4
3.3 看门狗计时器 ISR.....	5
3.4 软件流程图.....	6
4 结论.....	7
5 参考文献.....	7
6 修订历史记录.....	7

商标

MSP430™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

由于具有高容量尺寸比和低自放电特性，锂离子电池非常适合便携式应用。实现电池充电解决方案的方法包括电源管理 IC、MCU 控制型器件甚至是逻辑器件等选项。MCU 控制型充电方法的优势包括安全充电、时间效率和低成本。

电容容量 (C) 以毫安时 (mAh) 为单位来表示，用于衡量两次充电间的电池寿命。电池电流以 C 率为单位来表示。例如，对于 500mAh 电池，1C 对应的电流为 500mA，0.1C 对应的电流则为 50mA。

锂离子电池充电过程可以包括三个阶段：

- 慢速充电：使用 0.1C 电流的预充电阶段
- 快速充电：使用 1C 电流的恒流充电阶段
- 恒压充电阶段

在慢速充电阶段，如果电池电压低于 2.5V，则会以 0.1C 的恒定低充电电流为电池充电。对于镍镉等一些电池，如果电池在未完全放电的情况下重新充电，则会受到一种称为记忆效应的现象的影响，该现象会导致电容容量降低。锂离子电池不受记忆效应影响，无需等到完全放电后再重新充电。锂离子电池的充电过程中很少使用慢速充电阶段。

快速充电（恒流）和恒压充电是充电过程中最重要的两个阶段。大多数锂离子电池都具有 4.1V 或 4.2V 的满电电压。电池会首先使用 1C 的恒定电流进行充电，直到电池电压达到 4.1V 或 4.2V。固件会通过检测电流检测电阻器 (R_{sense}) 上的电压并从 MCU 调节 PWM 输出的占空比，持续检查充电电流。充电器会经常检查电池电压。当电池电压达到 4.1V 或 4.2V 时，充电器会切换至恒压充电模式。

然后，充电器会使用恒定电压源，以 4.1V 或 4.2V 的固定电池电压为电池充电。充电器会检查电池电压，并通过控制 PWM 输出的占空比来将电池电压维持在 4.1V。在此过程中，由于内部电池电阻，充电电流开始下降。当充电电流降至 0.1C 以下时，便必须停止充电过程。

