



Matt Sunna

摘要

BQ769x2 电池监控器系列 (包括 BQ76952、BQ76942 和 BQ769142) 提供电池平衡功能, 该功能可以自主运行, 也可以由主机控制。本文档介绍了如何在电池组应用中使用器件的电池平衡功能。介绍了如何使用外部 FET 和 BJT 来提升 IC 的电流能力。介绍了独立模式下的平衡算法, 以及通过实施主机控制的平衡算法来避免损坏 IC 的注意事项。

内容

1 引言.....	2
2 电池平衡电路注意事项.....	2
2.1 内部电池平衡电路设计.....	2
2.2 采用 N 沟道 FET 的外部电池平衡电路设计.....	3
2.3 采用 P 沟道 FET 的外部电池平衡电路设计.....	6
2.4 采用 BJT 的外部电池平衡电路设计.....	7
2.5 平衡期间的电压测量精度.....	8
3 独立平衡算法和设置.....	9
4 主机平衡算法注意事项.....	10
5 时序信息.....	11
6 调试电池平衡的常见问题.....	15
6.1 使用电阻分压器作为电池仿真器.....	15
7 参考文献.....	15
8 修订历史记录.....	16

插图清单

图 2-1. 用于内部平衡的应用电路.....	3
图 2-2. 采用外部 N 沟道 FET 的平衡电路.....	4
图 2-3. 采用 N 沟道 FET、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的 BQ76942 电池平衡.....	5
图 2-4. 采用外部 P 沟道 FET 的平衡电路.....	6
图 2-5. 采用外部 BJT 的平衡电路.....	7
图 2-6. 采用 NPN BJT、电池 4 (黄色) = 3.8V、电池 3 (蓝色) = 3.7V 时的 BQ76942 电池平衡.....	8
图 3-1. “Balancing Configuration” (平衡配置) 寄存器.....	9
图 3-2. BQStudio 中的默认电池平衡配置设置.....	9
图 5-1. CB_SLOW = 0x00、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的电池平衡.....	12
图 5-2. CB_SLOW = 0x01、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的电池平衡.....	13
图 5-3. CB_SLOW = 0x10、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的电池平衡.....	14
图 5-4. CB_SLOW = 0x11、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的电池平衡.....	15

表格清单

表 3-1. 电池平衡 CB_SLEEP 和 CB_NOSLEEP 配置设置.....	10
表 4-1. 主机控制型电池平衡子命令.....	10
表 4-2. 电池平衡状态子命令.....	11
表 5-1. 电池平衡循环减慢设置.....	11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在电池组制造期间，电池组中的各个电池通常是相配的。随着时间的推移，电池之间的荷电状态可能会出现不平衡，从而降低电池组的整体容量。用于均衡电池的电池平衡功能可以延长电池组的工作时间。

BQ769x2 使用电池之间的集成旁路开关或外部旁路 FET 开关在充电或静置期间旁路所选电池的电流，从而支持被动电池平衡。该器件采用基于电压的平衡算法。该算法可以选择性地自主平衡电池，而无需与主机处理器进行任何交互。或者，如果愿意，可以通过主机处理器完全手动控制平衡。

在平衡处于活动状态时电流流入 BQ769x2 器件上的电池输入引脚，因此该器件对电池电压的测量和对电池电压保护的评估在平衡期间会被修改。在 ADC 测量主动平衡的电池以及测量与活动电池紧邻的电池时，在常规测量循环期间会暂时禁用平衡。类似地，在测量电池组电压时，会禁用顶部电池平衡。这发生在每个测量循环中，因此会导致流过的平均平衡电流显著减小。为了帮助缓解这种情况，提供了额外的配置位，这些位会使该器件在电池平衡处于活动状态时降低测量循环速度。BQ769x2 器件将在每个电压和温度扫描循环后插入仅电流测量，以减慢电压测量速度，从而增大平均平衡电流。

2 电池平衡电路注意事项

特定电池的电池平衡包括启用该电池上的集成式 FET 开关。在启用内部平衡功能时，平衡电流由所选输入滤波电阻器的值决定。在内部平衡电流可能不足的应用中，可以通过使用 FET 或 BJT 来增大平衡电流。随后的几节将讨论内部平衡、使用 N 沟道 FET 的外部平衡、使用 P 沟道 FET 的外部平衡以及使用 BJT 的外部平衡的电路设计注意事项。此外，还将讨论功率耗散和时序注意事项。

2.1 内部电池平衡电路设计

在启用其中一个内部平衡 FET 后，此内部 FET 会同时拉该电池的引脚，从而使电流流经该电池的输入电阻器。在启用内部平衡功能时，输入滤波电阻器的最小建议值为 $20\ \Omega$ 。该值可以最大限度地提高平衡电流，同时使其不超出内部 FET $R_{DS(ON)}$ 范围内的绝对最大电池平衡电流。输入滤波电阻器的最大建议值为 $100\ \Omega$ 。

内部 FET 的典型内部电池平衡电阻 ($R_{DS(ON)}$) 为 $25\ \Omega$ 。对于完全充电电压为 $4.2V$ 的典型锂离子电池，这会产生大约 $65mA$ 的平衡电流。如果开关持续接通，那么该电流为直流电流，因此平均平衡电流会更低。占空比由多种因素决定，节 5 将对这些因素进行更加详细的讨论。

$$I_{Balance} = V_{Cell}/(2 \times R_n + R_{CB}) = 4.2V/(2 \times 20 + 25) \approx 65mA$$

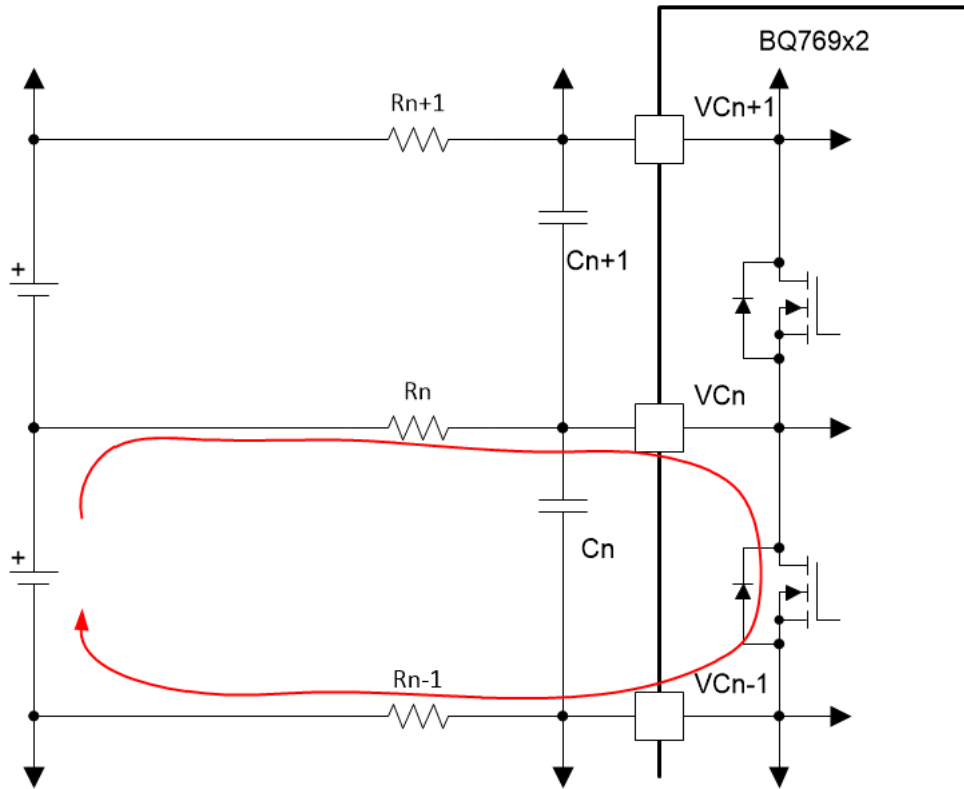


图 2-1. 用于内部平衡的应用电路

对于许多应用来说，器件的内部平衡电流足以满足要求，不需要额外的外部元件。不过，必须考虑功率耗散及其对器件温度的影响。例如，65mA 的电流流入 25Ω 的电阻器会产生大约 0.1W 的功耗。该器件的结至环境热阻为 66°C/W。如果同时对 5 节电池进行平衡，则会导致结温上升 33°C。

