

摘要

bq77905 是 3 - 5S 低功耗保护器，适用于高于 5S 的电池组，支持轻松堆叠。本文档提供的示例介绍了如何利用 bq77905 设置堆叠配置，并对堆叠功能进行了详细分析。

内容

1 配置.....	1
2 功能.....	2
3 负载电流.....	4
4 疑难解答常见问题解答.....	10
5 参考文献.....	12
6 修订历史记录.....	14

插图清单

图 1-1. 方框图.....	2
图 2-1. UV 检测.....	3
图 2-2. UV 恢复.....	3
图 2-3. OV 检测.....	4
图 2-4. OV 恢复.....	4
图 3-1. 堆叠器件的负载.....	5
图 3-2. CTRx 引脚特征示例.....	6
图 3-3. 负载匹配电阻器.....	7
图 3-4. 电池变化时的 FET 驱动器电压.....	9
图 4-1. CTRC 上的测量负载示例.....	11
图 5-1. 原理图.....	13

商标

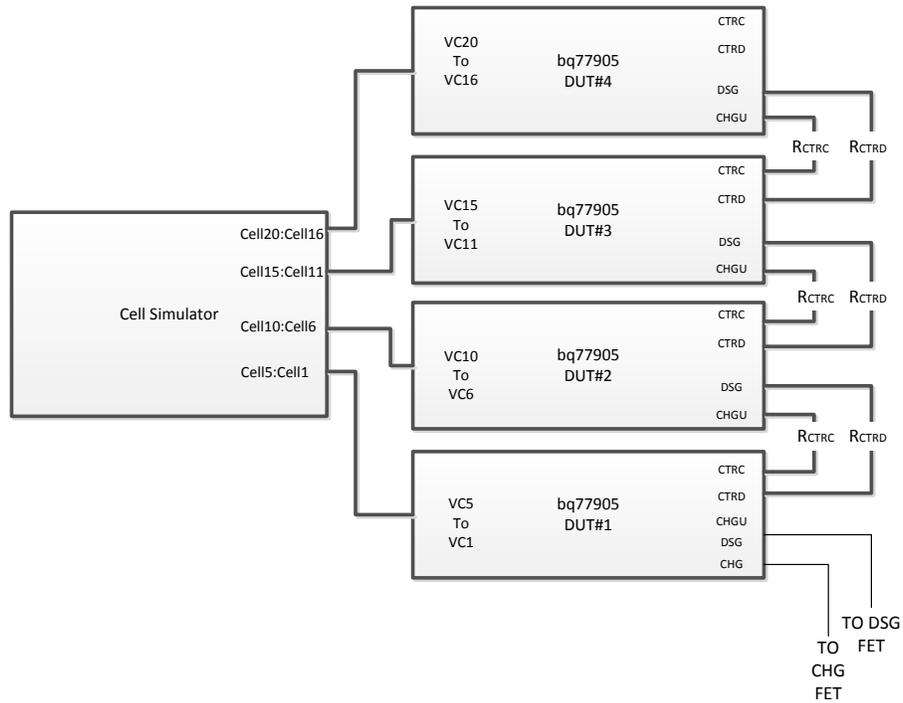
所有商标均为其各自所有者的财产。

1 配置

以下堆叠配置展示了 20S 电池组的电池组保护系统。因此，设置需要四个堆叠 bq77905 器件，每个器件支持 5 个电池。每个器件都进行了编号，并在 [图 1-1](#) 所示的概要方框图中标记为受测器件 (DUT)。

NOTE

如堆叠时有一个或多个器件比其余堆叠器件支持的电池数量少（例如 3 个或 4 个），TI 建议在堆叠时使用最上方的器件支持最多数量的电池。例如，如果用户希望保护 9S 电池组，如 [图 1-1](#) 中所示 DUT#2 支持 5 个电池，而 DUT#1 将支持 4 个电池。在这种情况下，DUT#2 支持的电池更多，因为它是堆叠时位于最上方的位置更高的器件。此外，如果用户希望保护 17S 电池组，DUT#4 将支持 5 个电池，而 DUT#1-3 将支持 4 个电池。请尽量将每个 DUT 配置为支持相同数量的电池。



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 1-1. 方框图

1.1 通用设置说明

如果要利用 bq77905 构造任何堆叠配置，以下说明将非常有用。此说明将图 1-1 中所示的 DUT #1-4 分别表示为标记为 U1-U4 的器件（在详细原理图图 5-1 中）。对于涉及引脚连接的许多步骤，若要加深理解，观察原理图是最佳方式。有关堆叠实施设置的更多信息，可在 bq77904/bq77905：3-5S 低功耗保护器数据表 (SLUSCM3) 中找到。

1. 对于底部器件（DUT#1 或 U1），请使用 CHG 引脚驱动 CHG FET，并将 CHGU 引脚保持未连接状态。
2. 对于上部器件（除 DUT#1 或 U1 之外的所有其他器件），请利用 R_{CTRC} 将 CHGU 引脚与它紧挨着的下方器件的 CT_{RC} 引脚连接，并将 CHG 引脚保持未连接状态。
3. 利用 R_{CTRD} 将上部器件的 DSG 引脚与它紧挨着的下方器件的 CT_{RD} 引脚连接。
4. 请确保上方器件的 SRP 和 SRN 引脚与其对应的 AVSS 引脚连接。每个器件都应有各自的平面，以参考 AVSS/DVSS 引脚或任何其他引脚。
5. 请确保每个器件的 CCFG 引脚均已适当连接（5 个电池 = 悬空，4 个电池 = AVDD，3 个电池 = AVSS）。
6. 将最上方器件（在本例中为 DUT#4 或 U4）的 CT_{RC} 和 CT_{RD} 引脚与其对应的参考平面接地。
7. 如果 UV 恢复未使用负载移除，请将上方器件的 LD 引脚与其相应的参考平面连接。否则，请参考数据表链接 (SLUSCM3)。