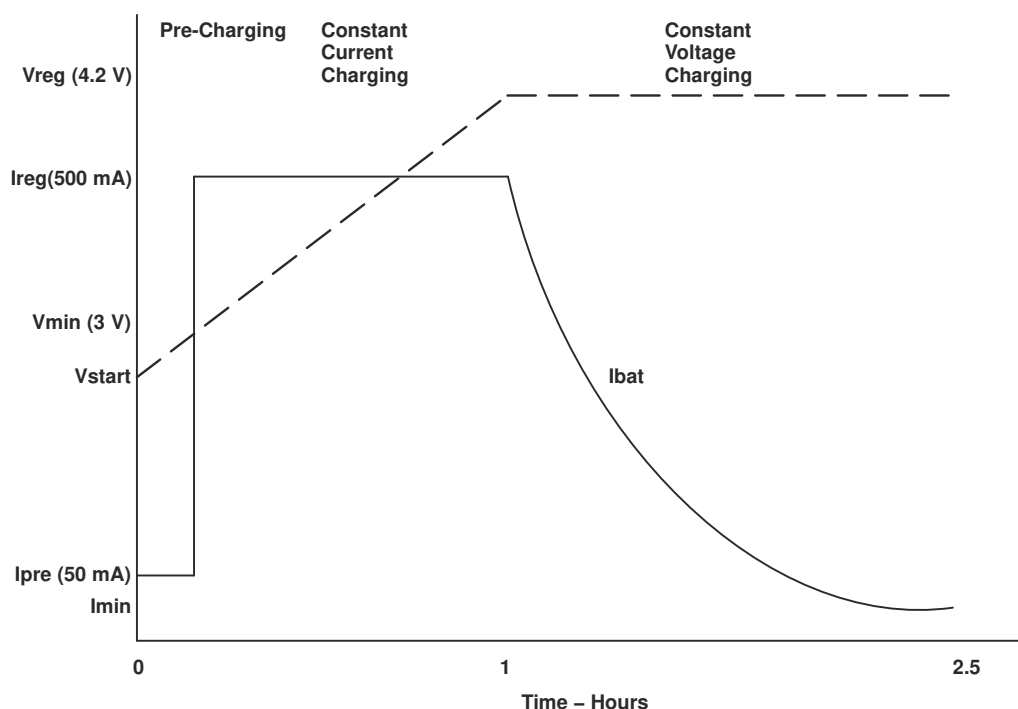


图 1-1. 锂离子电池充电的电流与电压关系曲线

如果在电池充满后继续充电，大多数电能都会转化为热能。为电池过度充电可能导致过热，或者因为电极释气而发生爆炸，并可能会严重缩短电池寿命。锂离子电池对过度充电尤为敏感，因此务必要将最终电压控制在 4.1V 或 4.2V 的 $\pm 50\text{mV}$ 范围内。电池充电器设计必须能够判断充满电的电池，以避免出现过度充电。下面是判断充满电状况的几种方法：

- 当电流在恒压充电阶段降至 0.1C 时，便可将电池视为已充满电。
- 测量电池温度，以避免过热。
- 安全计时法：如果充电时间超过预先确定的时间，便可将电池视为已充满电。