可以通过多种方法来避免过大的功率耗散。可以通过设置 **Settings: Cell Balancing Config: Cell Balance Max Cells** 来限制允许同时进行平衡的电池的最大数量。还有一些参数用于根据电池温度或器件的内部温度来控制何时允许进行平衡。这些参数可用于在自主模式下控制功率耗散和温度。还可以增大电池输入电阻器值，以减小平衡电流，而这也会降低功率耗散。

2.2 采用 N 沟道 FET 的外部电池平衡电路设计

对于需要更高电池平衡电流的应用，通常使用外部 FET。使用外部 FET 时，可以将电池输入电阻器增大至最大建议值 100Ω。增加电阻器大小将有助于在 FET 的栅极上提供足够的电压。在图 2-2 中，当内部 FET 在器件内部导通时，流经 R_{n-1} 的电流为外部 FET 提供 V_{GS} 的电压。

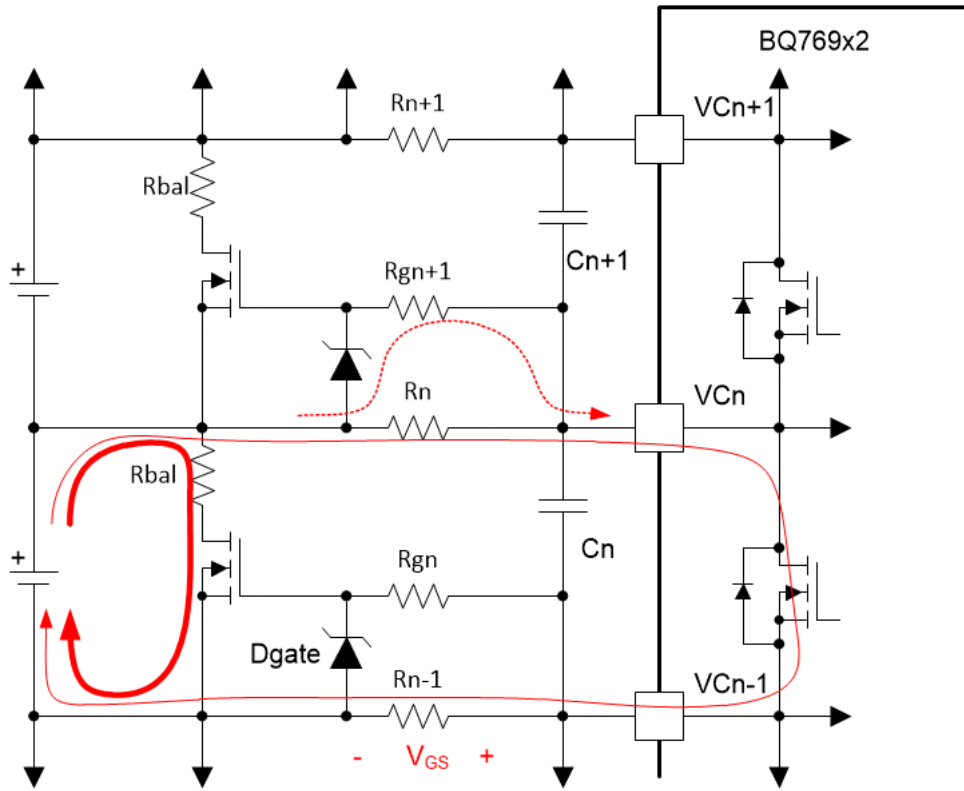


图 2-2. 采用外部 N 沟道 FET 的平衡电路

必须小心选择具有在低 V_{GS} 下定义的低 $R_{DS(on)}$ 的外部 FET。例如，由参数 **Cell Balance Min Cell V** (电池平衡最低电池电压) 定义的默认平衡最低电压为 3900mV。外部 FET 应具有在 $3.9V \times 100 / (100 + 100 + 25) = 1.73V$ 或更低的电压下定义的 $R_{DS(on)}$ 。

需要使用一个齐纳二极管来保护外部 FET 栅极免受电池组瞬态的影响。例如，如果一个 10 节电池组发生短路，则在发生短路期间，电池 10 的 R_n 两端将具有大约 40V 的电压，而在短路解除时会发生相反的瞬态。应通过一个电阻器来连接栅极电压，以限制二极管导通时的电流。(在正常操作期间，齐纳二极管将不会导通)。

对于下面捕获的波形，电路设计采用了 $100\ \Omega$ 的 R_n 和 $1k\ \Omega$ 的 R_{gn} 。 R_{bal} 电阻器设置为 $50\ \Omega$ ，从而在 4V 电压下使流经外部 FET 的平衡电流为 80mA。在该电池电压下，约 16mA 的额外电流流经器件的内部 FET，从而使总平衡电流接近 96mA。选择了一个具有为低 V_{GS} (低至 1.4V) 定义的 $R_{DS(on)}$ 的 N 沟道 MOSFET。