2 功能

以下各节介绍了 DUT 检测到的一种故障，并在几张图中显示了结果。堆叠中的每个器件都可针对 OV、UV、OTC、OTD、UTC 和 UTD 故障提供保护，但以下结果显示在最上方的器件 (DUT#4) 上对电池 17 的保护。因此，数据可集中在响应堆叠顶部故障的 FET 开关时间上。通常在底部器件上记录的响应时间在几 ms 之内，由此可知 bq77905 在整个堆叠中能够高效发挥作用。

2.1 欠压 (UV)

UV 故障测试强调 DSG 关闭时间，因为所监控的电池 17 低于所需的阈值。在图 2-1 中，如果任何电池检测到 UV 故障，DSG 会明显下降并保持低位。在考察 DSG 上升/下降的延迟时，测量 UV 故障阈值 (图 2-1 和图 2-2 中的红色箭头) 和 DSG 上升/下降之间的差值，两个数字都显示接近 1s 的类似响应时间，原因是 R_{GS} 较大。这是 bq77905 的预期状态，在任何系统中都需要加以考虑。

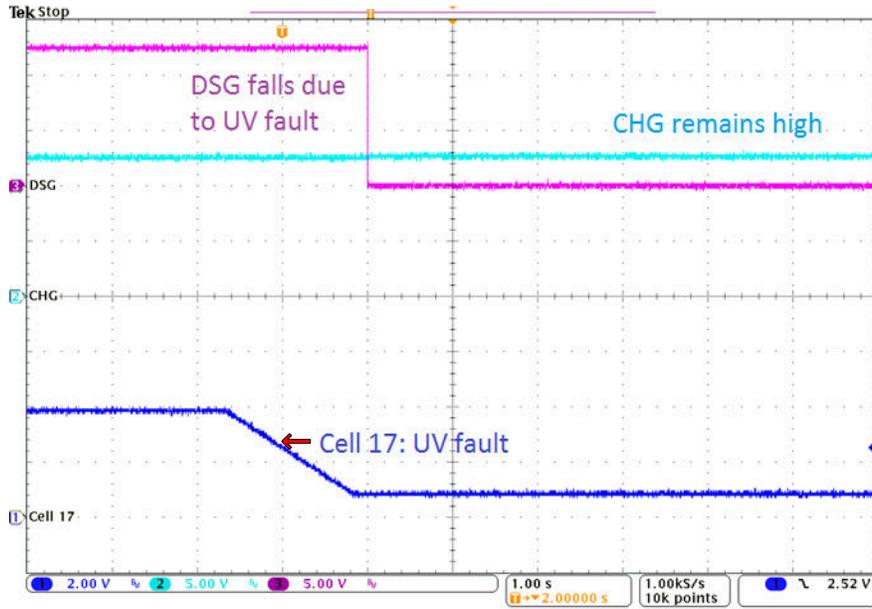


图 2-1. UV 检测

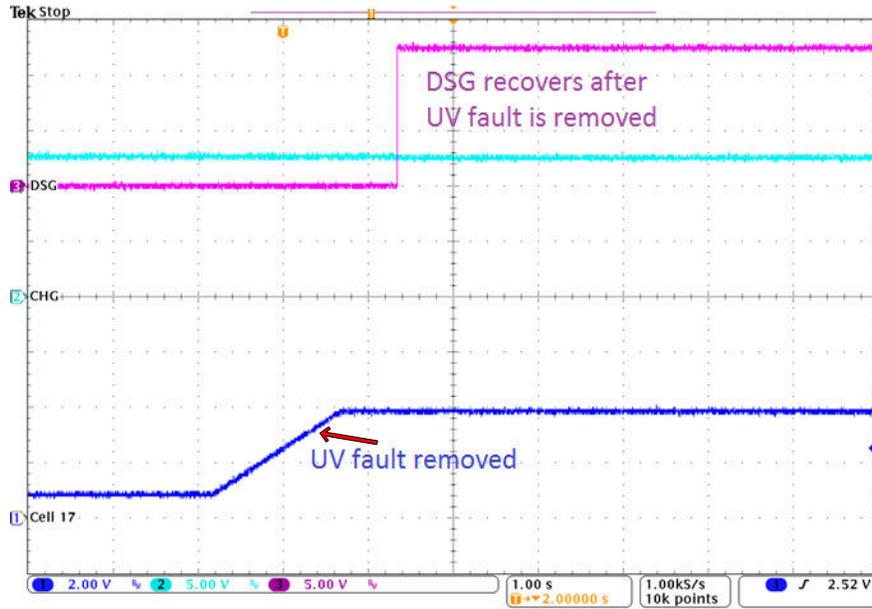


图 2-2. UV 恢复

2.2 过压 (OV)

