

Juan Ospina

摘要

锂技术电池为便携式电源提供了一种能量密集型解决方案。但是锂电池在提供优势的同时，也增加了最终应用的风险。为降低这种风险，必须采取电池保护措施来降低电池故障的可能性。许多电池保护电路都采用了一种此类保护措施，即 0V 充电抑制。该保护功能用于防止内部短路电池继续充电。

利用充电器上广泛使用的一些技术和功能，仅使用主机处理器即可近似实现基于电压的充电抑制功能。将电池欠压检测用作基本电池电压监测器，并使用一些附加的软件逻辑，便可在充电系统中实现 2V 充电抑制，从而为电池充电过程添加另一层保护。

内容

1 什么是 0V 充电抑制？.....	2
2 使用充电器实现充电抑制.....	3
2.1 使用电池欠压锁定测量电池电压.....	3
2.2 执行电池短路测试.....	4
2.3 实现示例.....	5
3 总结.....	8
4 参考文献.....	9

插图清单

图 2-1. 电池监测流程.....	3
图 2-2. 短路测试流程.....	4
图 2-3. 电池短路仿真.....	7
图 2-4. 电池恢复仿真.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 什么是 0V 充电抑制？

纵观当今广泛使用的电池技术，锂离子和锂聚合物电池的能量密度非常高。然而，此类电池需要额外的保护功能，才可确保其使用和运行保持在安全运行范围内。热失控风险对于任何使用锂基电池的应用都影响重大。因此，电池充电器和电池保护 IC 为给定的电池供电应用开发了更强大的保护功能。

在电池保护 IC 中，一项此类功能越来越常见，那就是 0V 充电抑制功能。电池电量耗尽至 0V 可能表明电池因内部短路而损坏。在大多数应用中，器件会在电池进入深度放电时进入超低功耗状态；在某些情况下，电池会与充电或放电电路断开连接。如果电池电压在功耗大幅降低的情况下仍继续下降，则可能是内部短路所致。如果电池电压降至低于特定电压，0V 充电抑制功能将停止充电。对于 BQ297x 系列电池保护电路，该电压阈值可高达 0.75V。一旦超过该电压阈值，电池将视为不可恢复，将完全抑制充电。

但是，低电池电压并不一定表明电池内部短路。正常的电池自放电会导致电池电压在较长时间内下降，但这些电池仍可使用。如果电池已自放电，但电压仍高于 0V 充电阈值（对于 BQ297x 为 1.7V），则电池仍可恢复。并非所有电池都是如此，需要咨询电池供应商以确定可能的最低可恢复电池电压。由于电池本身的原因，恢复深度放电的电池需要在低电流下充电

同样，在使用主机控制器提供逻辑的充电设计中，可以近似地描述该功能。这可为无法将保护电路集成到电池包中的系统增加一层保护。请务必观察该功能的实现情况，以及这种设计如何影响充电器与电池保护电路的交互。

2 使用充电器实现充电抑制

大多数电池充电器中并非直接实现 0V 电池充电抑制功能，但对于带有主机控制器的系统中许多具有 I2C 接口的电池充电器来说，可进行近似计算。大多数充电器仅具有 2V 电池充电抑制功能。要实现该保护功能，首先需要能够监测电池电压。

2.1 使用电池欠压锁定测量电池电压

某些充电器（如 BQ2515x 系列线性充电器 BMU）包含一个 ADC；BQ2515x 的 ADC 直接报告 2V 至 5V 的电池电压。其他充电器（如 BQ25120）包含一个电池电压监测器，该监测器以电池稳压电压百分比的形式报告电池电压。几乎所有具有电源路径管理功能的 I2C 充电器都包含可编程电池欠压锁定 (BUVLO) 保护功能，该功能可用于估算电池电压。

当充电器报告 BUVLO 故障时，会首先触发该功能。这表明电池电压已降至低于 BUVLO 阈值，此时可开始检查是否存在低电压。如果 BUVLO 设置不是最低值，则禁用充电并降至最低 BUVLO 设置，这样可让系统识别电池是否已降至临界放电电平。

电池电压降至低于 BUVLO 时会禁用大多数充电器。因此，请务必注意，将 BUVLO 用作电压监测器时需要一个输入适配器。否则可能会无意中禁用器件。请注意，电池电压可能等于 BUVLO 电压加上 BUVLO 迟滞值，因为只有当电池电压升至高于迟滞增加电压时，才会清除电池 UVLO 标志。