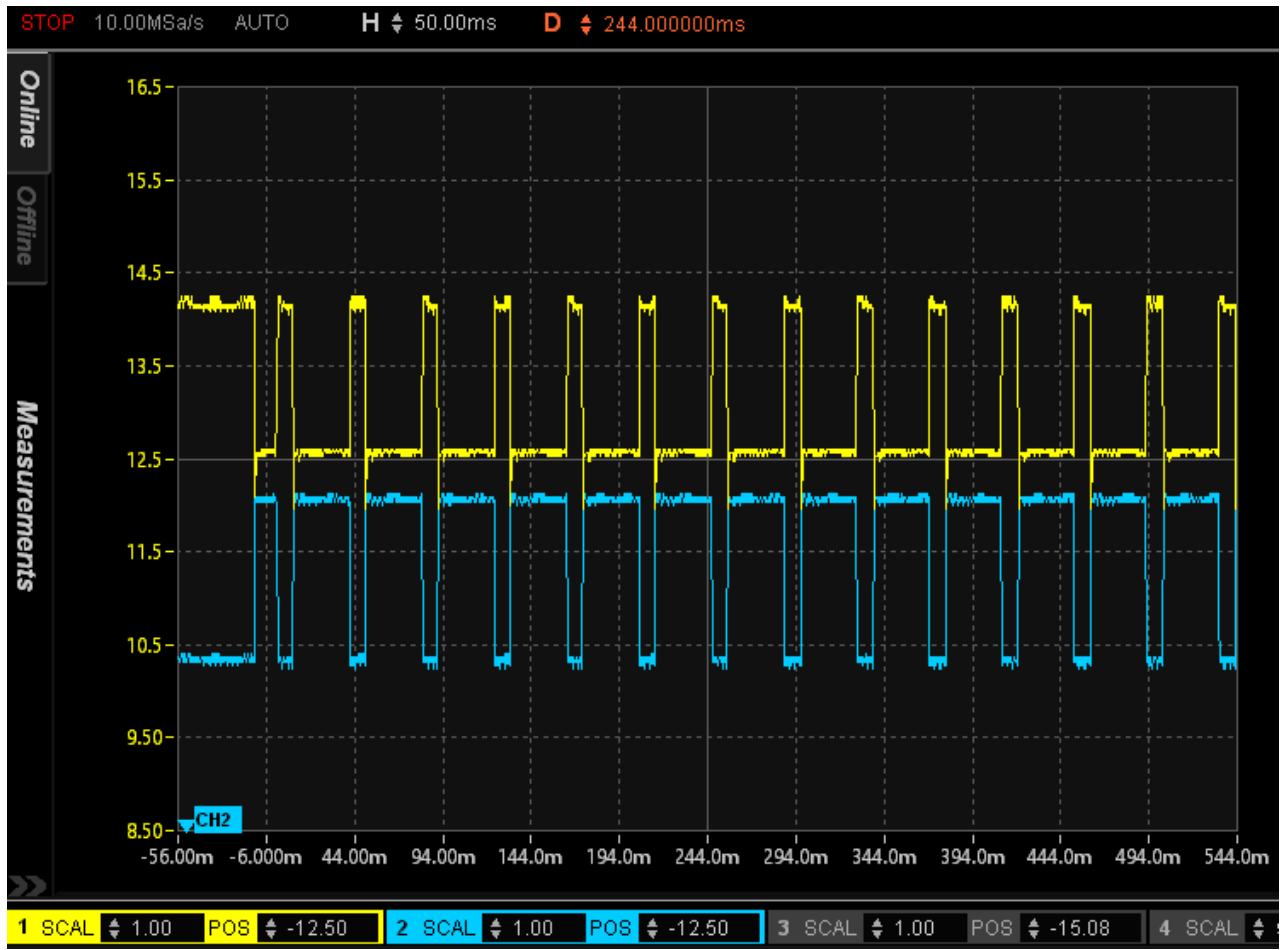


图 2-3. 采用 N 沟道 FET、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的 BQ76942 电池平衡

2.3 采用 P 沟道 FET 的外部电池平衡电路设计

P 沟道 FET 能够以类似的方式用于外部平衡。在使用 P 沟道 FET 时，在每节电池的顶部输入电阻器上生成 V_{GS} 。

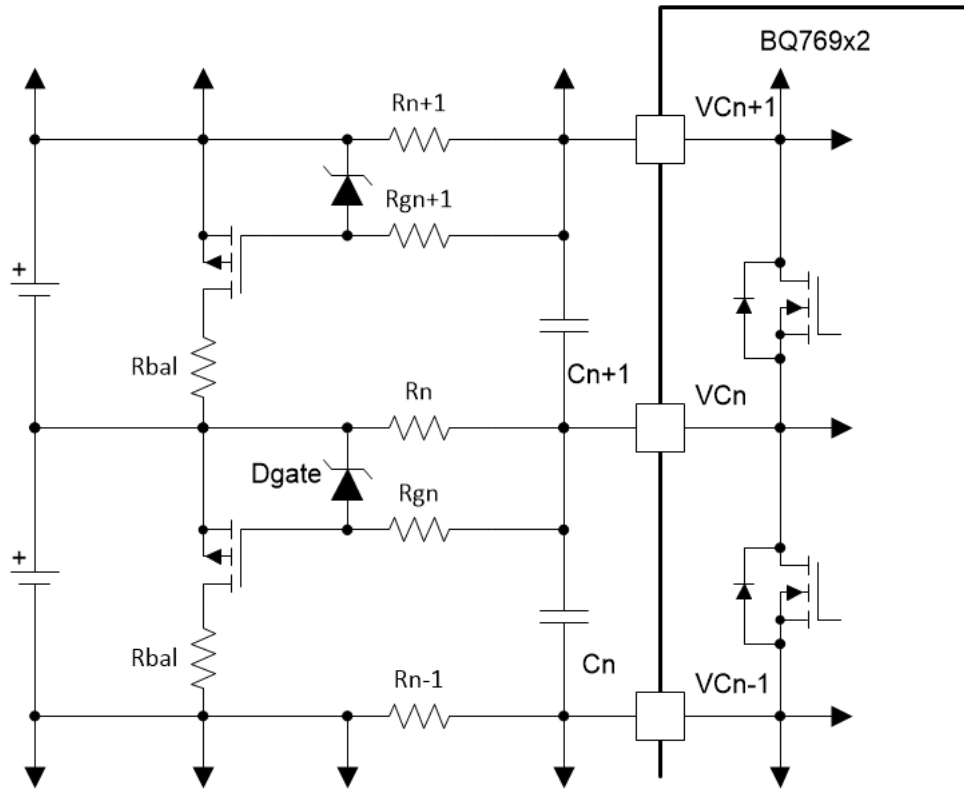


图 2-4. 采用外部 P 沟道 FET 的平衡电路

2.4 采用 BJT 的外部电池平衡电路设计

外部 FET 适用于大多数采用典型 4.2V 锂离子电池的应用，因为在充电期间通常会在较高的电压下进行平衡。对于所需的平衡电流比内部平衡所能提供的平衡电流更高、但还需要在较低的电池电压下进行平衡的应用，可以考虑采用外部 BJT。可以通过选择合适的平衡电阻器 (R_{bal}) 和基极电阻器 (R_{bn}) 来控制外部 BJT 的平衡电流。在图 2-5 中，当内部 FET 在器件内部导通时，流经 R_{bn} 的电流使 NPN 晶体管进入饱和状态。

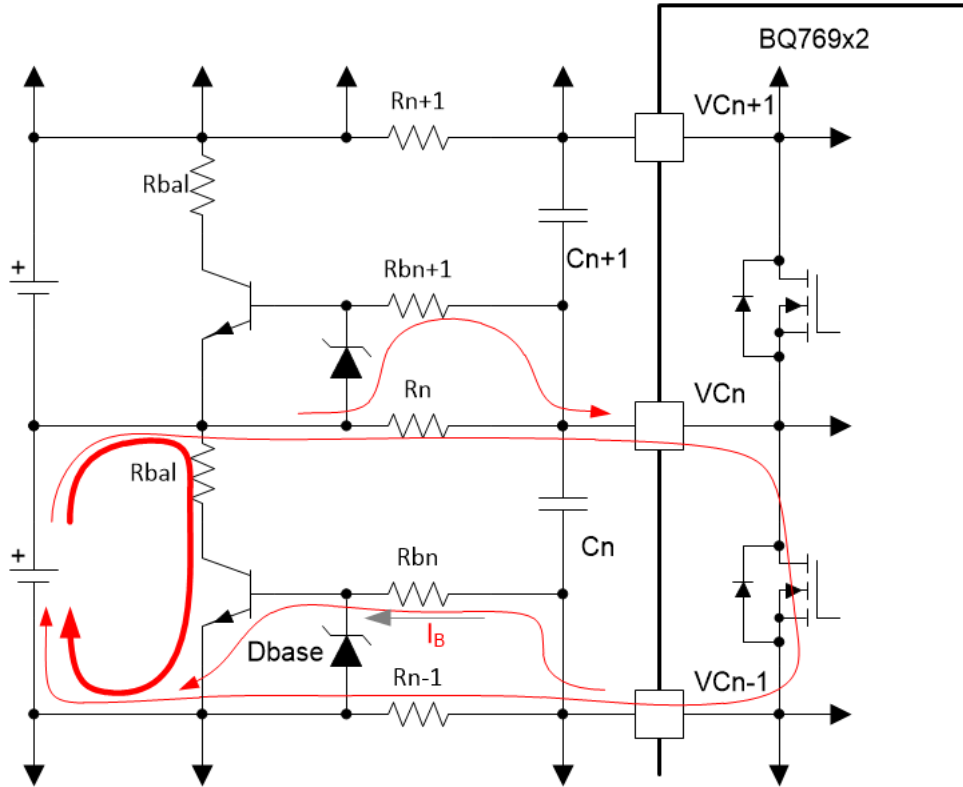


图 2-5. 采用外部 BJT 的平衡电路

该电路中还使用了一个齐纳二极管，以防受到与 FET 电路类似的电池组瞬态的影响。使用 BJT 时，也适合使用标准二极管，而不是齐纳二极管，因为保护晶体管的是齐纳二极管的正向电压。基极-发射极二极管（或用于 PNP 的发射极-基极二极管）将执行反向导通，这将阻止齐纳二极管导通。