OV 故障测试几乎等同于 UV 故障测试，但强调 CHG 关闭时间，因为所监控的电池高于所需的阈值。如图 2-3 所示，在大约 400 - 600ms 的延迟后，由于 OV 故障（在图 2-3 和图 2-4 中的阈值由红色箭头指示），CHG 引脚电压下降。

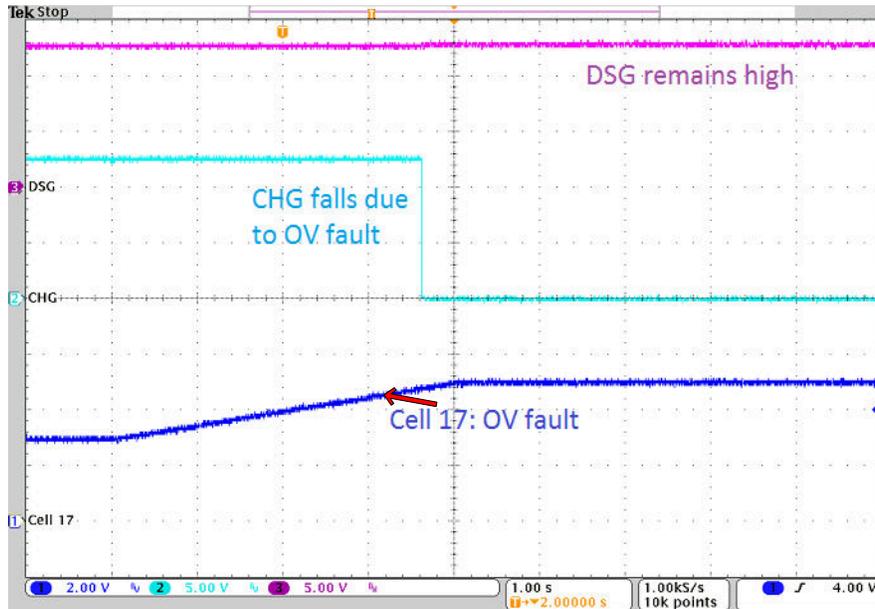


图 2-3. OV 检测

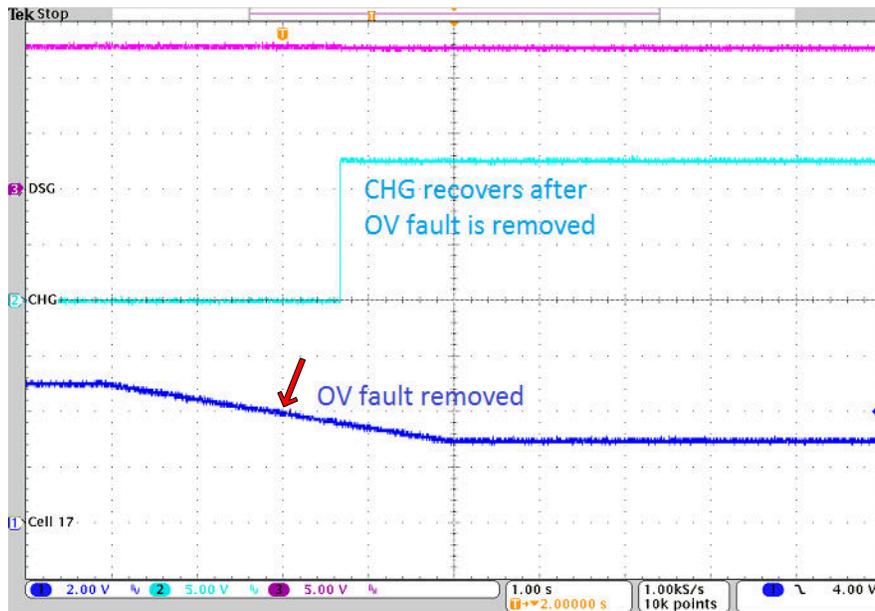
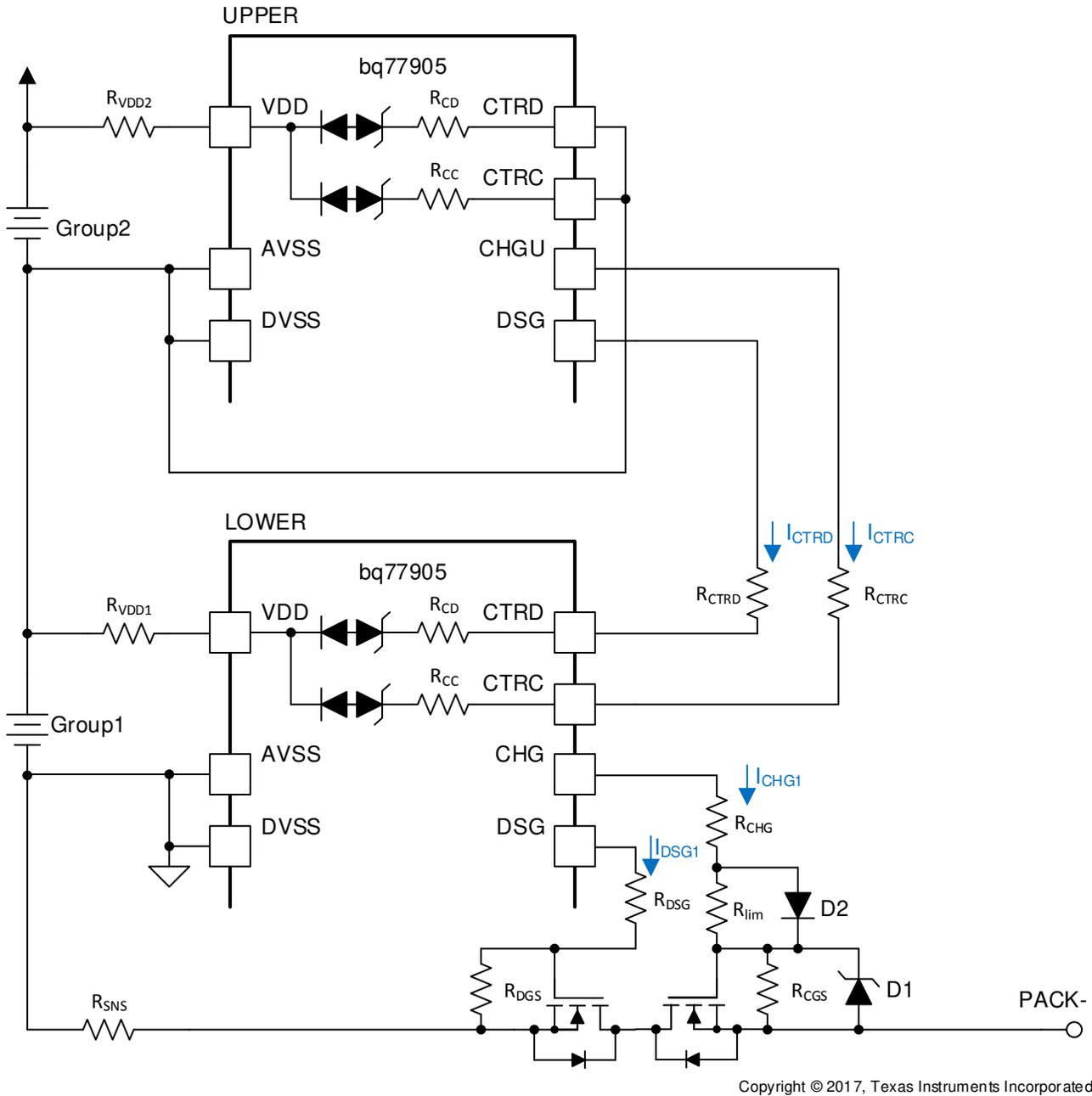