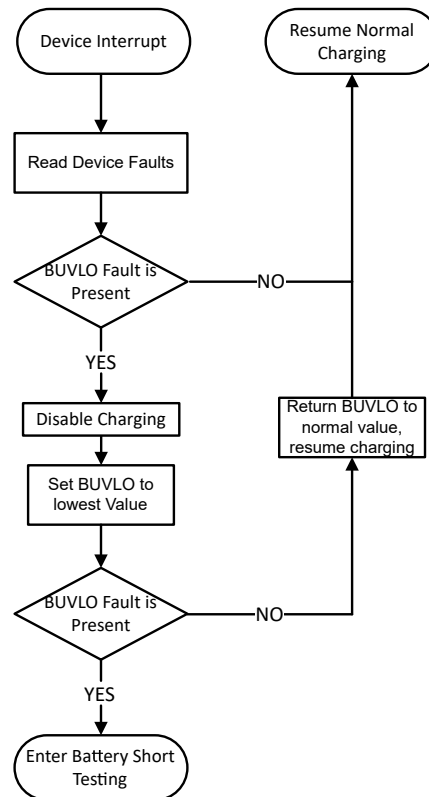


图 2-1. 电池监测流程

2.2 执行电池短路测试

如果电池电量降至低于临界放电电平，系统会进入电池短路识别过程。如果施加了低充电电流，则可对充分放电的电池恢复充电，但内部短路的电池不会升高电压。我们可以利用这种行为，通过 **BUVLO** 监测电压上升，从而帮助识别电池短路。可以施加电池制造商指定的预充电电流，对严重放电的电池进行缓慢充电。一段时间后可以再次停止充电，并可进行类似的电池电压检查。如果电池电压仍低于 **BUVLO** 阈值，则可再次尝试。如果多次重试后电池电压仍未升至 **BUVLO** 以上，则很可能是内部电池短路导致充电电流泄漏。需要让系统意识到该行为，并且需要禁用充电。

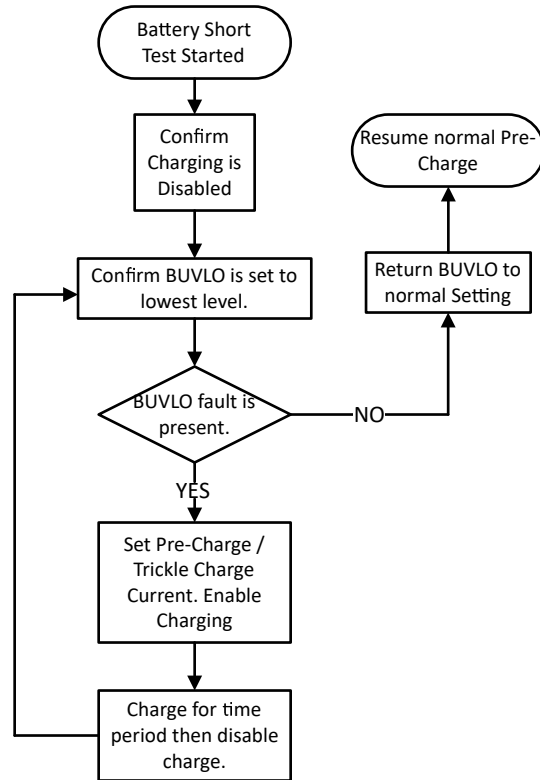


图 2-2. 短路测试流程

2.3 实现示例

我们提供了以下示例，用于演示 2V 充电抑制的一种可能实现方式。该示例的设置包括连接到 BQ25120A 的 MSP430F5529。对于适用于大多数充电器的更广泛示例，使用 BUVLO 设置测量电池电压，而不是使用 BQ2512x 系列器件上提供的基于电压的监测器功能来测量电池电压。

BAT_UV 故障可用作启动识别电池内部短路过程的触发器。该测试可能会对充电造成干扰，因此最好在运行测试之前先确认电池已严重放电。在这种情况下，Charger_getBatteryCriticallyDischarged 函数用于识别电池电压是否低到足以运行测试。

```
void Charger_handleBatUVFault(void){
    //Charge is Disabled
    Charger_disableCharge();

    //Check if battery is critically discharged
    if(Charger_getBatteryCriticallyDischarged()){

        //Run battery short test
        if(Charger_runBatteryShortTest()){

            //If Battery is Shorted set global flag
            Charger_BatteryShorted = true;
            return;
        }
    }

    //enable Charging
    Charger_enableCharge();
    return;
}
```