对于下面捕获的波形，电路设计采用了 $100\ \Omega$ 的 R_n 和 $240\ \Omega$ 的 R_{gn} 。 R_{bal} 电阻器设置为 $50\ \Omega$ ，从而在 4V 电压下使流经 BJT 的平衡电流为 80mA。在该电池电压下，约 22mA 的额外电流流经器件的内部 FET，从而使总平衡电流接近 102mA。选择了一个在 100mA I_C 下 hFE 为 30 的 NPN 晶体管。在采用该元件选型的情况下，当电池电压为 4V 时， I_B 大约为 4.5mA。

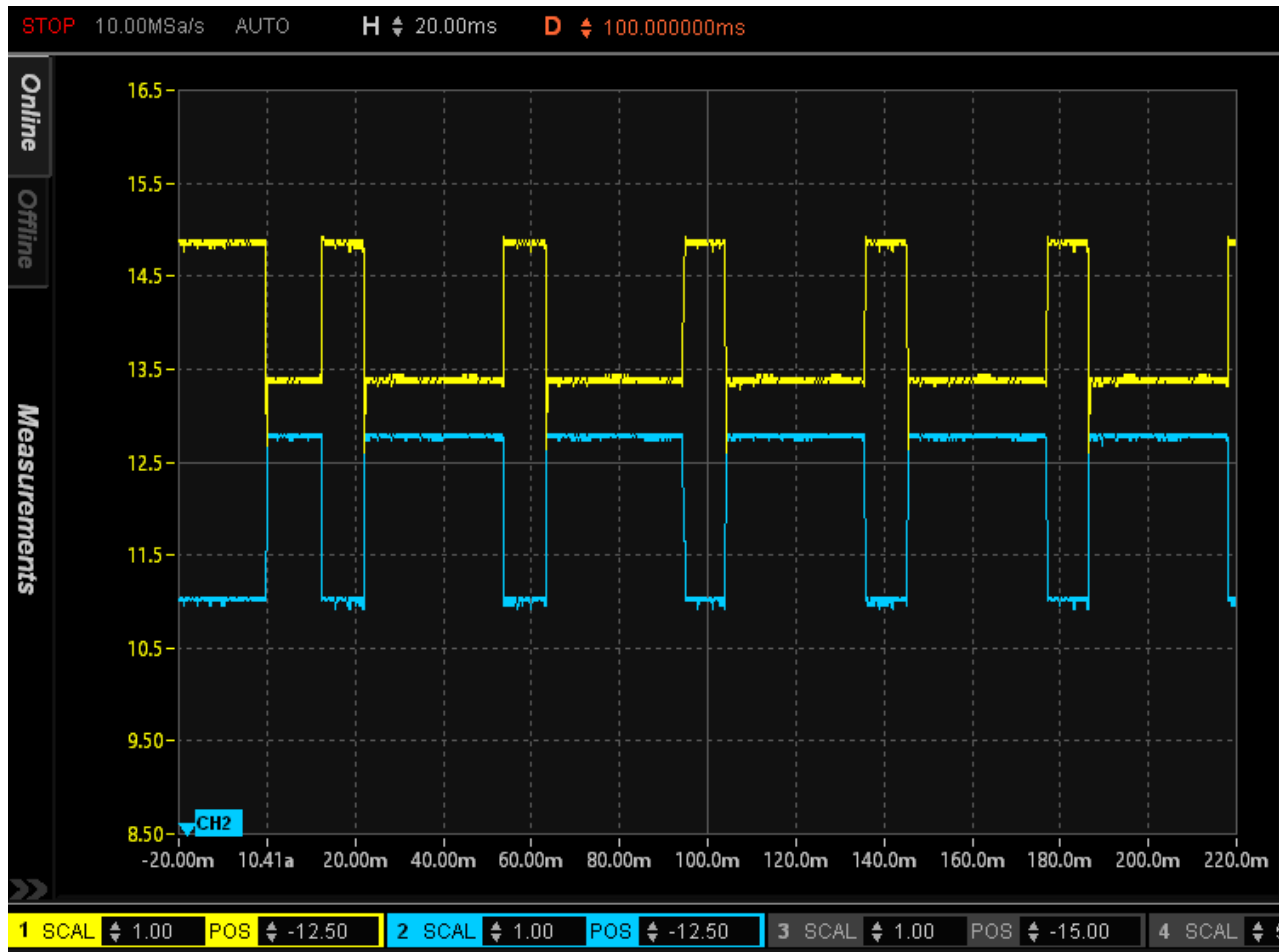


图 2-6. 采用 NPN BJT、电池 4 (黄色) = 3.8V、电池 3 (蓝色) = 3.7V 时的 BQ76942 电池平衡

2.5 平衡期间的电压测量精度

当电池平衡处于活动状态时，电压测量结果通常会非常精确，但在系统设计中需要注意和考虑一些重要因素。应该考虑的两个因素是所选电池输入滤波器元件的时间常数和可能会影响顶部电池测量精度的顶部电池输入电阻器上的 IR 压降。

滤波器组件的时间常数：当选择的外部电池输入电阻和输入电容处于数据表建议值范围内时，应尽可能减小平衡期间的电压精度偏差。电池电压是在 3ms 间隔内测量的，较小的 RC 时间常数几乎没有影响。如果选择较大的元件值，从而导致较大的时间常数，则在测量窗口期间，电压可能无法充分稳定，从而会测量到较低的电压。

顶部电池输入电阻器上的 IR 压降：当电池平衡处于活动状态时，对于正在平衡的每节电池，会有额外的电流流入顶部电池输入端（例如对于 BQ76952，则为 VC16）。这些额外的电流会导致顶部电池的电池输入电阻器上出现小的 IR 压降，从而导致平衡期间的电压读数较低。例如，如果 8 节电池正在同时进行平衡，此时使用了 20Ω 的电池输入电阻器，这将导致 VC16 电压测量值比实际电池电压 ($35\mu\text{A} * 20\Omega * 8$ 节电池) 低 5mV。可以通过限制允许同时进行平衡的电池的最大数量 (**Settings: Cell Balancing Config: Cell Balance Max Cells**) 来减小 IR 压降。IR 压降仅影响顶部电池测量。如果使用较大的电池输入电阻器（例如使用最大输入电阻建议为 100Ω 的外部平衡晶体管时），最好使用较小的输入电阻器，例如在 VC16 引脚上连接 20Ω 电阻器，而在其他引脚上使用 100Ω 电阻器，从而降低 IR 压降。