图 2-4. OV 恢复

3 负载电流

在数据表堆叠原理图和图 5-1 中，底部器件具有 FET 栅极-源极电阻器的负载，而上部器件只有 R_{CTRD} 和 R_{CTRC} 电阻器的负载。FET 负载是必要的，因此要为上部器件增加负载，从而更好地匹配各器件之间的负载。在 CHG 或 CHGU 以及 DSG 输出上增加负载，可使负载与电池模式相匹配，不要仅为电池增加负载。图 3-1 所示为进入 FET 的电流，以及堆叠接口引脚。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

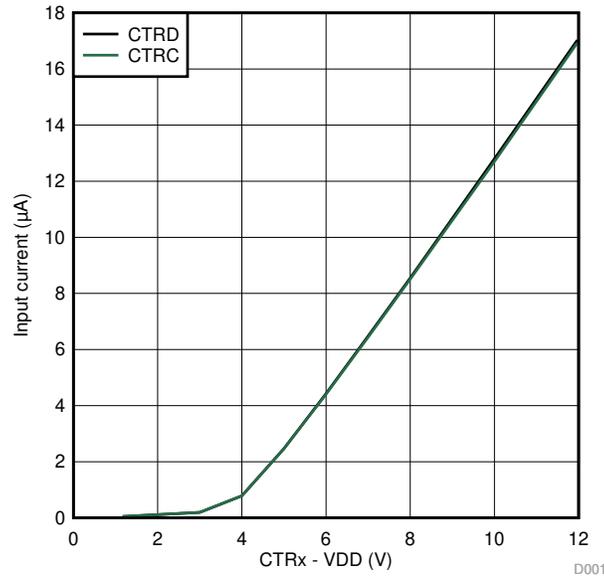
图 3-1. 堆叠器件的负载

与栅极电阻器相比 R_{DSG} 和 R_{CHG} 很小，在估计电流时通常可以忽略不计，因此在以下公式中已将其忽略。DSG 和 CHG FET 驱动器的电流：

$$I_{DSG1} = \frac{V_{(FETON)}}{R_{DGS}} \quad (1)$$

$$I_{CHG1} = \frac{(V_{(FETON)} - V_{D2})}{R_{CGS}} \quad (2)$$

CTRC 和 CTRD 引脚有内电阻，可限制引脚电压达到最大时进入钳位的电流。在数据表中，钳位电压显示为特定测试电流下的电压，即 $V_{CTR(MAXV)}$ 。内电阻 $R_{CD} = R_{CC}$ 或 R_{Cx} 具有 $440k\Omega$ 的标称值，但可能会产生显著变化，在数据表中也并非特征值。示例器件的 CTRC 和 CTRD 特征显示在图 3-2 中。