2 测量电路

图 2-1 显示了充电器的块级原理图。

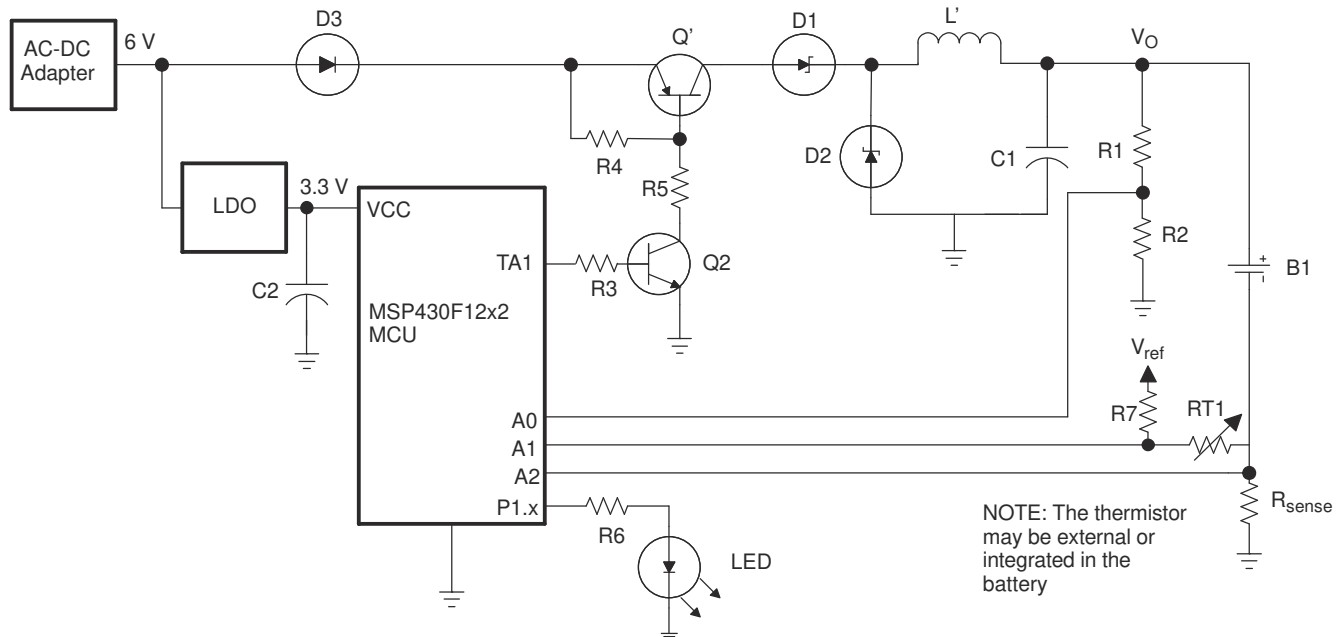


图 2-1. 块级原理图

恒流和恒压充电阶段会使用降压转换器。降压转换器使用电感器作为输出负载阻抗（也就是电池）的电流源。PNP 和 NPN 晶体管构成一个开关，该开关由 PWM 信号进行控制。MSP430 MCU 上的 Timer_A3 可以使用 PWM 功能控制电池充电电流。当此开关闭合（导通）时，电流会流过电感器，而电容器会进行充电（请参阅图 2-2）。当该开关打开（断开）时，电感器上会通过感应生成电压来尝试维持电流不变，因为电感器无法出现瞬间电流变化。电流现在会流过二极管，同时电感器会给电容器充电（请参阅图 2-3）。LC 网络充当低通滤波器，如果 PWM 频率远大于 LC 网络的截止频率，电容器电压会保持恒定并等于降压转换器输入电压的平均值。

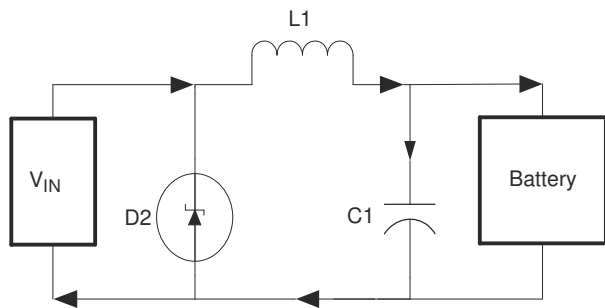


图 2-2. 降压转换器开启

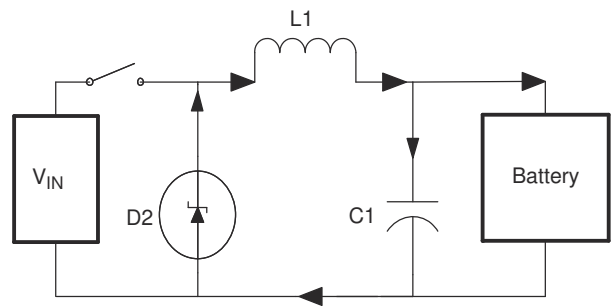


图 2-3. 降压转换器关闭

电感器的值可以通过方程式 1 计算得出。

$$L = \text{占空比} \times T \times (V_I - V_{\text{sat}} - V_O) / 2I_O \quad (1)$$

其中

- 占空比 = PWM 的占空比
- T = PWM 的周期
- V_O = 电压输出
- V_{sat} = 开关上的电压损耗
- V_I = 开关的电压输入
- I_O = 恒流阶段的电流

假设 V_I 为 6V, V_{sat} 为 0.5V, I_O 为 500mA, V_O 为 4.575V, $1/T$ 为 15kHz, 而占空比为 50% :

$$V_O = V_{\text{bat}} + I_{\text{bat}} \times R_{\text{sense}} = 4.2 + 500\text{mA} \times 0.75 = 4.575\text{V} \quad (2)$$

电感器应该至少为 31 μ H。此实现中使用的值为 75 μ H。当计时器由频率为 3.84MHz 的 DCO 提供时钟信号时, TACCR0 值必须为 255, 才能实现 15kHz (3.84MHz / 256) 的 PWM 频率。计时器以向上计数模式工作, 而计时器输出会以切换/设置模式开关。计时器输出 (TA1) 的占空比可以通过调整 TACCR1 的值来进行控制。8 位 PWM 分辨率就足以在恒流充电阶段控制电池上的恒定电流, 并在恒压充电阶段维持电池上的恒定电压。如果电容器为 220 μ F, 而电感器为 75 μ H, LC 网络的截止频率为 1.2kHz ($1/(2 \times \pi \times \sqrt{L \times C})$), 该值远小于 PWM 频率。这有助于电容器有效地减少输出电压纹波, 并维持直流电压电平。