COV/CUV 检查期间的测量干扰：平衡期间导致电压测量误差的另一个可能原因是定期过压和欠压检查期间的电压干扰。电池平衡功能每秒钟都会禁用约 20ms，以便在所有电池上运行所有 COV 和 CUV 检查。这种平衡功能禁用与电池测量时序不同步，因此在测量附近电池期间偶尔会发生这种情况。这一事件会产生瞬态响应，而瞬态响应会通过电池 RC 输入网络进行耦合，从而导致比实际电压低数 mV 的测量误差。这一事件发生的可能性较小，因此通常每几百秒才可能观察到一次。若要解决此问题，一种可能的解决方案是对与前后相邻测量不同的单次测量进行滤波。

3 独立平衡算法和设置

BQ769x2 器件禁用了电池平衡功能，并默认选择了自主模式。图 3-1 显示了 Battery Management Studio 软件中的“Balancing Configuration”（平衡配置）寄存器。若要启用独立电池平衡功能，可以设置 [CB_CHG] 或 [CB_RLX] 位。

Balancing Configuration								
MSB	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
	RSVD_0	RSVD_0	RSVD_0	CB_HO_CMD	CB_HOSLEEP	CB_SLEEP	CB_RLX	CB_CHG
Write to Data Memory								

图 3-1. “Balancing Configuration”（平衡配置）寄存器

充电与静置 - 可以设置 [CB_CHG]、或在静置状态下设置 [CB_RLX]，或同时设置这两者，从而在充电期间进行自主平衡。如果设置了 [CB_CHG]，则在 CC1 电流高于 **Settings:Current Thresholds:Chg Current Threshold** 时能够进行自主平衡。如果设置了 [CB_RLX]，则在电流低于 **Settings:Current Thresholds:Chg Current Threshold** 并高于 **Settings:Current Thresholds:Dsg Current Threshold** 的负值时能够进行自主平衡。该器件会以 **Cell Balance Interval**（电池平衡间隔）评估继续平衡的条件。例如，如果该器件被配置为在充电期间避免进行平衡，且在平衡时电池组开始充电，则平衡在被禁用前会继续进行，直到间隔计时器到期。

下面的“Battery Management Studio Data Memory”窗口中显示了多个参数。温度参数 **Min Cell Temp**（最低电池温度）、**Max Cell Temp**（最高电池温度）和 **Max Balance Current**（最大平衡电流）用于设置电池平衡的允许温度限值。如果温度超出这些参数设置的限值，该器件将禁用平衡（自主型和主机控制型）。**Cell Balance Max Cells**（电池平衡最大电池数）用于限制在自主模式下可以同时平衡的电池数量（在主机控制模式下忽略该参数）。这对于限制平衡期间的功率耗散非常有用。

Cell Balancing Config		
Balancing Configuration	00	Hex
Min Cell Temp	-20	°C
Max Cell Temp	60	°C
Max Internal Temp	70	°C
Cell Balance Interval	20	s
Cell Balance Max Cells	1	s
Cell Balance Min Cell V (Charge)	3900	mV
Cell Balance Min Delta (Charge)	40	mV
Cell Balance Stop Delta (Charge)	20	mV
Cell Balance Min Cell V (Relax)	3900	mV
Cell Balance Min Delta (Relax)	40	mV
Cell Balance Stop Delta (Relax)	20	mV

图 3-2. BQStudio 中的默认电池平衡配置设置

在充电期间启用自主平衡功能时，如果最低电池电压高于 **Cell Balance Min Cell V (Charge)** (电池平衡最低电池电压 (充电)) 并且最高电池电压与最低电池电压之间的差值大于 **Cell Balance Min Delta (Charge)** (电池平衡最小变量 (充电))，则该器件允许进行平衡。类似地，在静置期间启用自主平衡功能时，如果最低电池电压高于 **Cell Balance Min Cell V (Relax)** (电池平衡最低电池电压 (静置)) 并且最高电池电压与最低电池电压之间的差值大于 **Cell Balance Min Delta (Relax)** (电池平衡最小变量 (静置))，则该器件能够进行平衡。在静置期间进行平衡时，如果该器件在每个计时器间隔结束时重新评估电池状态，那么该器件会在所有电池电压都处于最低电池电压的 **Cell Balance Stop Delta (Relax)** (电池平衡停止变量 (静置)) 范围内时停止平衡。该 **Cell Balance Stop Delta (Charge)** (电池平衡停止变量 (充电)) 配置值。应将 **Cell Balance Stop Delta (Charge)** (电池平衡停止变量 (充电)) 参数设置为略低于 **Cell Balance Min Delta (Charge)** (电池平衡最小变量 (充电)) 参数的水平，这样该器件将产生迟滞，从而将重新启动平衡的时间延迟至不平衡水平再次超过较高的 **Cell Balance Min Delta (Charge)** (电池平衡最小变量 (充电)) 水平。

让我们来看一个简单示例。在该示例中，有 4 节电池，在充电期间启用了电池平衡 (设置了 **[CB_CHG]**)。如果 **Cell Balance Min Cell V (Charge) = 3900mV**，则 **Cell Balance Min Delta (Charge) = 40mV**、**Cell Balance Stop Delta (Charge) = 20mV**。随着电池进行充电，我们达到电池 1 = 3900mV、电池 2 = 3940mV、电池 3 = 3910mV、电池 4 = 3930mV 的状态。此时平衡将开始，因为电池 2 高于 **Cell Balance Min Delta (Charge)** (电池平衡最小变量 (充电)) 并且所有电池都高于 **Cell Balance Min Cell V (Charge)** (电池平衡最低电池电压 (充电))。平衡开始后，电池 4 也会进行平衡，因为该电池高于 **Cell Balance Stop Delta (Charge)** (电池平衡停止变量 (充电))。

正常与睡眠模式 - 也可以通过清除 **Balancing Configuration[CB_SLEEP]** 配置位将 BQ769x2 器件配置为避免在睡眠模式下进行自主平衡。如果设置了 **Balancing Configuration[CB_NOSLEEP]** 位，也可以阻止该器件在进行平衡时进入睡眠模式。下表介绍了基于这些位的功能。

表 3-1. 电池平衡 CB_SLEEP 和 CB_NOSLEEP 配置设置

CB_SLEEP	CB_NOSLEEP	说明
0	0	在睡眠模式下不允许进行电池平衡。如果在器件进入睡眠模式时平衡处于活动状态，则平衡会在当前的 Cell Balance Interval (电池平衡间隔) 结束时停止，然后直到该器件返回至正常模式时才会重新开始。
0	1	不允许进行该设置。设置 CB_NOSLEEP 时，也应设置 CB_SLEEP。
1	0	允许电池平衡开始，并在该器件处于睡眠模式时继续。
1	1	如果该器件处于睡眠模式并且电池平衡被视为必须执行的操作，则该器件会退出睡眠模式，以开始进行平衡。阻止该器件在平衡处于活动状态时重新进入睡眠模式。

4 主机平衡算法注意事项

CAUTION

如果电池平衡控制位设置不当，则可能会损坏 IC。

对于主机控制型平衡，可以使用主机发送的特定子命令来实现控制，也可以在密封模式下访问这些子命令，这样就无需在操作中通过解封电池组来启动平衡。如果不进行主机控制型平衡，则可以通过设置 **Balancing Configuration[CB_NO_CMD]** 配置位来禁用对这些子命令的访问。主机用于控制电池平衡的子命令如下所述。