图 3-2. CTR_x 引脚特征示例

低电流时，数据表测试条件可能是控制输入操作点的理想表征，输入电流的公式为：

$$I_{CTR_x} = \frac{(V_{(FETON)} - V_{CTR(MAXV)})}{R_{CTR_x}} \quad (3)$$

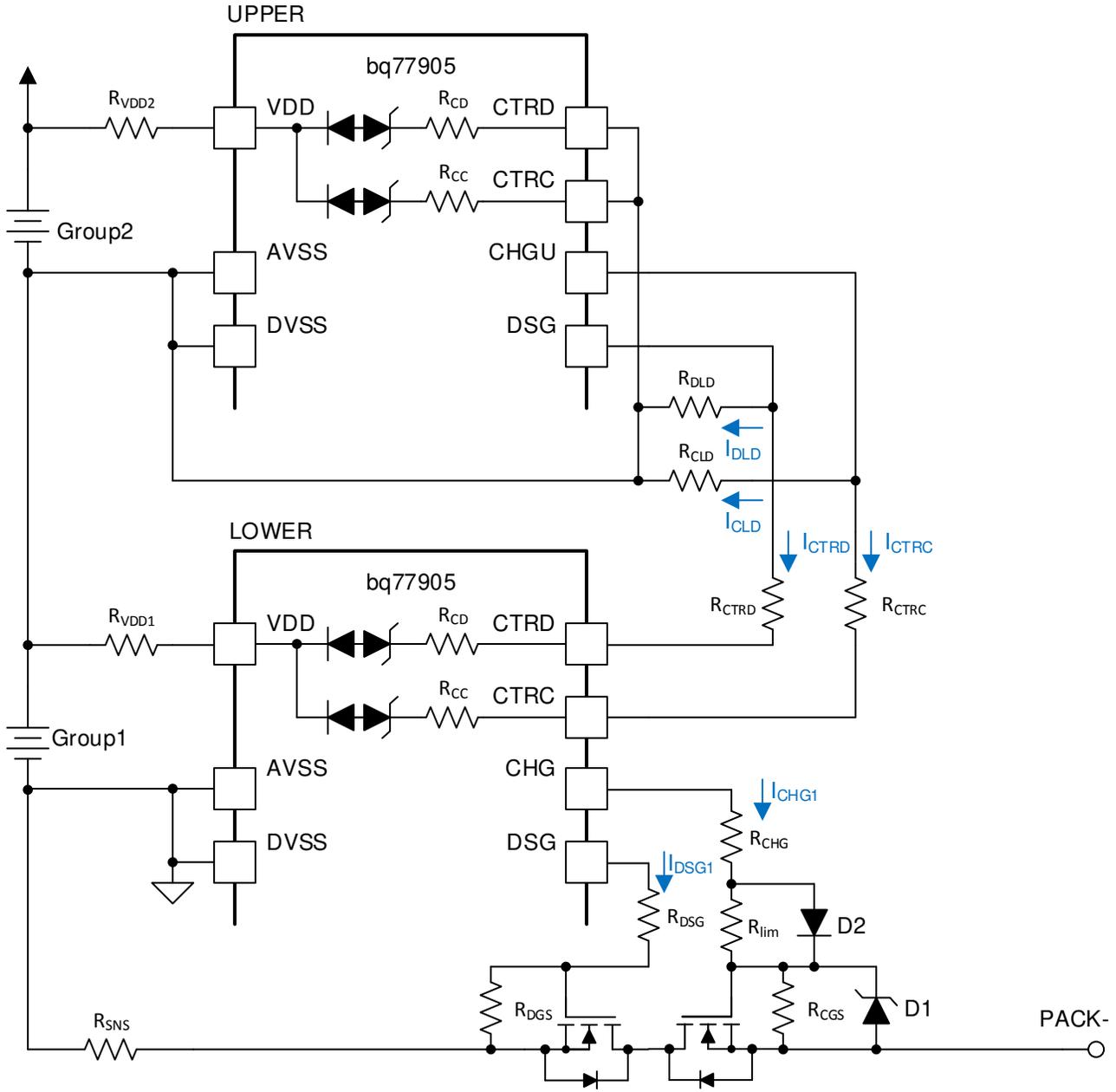
使用数据表中的典型值， R_{CTR_x} 为 $10M\Omega$ ， I_{CTR_x} 将为 $800nA$ ，接近 $600nA$ 的数据表测试电流。

匹配 FET 负载的一种方式是通过调整 R_{CTR_x} 。但如果电流高得多，最好考虑 I_{CTR_x} 公式中的内电阻和内部钳位值 V_C ：

$$I_{CTR_x} = \frac{(V_{(FETON)} - V_C)}{(R_{C_x} + R_{CTR_x})} \quad (4)$$

随着 R_{CTR_x} 降低，电流增加，电流对内部 R_{C_x} 电阻的变化变得更加敏感。设计师可能不希望通过使用 R_{CTR_x} 电阻器来匹配 FET 的电流，除非 R_{XGS} 电阻非常大。

在上部器件上匹配 FET 负载电流的更好方法是，添加从上部器件 FET 输出到 VSS 参考的电阻器，即 R_{DLD} 和 R_{CLD} ，如图 3-3 所示。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 3-3. 负载匹配电阻器