MSP430 MCU 上 10 位 ADC 的三个通道 (A0、A1、A2) 可用于监测电池电压、电池温度和电池电流。1LSB 等于 $V_{\text{ref}} / (N - 1)$, 其中 V_{ref} 为基准电压, 而 N 是 ADC 的分辨率 (以位为单位)。当片上基准为 1.5V 时, 1LSB 等于 $1.5 / 1023 = 1.47\text{mV}$ 。

ADC 需要检测的电压范围计算方法如下 :

恒流充电阶段的最大电压 V_O 为 4.575V。因分压器 ($R1 = 2.1 \times R2$) 而出现 ADC 输入端的电压为 $4.575 / 3.1 = 1.5\text{V}$ 。该值在 V_{ref} 范围内, 并可以由 ADC 进行解析。

ADC 需要检测的最小电压出现在恒压阶段, 用于检测电池电流并停止充电过程。ADC 需要检测 0.1C 电流在电池上产生的压降。本例中为 $50\text{mA} \times 0.75 = 37.5\text{mV}$ 。这大概等于 25 LSB 分辨率, 并可以由 ADC 进行解析。

在本应用中, 热敏电阻器 (RT1) 连接到电池的负极。热敏电阻器的电阻会随着温度升高而下降, 热敏电阻电压也是如此。本例使用的是 10k 热敏电阻器。

异常低压表示出现过热, 这时必须停止充电过程。该电压可由 ADC 输入检测。

3 软件

以下各节将本应用报告中提供的软件拆分成一个主例程和两个 ISR。

3.1 主例程

此例程配置 DCO, 以在 3.84MHz 条件下运行 SMCLK。Timer_A3 寄存器配置为在 TA1 上输出 PWM。计时器也配置为触发 ADC 转换。ADC 配置为采用序列通道重复模式和 DTC 工作, 而 DTC 配置为连续将数据从通道 A2、A1 和 A0 传输到 RAM 阵列。

通道 A2 对热敏电阻电压 (电池温度) 进行采样, 通道 A1 监测 R_{sense} (电池电流) 上的电压, 而通道 A0 监测 R2 (电池电压) 上的电压。

1.5V 基准是 MCU 的 $V_{\text{REF+}}$ 引脚上的输出, 用作热敏电阻电压测量的基准。

3.2 ADC ISR

当 DTC 完成将一个数据块 (3 字数据) 传输到 ADCSA 时, 便会触发 ADC ISR; ADCSA 是一个 RAM 阵列, 用于存储来自通道 A2、A1 和 A0 的转换结果。

如果电池温度超过 40°C, 充电过程会停止。计时器、ADC 和看门狗计时器 (间隔计时器模式) 会停止。

在充电周期开始时, 如果电池电压小于 1V 或大于 4.3V, 则会通过 LED 指示短路或未检测到电池状态。

在恒流和恒压充电阶段，TACCR1 控制 TA1 上 PWM 输出的占空比，以维持恒定的电流和电压。

3.3 看门狗计时器 ISR

当充电电流在恒压充电阶段降至 $0.1C$ 时，看门狗计时器会设置为由 $ACLK/8$ 提供时钟信号的间隔计时器。在充电过程结束之前，会每 8 秒钟进入一次看门狗计时器 ISR，来生成 15 分钟的延迟。