表 4-1. 主机控制型电池平衡子命令

子命令	说明
0x0083 CB_ACTIVE_CELLS()	执行读取操作后，报告位掩码，其中显示了哪些电池处于主动平衡状态。执行写入操作后，开始对指定的电池进行平衡。写入 0x0000 可以关闭平衡功能。
0x0084 CB_SET_LVL()	在写入 16 位的电池电压阈值 (以 mV 为单位) 后，如果有电池的电压高于写入的阈值，则该器件开始对电压最高的一节或多节电池进行平衡。执行读取操作后，返回该阈值。

该器件还通过下面所述的子命令返回有关电池已被平衡多长时间的状态信息。写入主机控制型平衡命令时，必须向寄存器 0x60/0x61 中写入校验和及长度，这样才能成功写入值。请参阅《TRM 或 BQ769x2 软件开发指南》，以获取有关写入校验和及长度的信息。

表 4-2. 电池平衡状态子命令

子命令	说明
0x0085 CBSTATUS1()	执行读取操作后，返回平衡已执行的时间（16 位，以秒为单位）。
0x0086 CBSTATUS2()	执行读取操作后，返回一个包含电池 1 至 8 中每节电池的累计平衡时间（32 位，以秒为单位）的模块。如果器件发生复位，或者器件进入 CONFIG_UPDATE 模式，则这些值将重置。
0x0087 CBSTATUS3()	执行读取操作后，返回一个包含电池 9 至 16 中每节电池的累计平衡时间（32 位，以秒为单位）的模块。如果器件发生复位，或者器件进入 CONFIG_UPDATE 模式，则这些值将重置。

使用上述子命令启动主机控制型平衡后，该器件会启动一个计时器，并将继续执行平衡，直到该计时器达到值 **Settings:Cell Balancing Config:Cell Balance Interval** 或发出新的平衡子命令（该子命令用于将计时器复位）。之所以将这一点列为预防措施，是考虑到主机处理器启动平衡、但随后又停止与 BQ769x2 器件通信的情况，这种情况会导致平衡无限期停止。

有关相邻电池平衡的说明：进行主机控制型平衡时应注意确保功率耗散处于安全水平。在自主模式下无法实现相邻电池平衡，但可以在主机控制模式下实现。仅在特殊情况下并经过仔细考虑后才应进行相邻电池平衡。必须注意不要超过 100mA（绝对最大值）的电池平衡电流限值或 VC0（绝对最大值）的输入电压限值。

5 时序信息

在平衡处于活动状态时电流流入 BQ769x2 器件上的电池输入引脚，因此该器件对电池电压的测量和对电池电压保护的评估在平衡期间会被修改。在 ADC 测量主动平衡的电池以及测量与活动电池紧邻的电池时，在常规测量循环期间会暂时禁用平衡。类似地，在测量电池组电压时，会禁用顶部电池平衡。这发生在每个测量循环中，因此会导致流过的平均平衡电流显著减小。为了帮助缓解这种情况，**Settings:Configuration:Power Config[CB_LOOP_SLOW_1:0]** 配置位会使该器件在电池平衡处于活动状态时降低测量循环速度，如下所示。BQ769x2 器件将在每个电压和温度扫描循环后插入仅电流测量，以减慢电压测量速度，从而增大平均平衡电流。

表 5-1. 电池平衡循环减慢设置

CB_LOOP_SLOW_1	CB_LOOP_SLOW_0	说明
0	0	测量循环在平衡期间全速运行。
0	1	测量循环在平衡期间以半速运行。
1	0	测量循环在平衡期间以四分之一的速度运行。
1	1	测量循环在平衡期间以八分之一的速度运行。

为了避免平衡电流导致保护警报或故障，该器件会修改主动平衡电池的 CUV 检查和相邻电池的 COV 检查的时序，每秒短暂禁用平衡，以允许执行这些检查。如果在 1 秒检查中检测到 CUV 或 COV 警报，则立即禁用平衡。注意：因此，当平衡处于活动状态时，该器件在这些电池上触发 CUV 或 COV 警报或故障时会有不同时间的延迟（大约为 1 秒）。除了这些主动平衡或相邻的电池之外，不修改其他电池上的 CUV 和 COV 时序。

该器件包括内部芯片温度检查，用于在芯片温度超过可编程阈值时禁用平衡。不过，客户仍应仔细分析平衡对系统中器件的热效应。根据该器件在运行期间的计划环境温度和封装的热属性，应计算该器件内会耗散的最大功率，同时仍确保运行保持在建议的运行温度范围内。然后可以确定电池平衡配置，通过限制可同时进行平衡的电池的最大数量或减小每节电池的平衡电流（方法：选择与每节电池串联的合适外部电阻），使该器件的功率低于此水平。

当自主电池平衡正在进行时，会在每个 **Cell Balance Interval**（电池平衡间隔）重新评估与继续或停止平衡相关的条件。在睡眠模式期间，使用在当时可用的数据（仅每 **Power:Sleep:Voltage Time** 更新一次）来完成该重新评估。因此，在根据这些数据更改平衡之前，可能会发生与这些设置相关的一定程度的延迟。