这些负载匹配电阻器的电流增加到堆叠接口电流上，以匹配下方器件的 FET 驱动器电流：

$$I_{DLD} + I_{CTRD} = I_{DSG1} \quad (5)$$

$$I_{CLD} + I_{CTRC} = I_{CHG1} \quad (6)$$

这些 R_{xLD} 负载电阻会接收完整 $V_{(FETON)}$ 电压，不会受到可预测的负载电流的钳位电压影响。

$$R_{xLD} = V_{(FETON)} / I_{xLD} \quad (7)$$

由于 I_{CTRx} 可提供一些负载， R_{DLD} 和 R_{CLD} 将大于下部器件的电阻 R_{xGS} 。设计师需要根据公式，从可用值中选择适当的负载电阻。表 3-1 和表 3-2 中的计算示例展示了负载匹配电阻器能够改善 FET 负载造成的容量不匹配的情形。

表 3-1. DSG 负载计算示例

参数	来源	值
$V_{(FETON)}$	数据表	12V
R_{DGS}	图 5-1 R47	1M Ω
I_{DSG1}	方程式 1	12 μ A
$V_{CTR(MAXV)}$	数据表	4V
R_{CTRD}	图 5-1 R32	10M Ω
I_{CTRD}	方程式 3	0.8 μ A
所需 I_{DLD}	方程式 5	11.2 μ A
未匹配负载时的容量差异	负载不匹配的电流 \times 一天 24 小时 \times 一年 365 天	每年 98mAH
所需 R_{DLD}	方程式 7	1.07M Ω
所选 R_{DLD}	标准 5% 值	1.1M Ω
标称电流误差	$12 \times (1 / 1.07 - 1 / 1.1)$	0.305 μ A
具有 5% 匹配负载电阻器值时的容量差异	负载不匹配的电流 \times 一天 24 小时 \times 一年 365 天	每年 2.68mAH

表 3-2. CHG 负载计算示例

参数	来源	值
$V_{(FETON)}$	数据表	12V
V_{D2}	根据数据表估计	0.4V
R_{CGS}	图 5-1 R48	3.3M Ω
I_{CHG1}	方程式 2	3.52 μ A
$V_{CTR(MAXV)}$	数据表	4V
R_{CTRC}	图 5-1 R33	10M Ω
I_{CTRC}	方程式 3	0.8 μ A
I_{CLD} 预期	方程式 6	2.72 μ A
未匹配负载时的容量差异	负载不匹配的电流 \times 一天 24 小时 \times 一年 365 天	每年 24mAH
所需 R_{CLD}	方程式 7	4.41M Ω
所选 R_{CLD}	标准 5% 值	4.3M Ω
标称电流误差	$12 \times (1 / 4.41 - 1 / 4.3)$	-70.7nA
具有 5% 匹配负载电阻器值时的容量差异	负载不匹配的电流 \times 一天 24 小时 \times 一年 365 天	每年 -0.62mAH

之前的计算假设 $V_{(FETON)}$ 为稳压电压，因为 5 个电池堆和高电压电池就是稳压电压。对于下部电池数和电压，FET 驱动器电压会脱离稳压状态，如图 3-4 所示。如果每个器件支持相同数量的电池，电压应匹配，并且不会造成问题。如果器件的电池数不同，请使用正常系统条件下的 $V_{(FETON)}$ 进行计算，以均衡电流。

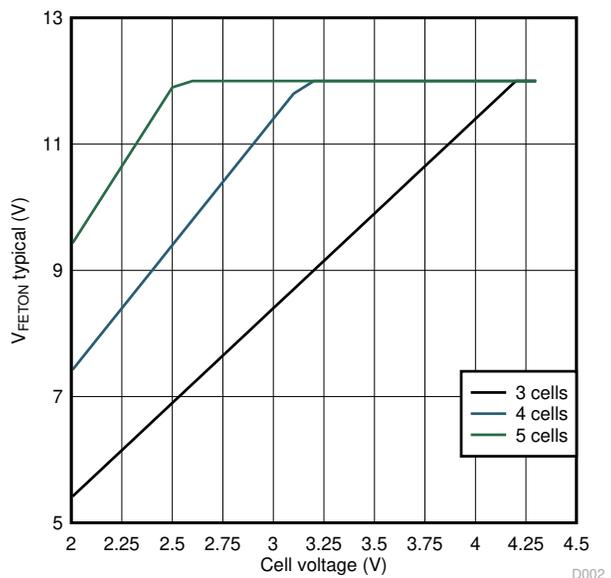


图 3-4. 电池变化时的 FET 驱动器电压

4 疑难解答常见问题解答

问：可以堆叠的器件数量限制在多少？

答：bq77905 对堆叠中的器件数量没有技术限制。但请注意，堆叠的数量越多，噪音对 CTRC/D 信号强度的影响就越大，从堆叠顶部到底部的总延迟时间也会越长。这种延迟时间不是单个 DUT 保护层的增加，而是由于堆叠中的每个器件的逻辑传播造成的极小量的增加。通常，堆叠中的每个器件只会增加 1-10ms，必须确定对应用而言增量是否足够小。

问：如果下部器件支持的电池数多于上部器件会发生什么（例如，如果使 DUT#1 支持 5 个电池，DUT#4 支持 3 个电池）？

答：系统应该可以正常工作，但不建议这样做，因为这样会影响整个堆栈的 CTRC/D 信号强度。但代价是 FET 上的栅极电压降低，所以要自行确定一种选项是否优于另一种。