可通过以下代码行演示电池监测流程。为实现低电压充电抑制，监测流程只需对电池进行最低电压电平的测试。使用其他电压电平可以了解用于其他目的的电池电压是多少。

```
bool Charger_getBatteryCriticallyDischarged(void){
    uint8_t currentBuvlo, faultRegisterValue;
    bool batteryIsCriticallyDischarged;
    uint16_t ERR_NO;

    //Store Current BUVLO Setting
    currentBuvlo = Charger_getBUVLO();

    //Set BUVLO to Lowest Value
    Charger_setBUVLO(CHARGER_BUVLO_2p2V);

    //Read Fault Register
    StdI2C_P_RX_Single(CHARGER_I2C_ADDR,CHARGER_REG_FAULT ,&faultRegisterValue ,&ERR_NO);

    //Get BAT_UVLO Status
    batteryIsCriticallyDischarged = (faultRegisterValue & CHARGER_FAULT_BATUV_MASK);

    //Restore BUVLO Setting
    Charger_setBUVLO(currentBuvlo);

    return batteryIsCriticallyDischarged;
}
```

确定电池严重放电后，进行电池短路测试，在此期间使用低充电电流，并在短时间内以不同的间隔定期重新测试电池。该测试的电流、测试持续时间和重新测试的时间间隔可能因电池和应用而异。

```

bool Charger_runBatteryShortTest(void){
    uint8_t pretermCurrent;
    uint8_t maxRetries = 5;

    //Store PreTerm current settings
    pretermCurrent = Charger_getPreTermCurrent();

    //Set PreTerm to 10mA
    Charger_setPreTermCurrent(CHARGER_PRETERM_10mA);

    for(int try = 0; try < maxRetries; try++){
        //Enable Charging for test
        Charger_enableCharge();

        //Start Periodic Retest timer
        Charger_startShortTestTimer();

        //Await timer elapse
        while(Charger_ShortTestTimerRunning);

        //Disable charging for Critical Discharge test
        Charger_disableCharge();

        //Test if critically discharged
        if (!Charger_getBatteryCriticallyDischarged()){

            //Return PreTerm current to previous setting
            Charger_setPreTermCurrent(pretermCurrent);

            //Report no short on battery
            return false;
        }
    }

    //Return PreTerm current to previous setting
    Charger_setPreTermCurrent(pretermCurrent);

    //Report shorted battery
    return true;
}

```

最终，如果充电没有导致电池电压升至高于临界放电阈值，则设置一个指示电池短路的全局标志，并且不允许继续充电。这是一个在充电启用时检查的标志，设置该标志后，就不能开始充电。

```

void Charger_enableCharge(void){
    uint8_t registerValue;
    uint16_t ERR_NO;

    //Check if Battery is Shorted before enabling charge
    if(Charger_BatteryShorted){
        return;
    }

    //Clear Charge Disable Bit
    StdI2C_P_RX_Single(CHARGER_I2C_ADDR,    CHARGER_REG_ICHG,    &registerValue, &ERR_NO);
    registerValue &= ~(CHARGER_ICHG_DISABLE_MASK);
    StdI2C_P_TX_Single(CHARGER_I2C_ADDR,    CHARGER_REG_ICHG,    registerValue, &ERR_NO);
    return;
}

```

图 2-3 和图 2-4 中显示了实现的结果。在这些测试中，使用了一个电池仿真器来演示处于低电压的电池在保持低电压时如何防止充电。在短路测试期间恢复电压的电池可以恢复充电。