MSP430 MCU 会在整个充电过程中保持为 LPM0，并仅在中断服务例程设置时进入工作模式。

3.4 软件流程图

图 3-1 显示了充电算法的软件流程图。

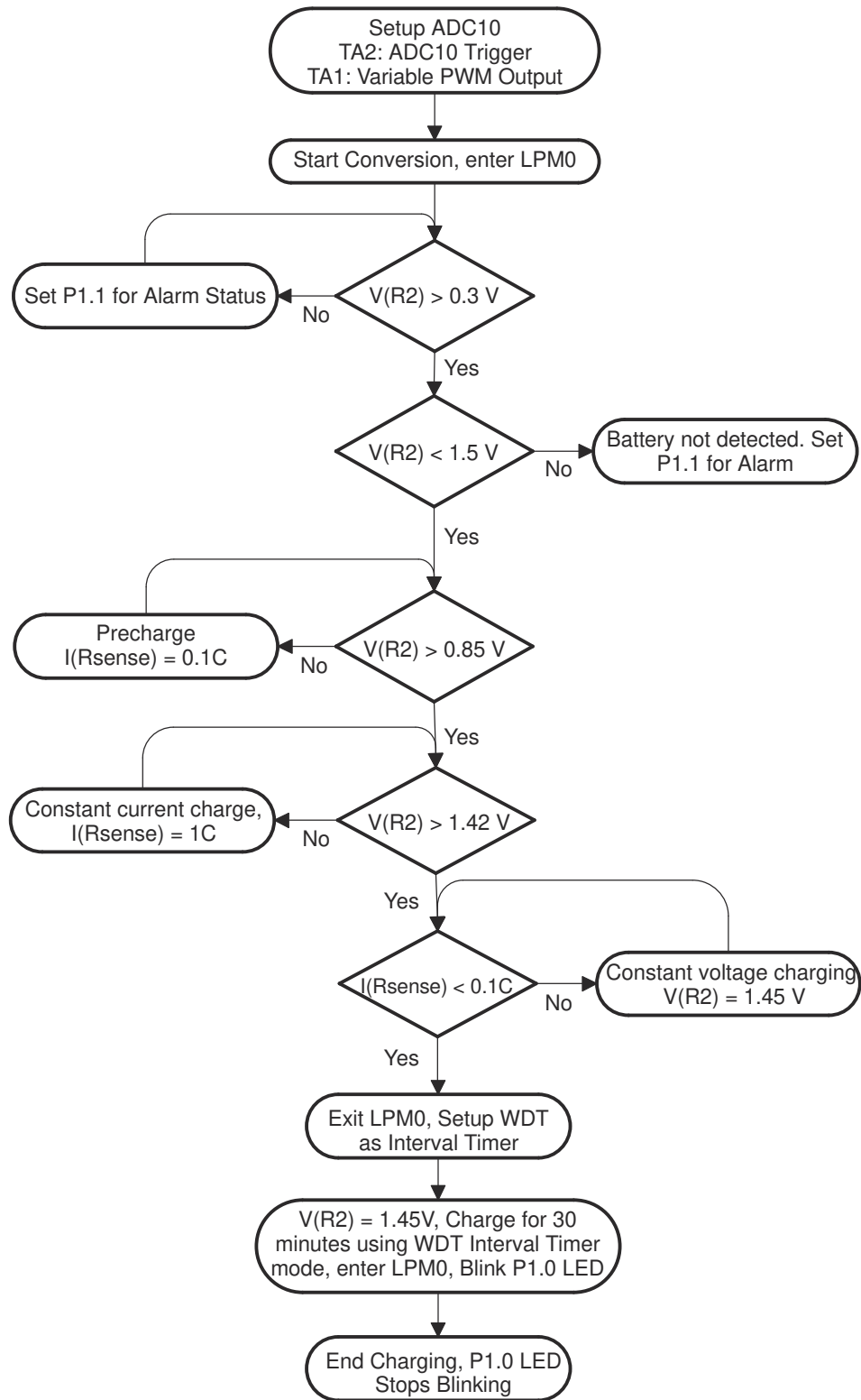


图 3-1. 软件流程图

4 结论

由于集成高分辨率 ADC 和看门狗计时器等外设，MSP430 微控制器非常适合锂离子电池充电器解决方案。本报告中所述的示例应用已得到实现并经过测试，能够执行所述操作。

5 参考文献

1. [MSP430x1xx 系列用户指南](#)
2. [MSP430F11x2、MSP430F12x2 混合信号微控制器](#)

6 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from MAY 19, 2018 to APRIL 1, 2022	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	2
• 更正了使用以下数据计算得出的电感值： 方程式 1	3

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司