问：一个 DUT 若要仅支持 3 或 4 个电池，需要进行哪些改动？

答：如 [节 1.1](#) 和数据表中所述，CCFG 引脚必须进行适当配置，未使用的电池必须始终选为最上方的电池，并短接至与其相邻的下方电池（例如，在 8S 电池组配置中，如果 DUT#1 中有 4 个电池，C4 应短接至 C3）。

问：如何在上部器件上实施针对 UV 故障发现的负载检测？

答：如 [图 5-1](#) 所示，将所有器件的 LD 引脚连接至 PACK - 通过等于 $300k\Omega$ 的 R_{LD} (R8、R18、R28、R44) 以及一个阻断二极管。另外， R_{GS_CHG} (R48) 应从典型值 $1M\Omega$ 增加至 $3.3M\Omega$ 。请参阅数据表 ([SLUSCM3](#)) 了解进一步详情和说明。

问：如何能在不影响 UV 负载检测的情况下缩短 CHG FET 关闭时间？

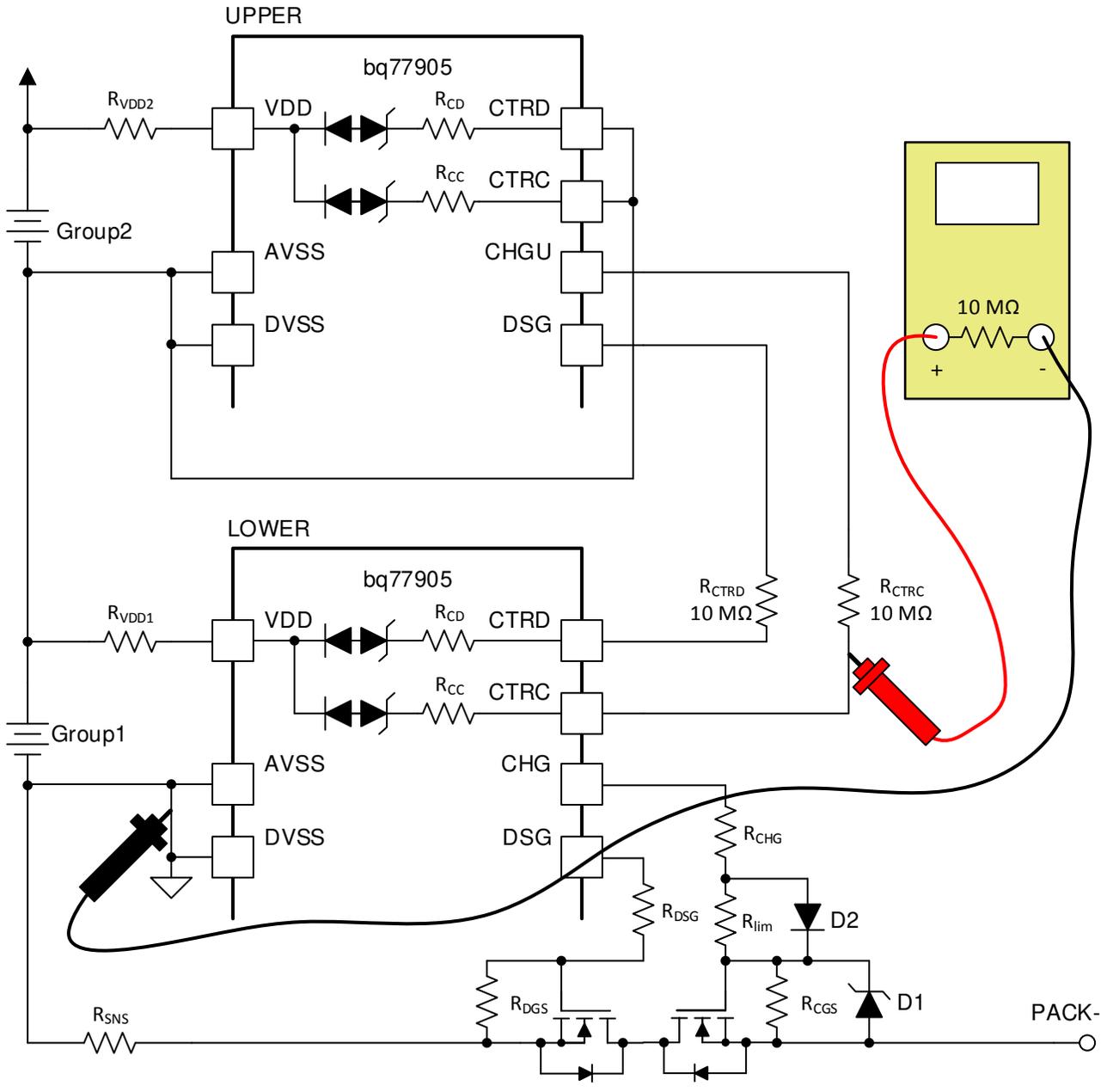
答：与其降低 R_{GS_CHG} (R48) 的值，更有效的方式是实现 CHG FET 关闭速度电路。bq77905 使用多个 FET ([SLUA773](#)) 应用手册的第 3 部分进行了更详细的解释。

问：如果使用小电池，底部器件的电池电压低于上部器件的电池。为什么会这样？如何才能避免这种情况的发生？

答：底部器件的负载大于上部器件，因为栅极-源极电阻器的 FET 驱动器负载 ([图 5-1](#)) R47 和 R48 小于上部器件的堆叠接口负载，例如 RCTR 电阻器 R32 和 R33。请参阅 [节 3](#)。