在 BAT 未恢复的情况下进行多次电池电压测量后，INT 变为高电平并且 IBAT 变为 0mA，表明已禁用充电。

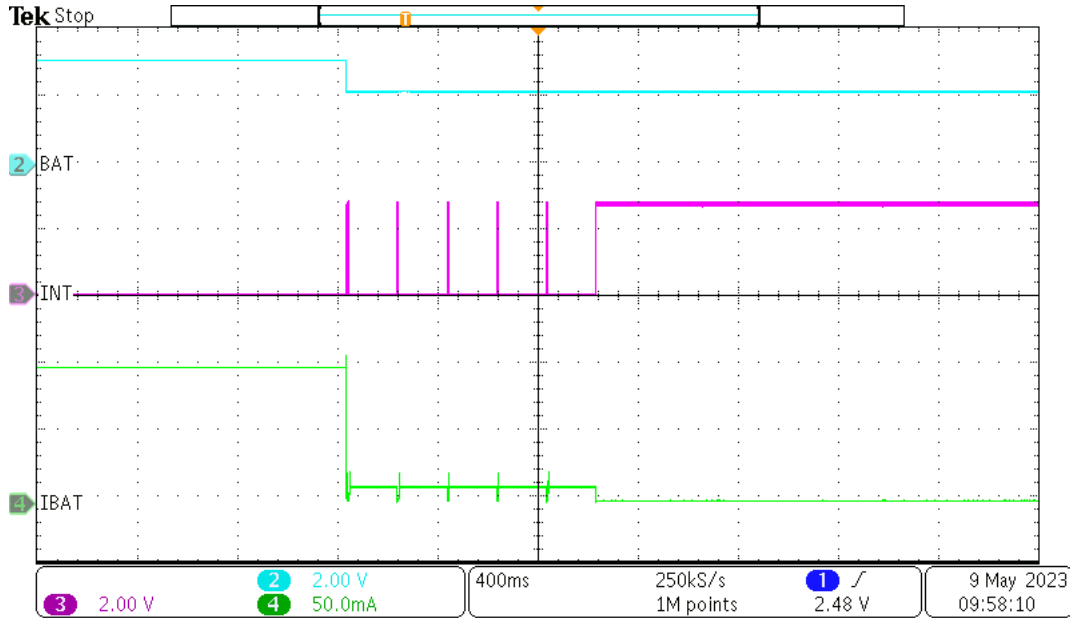


图 2-3. 电池短路仿真

几次重试后，BAT 电压上升，使器件能够退出测试并恢复对电池充电。

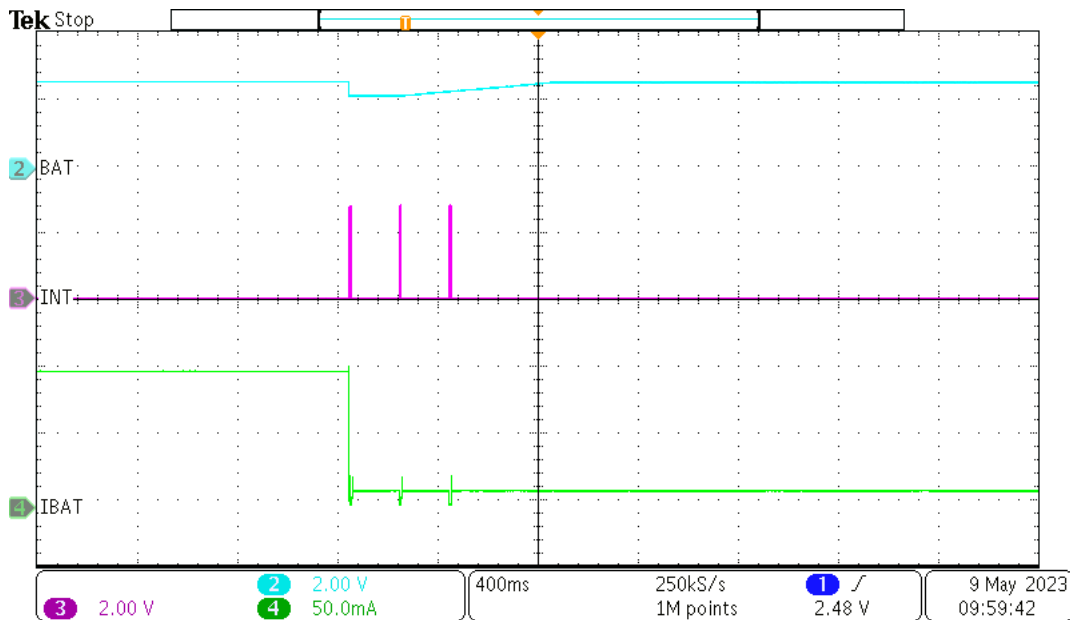


图 2-4. 电池恢复仿真

3 总结

虽然不是保护 IC 的直接替代品，但电池充电可用于实现保护，防止对内部短路的电池进行充电。如果其他监测器不可用，**BUVLO** 功能可用作临时的电压监测器来识别低电压。利用该电压监测器，可以使用小电流来测试电池是否短路。主机处理器可实现此逻辑，从而为充电系统的保护措施增加一层冗余。

4 参考文献

- 德州仪器 (TI), [具有电源路径和运输模式的 BQ25180 I2C 控制型 1 节 1A 线性电池充电器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [BQ25150 具有 10nA 运输模式、高级电源路径管理和控制功能、ADC 和 LDO 的 I2C 控制型单节电池 500mA 线性充电器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [BQ25120A 适用于可穿戴设备和物联网的低 IQ 高度集成式电池充电管理解决方案](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [BQ25970、BQ25971 具有 ADC 的 I2C 控制型单节电池高效率 8A 开关电容快速充电器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [为何要实现 0V 充电抑制?](#), E2E™ 设计支持论坛。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司