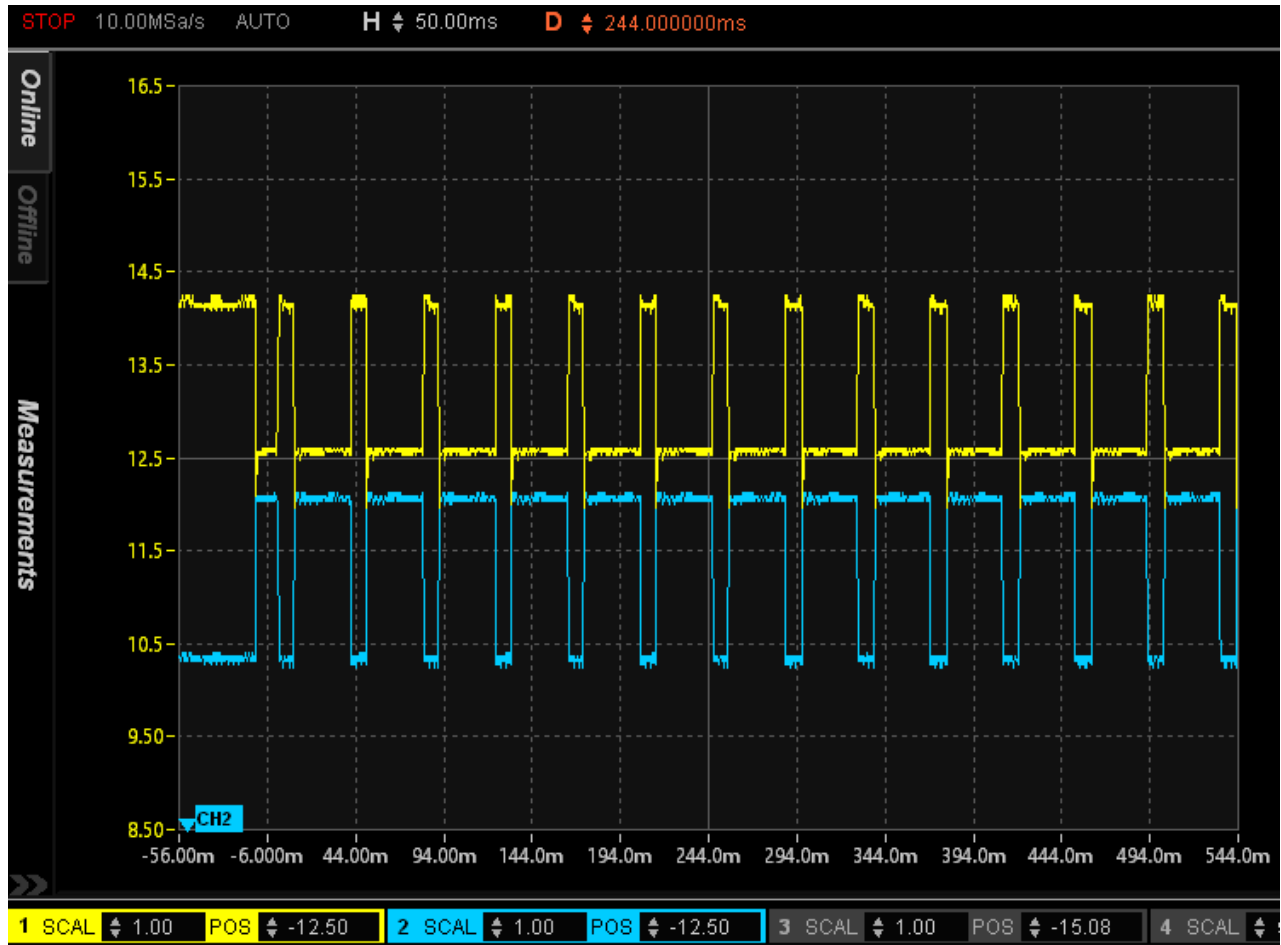


图 5-1. CB_SLOW = 0x00、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的电池平衡

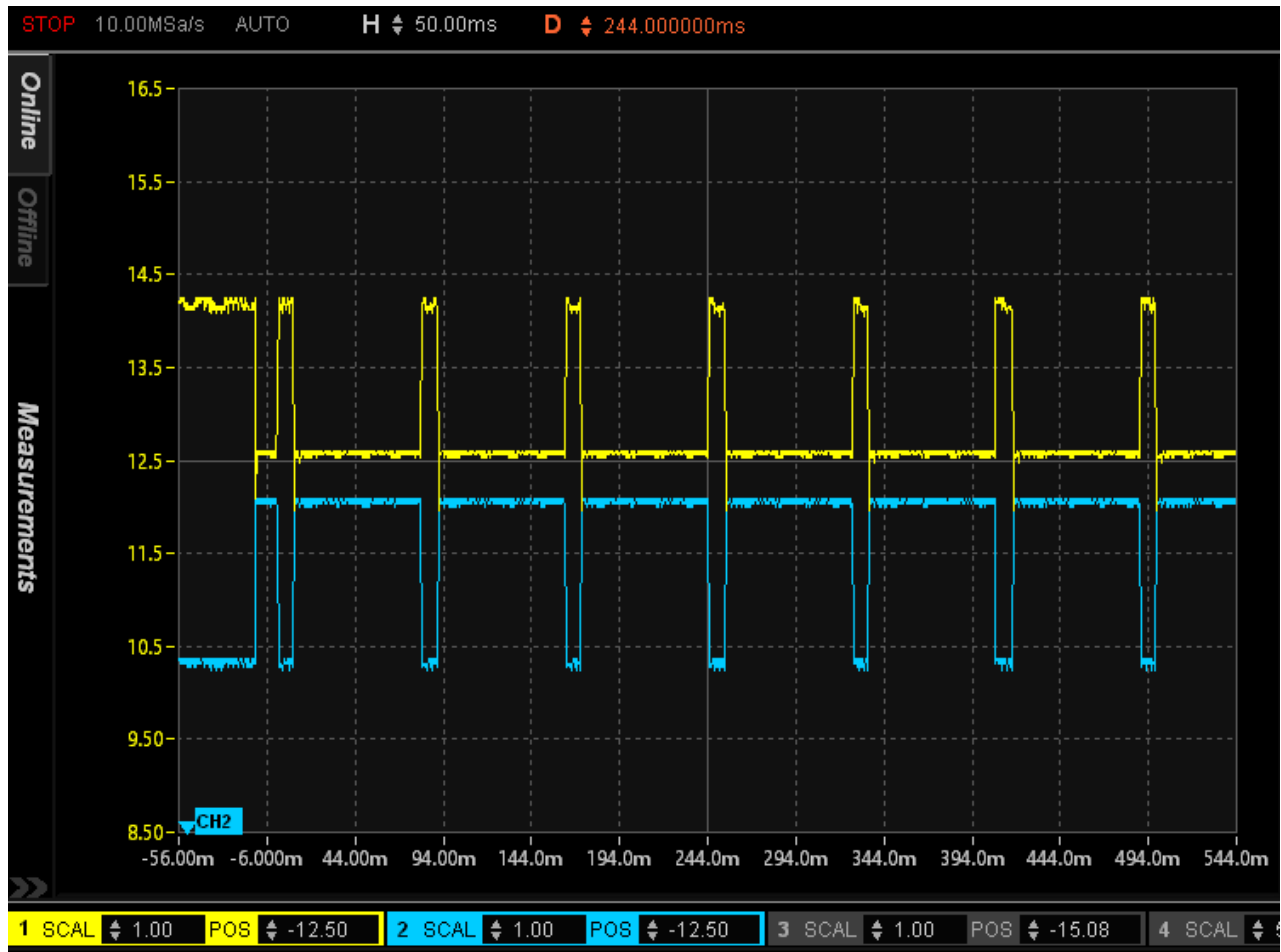


图 5-2. CB_SLOW = 0x01、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的电池平衡

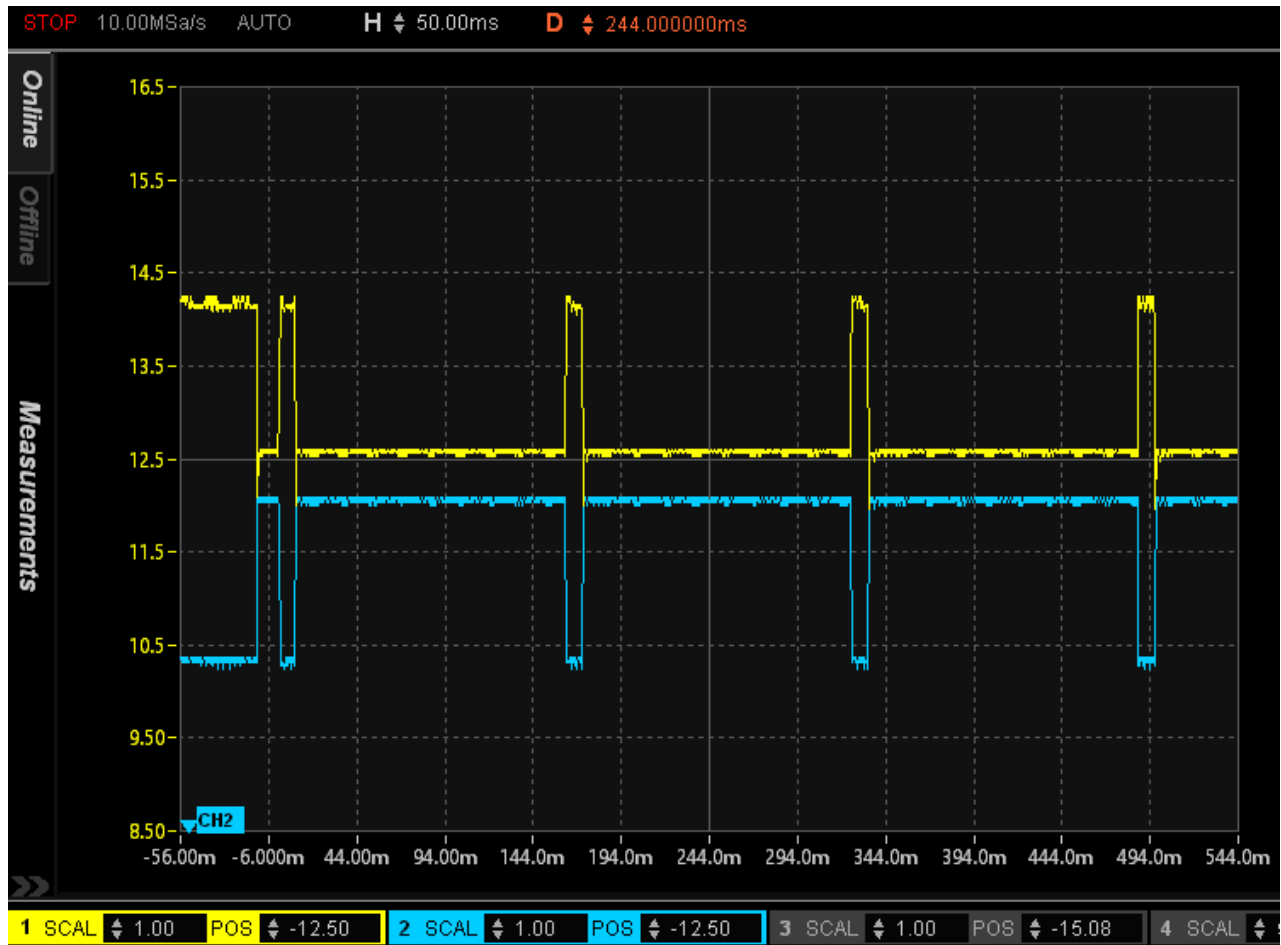


图 5-3. CB_SLOW = 0x10、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的电池平衡

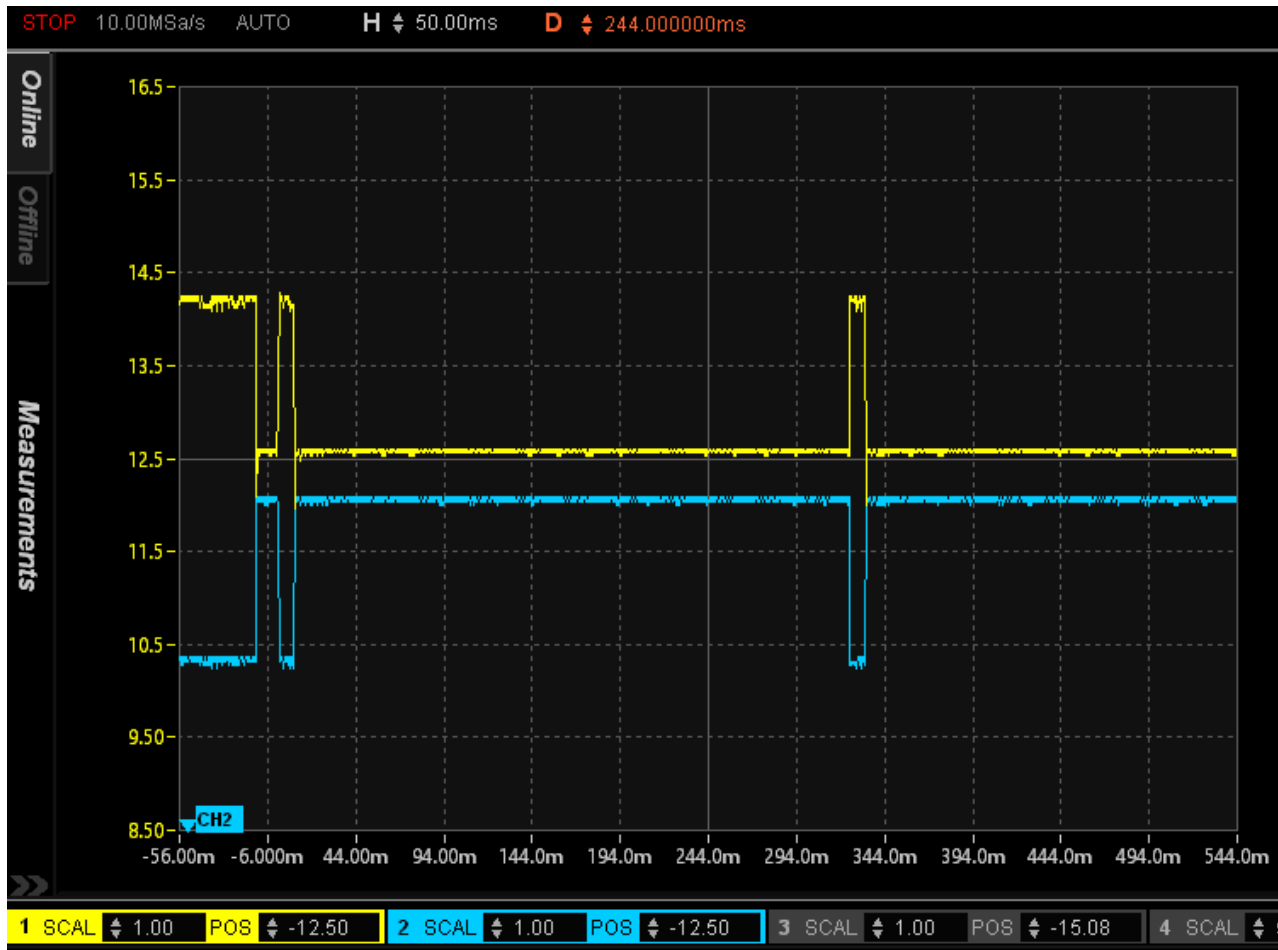


图 5-4. CB_SLOW = 0x11、电池 4 (黄色) = 3.7V、电池 3 (蓝色) = 3.5V 时的电池平衡

6 调试电池平衡的常见问题

6.1 使用电阻分压器作为电池仿真器

使用电源和电阻分压器测试电池平衡功能以模拟电池时，通常会触发过压保护，这一情况或许能在 **Safety Alert A** 寄存器中观察到。这是因为，当其中一个电池上的电池平衡开启时，电阻分压器将会拉高其他电池输入的电压。这会导致电池变得不稳定，从而触发过压状况。只要发生过压状况，电池平衡功能就会立即禁用。

测试电池平衡功能的理想方式是使用真正的电池。可以略微提高其中一个电池的电量或者略微多放掉一点电，从而触发电池平衡功能。如果没有真正的电池，另一种选择是使用电阻分压器并在其中一个电池上连接另一个电源。例如，如果主电源和电阻分压器设置为在每个电池输入上提供 3.9V 电压，另一个电源可以设置为提供 3.9V 电压并连接到其中一个电池输入上。然后，可以将该电源调节至 3.95V，以启用电池平衡功能。

7 参考文献

- 德州仪器 (TI), [BQ76952 技术参考手册](#)
- 德州仪器 (TI), [BQ76942 技术参考手册](#)
- 德州仪器 (TI), [BQ769142 技术参考手册](#)

8 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 Revision * (October 2021) to Revision A (February 2022)	Page
• 更新了本文档的“摘要”	1
• 更新了整个文档中的表、图和交叉参考的编号格式。	2
• 对节 2.4 进行了更新。	7
• 对节 2.5 进行了更新。	8
• 对节 4 进行了更新。	10
• 添加了新的 节 6。	15

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