问：FET 已打开，但在 CTRC 或 CTRD 处测量的电压指示 FET 应为关闭。为什么会这样？

答：CTRC 和 CTRD 节点的阻抗源高。连接仪表后，例如在 [图 4-1](#) 中，仪表会成为电路的一部分，形成了一个分压器，改变了 CTRx 的电压。如果同时测量栅极电压，可能会观察到 FET 关闭。测量 CTRx 时考虑到 VDD 将减少仪表产生的影响。如果仪表输入可设为高阻抗，则能够得到更好的测量值，但仍会有负载。



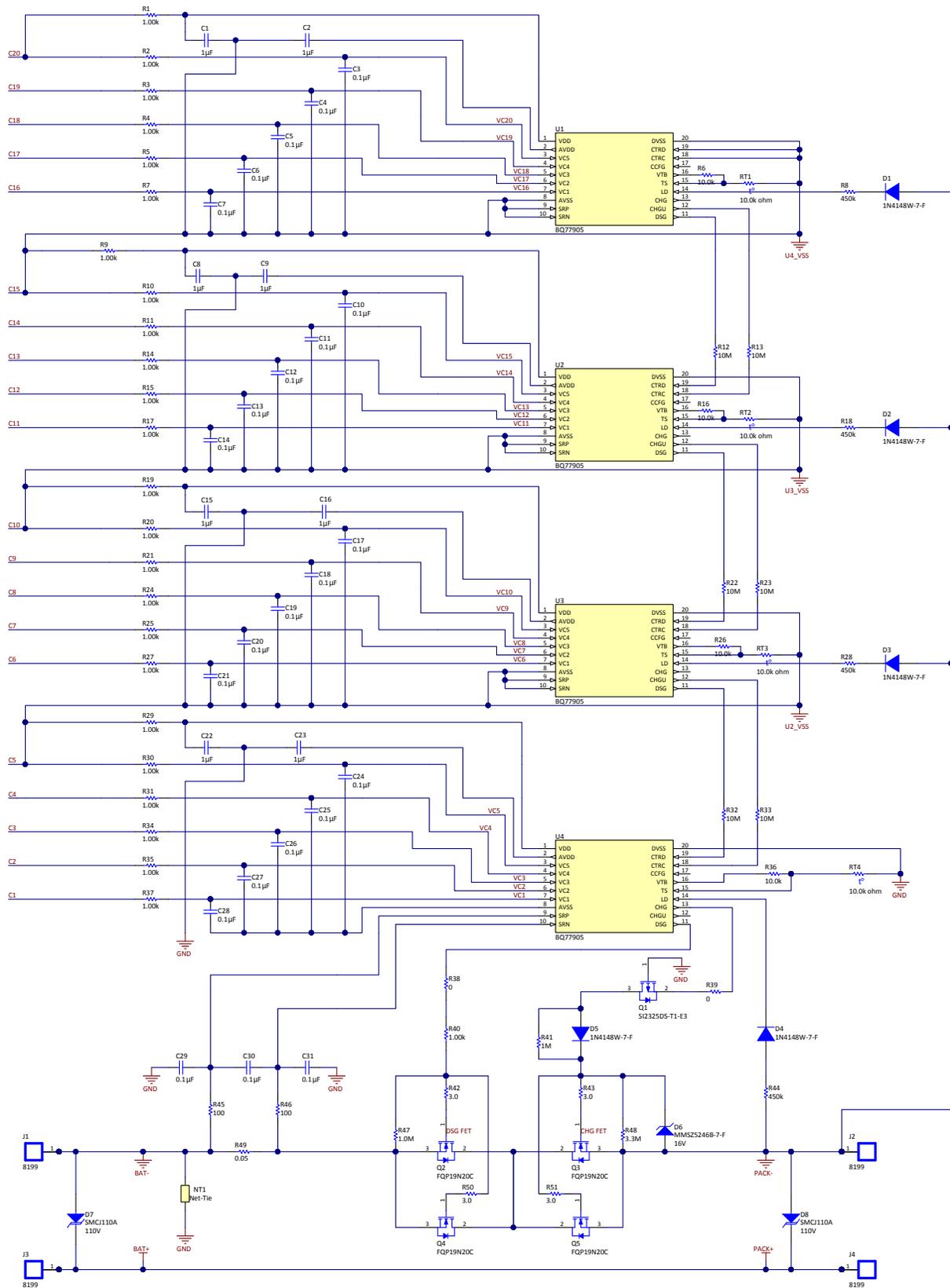
Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 4-1. CTRC 上的测量负载示例

5 参考文献

如需了解其他信息，请参考 www.ti.com 上的以下文档：

- bq77904/bq77905 : 3-5S 低功耗保护器数据表 ([SLUSCM3](#))
- bq77905 EVM 用户指南 ([SLVUAN2](#))
- bq77905 使用多个 FET ([SLUA773](#))
- bq77905 独立电流路径 ([SLUA772](#))



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 5-1. 原理图

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 Revision A (July 2017) to Revision B (June 2021) Page

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。 1

Changes from Revision * (July 2016) to Revision A (July 2017) Page

- 添加了 *负载电流* 部分。4
 - 增加了有关下部器件中较低电压的常见问题解答。10
 - 增加了有关 CTRx 测量值的常见问题解答 (带图) 。10
-

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

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

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

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