

## Application Note

**LM5177 降压/升压转换器的反向电流运行**

Stefan Schauer, Moiz Ahmad

**摘要**

LM5177 是一款支持无缝双向操作的 4 开关降压/升压转换器，适用于关键系统备用电源和可再生能源储能等应用。本应用手册提供了设置 LM5177 双向电流功能的详细指南，并提供了清晰的设计指南，以帮助用户充分发挥该器件的性能并在各种场景下优化其表现。在备用电池模式下，连接到 LM5177 Vin 的储能元件使用恒定电流进行充电，并通过器件的内置电流限制功能和使用 TLV431 并联稳压器的外部电路进行管理。

TLV431 用于限制充电电压并控制 MODE 引脚，通过在 FPWM 和 PSM 模式之间切换转换器来保持所需的储能电压并尽可能减少波动。使用 LM5177 降压/升压控制器评估模块进行的测试显示，恒流充电和恒压充电之间的过渡非常平稳，仅因为模式开关延迟而产生了微小的纹波。低工作电流和基准电压提升了 TLV431 的效率，而进一步调整 MODE 引脚控制器可以进一步提高性能。

总的来说，LM5177 的功能和所概述的控制策略为广泛的应用提供了一种可靠的高效能源存储和管理设计。

**内容**

1 引言.....	2
2 反向电流运行.....	2
3 设计注意事项.....	4
4 引脚配置.....	5
4.1 其他引脚配置.....	6
5 应用测量.....	7
6 总结.....	9
7 参考资料.....	9

**商标**

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

**LM5177** 器件是一款降压/升压转换器，并支持无缝双向操作。此特性使其在更多领域中得到应用。例如，该器件可用作关键系统的可靠备用电源，或用于存储可再生能源产生的能量。

本文档的主要目标是就如何设置 **LM5177** 降压/升压转换器的双向电流功能提供明确的指导。通过后续章节中概述的详细设计指南，用户可以了解如何充分利用器件功能并优化其在各种设置下的性能。

仅当降压/升压控制器处于 **FPWM** 模式时，备用操作才有效。要激活此 **FPWM** 功能，控制器的 **MODE** 引脚必须设为高电平。如果该引脚未设置为高电平，则转换器将以 **PSM** (正向运行) 模式运行。对于备用电池模式，备用储能元件连接到 **LM5177** 的 **V<sub>in</sub>**。当备用电源操作已启用并且输出电压超过反馈阈值时，转换器会以恒定的输入电流为储能元件充电。此充电电流可以使用降压/升压控制器的内置电流限制功能 (包括峰值电流限制和平均电流限制) 来进行控制。充电电压上限需要由外部电路控制。

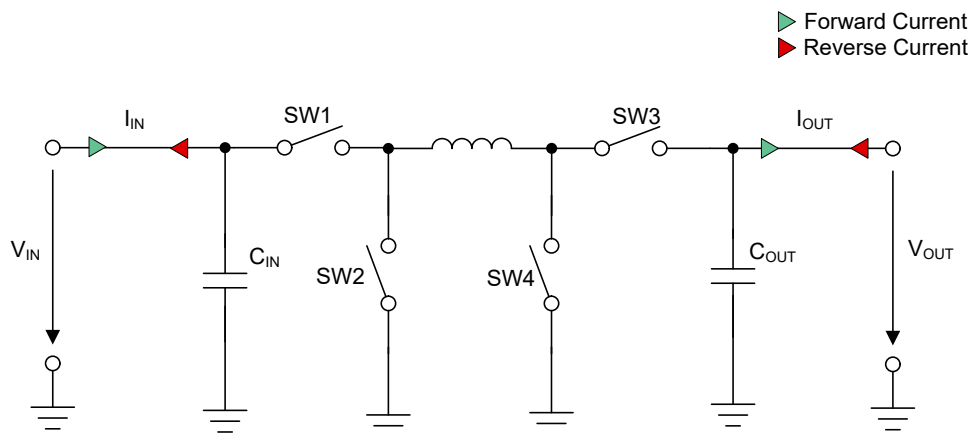


图 1-1. 双向电流操作概述

## 2 反向电流运行

**LM5177** 器件包含一个精确内部电压环路误差放大器，能够准确地将 **COMP** 引脚的电压反映在电感器的标称峰值电流值上。此设计提供了有效的电压调节。

图 2-1 展示了降压/升压控制器的内部电压环路，具有峰值和平均电流检测功能。**LM5177** 数据表提供了详细的规格和性能数据，帮助优化设计来提高在不同应用中的效率和性能。

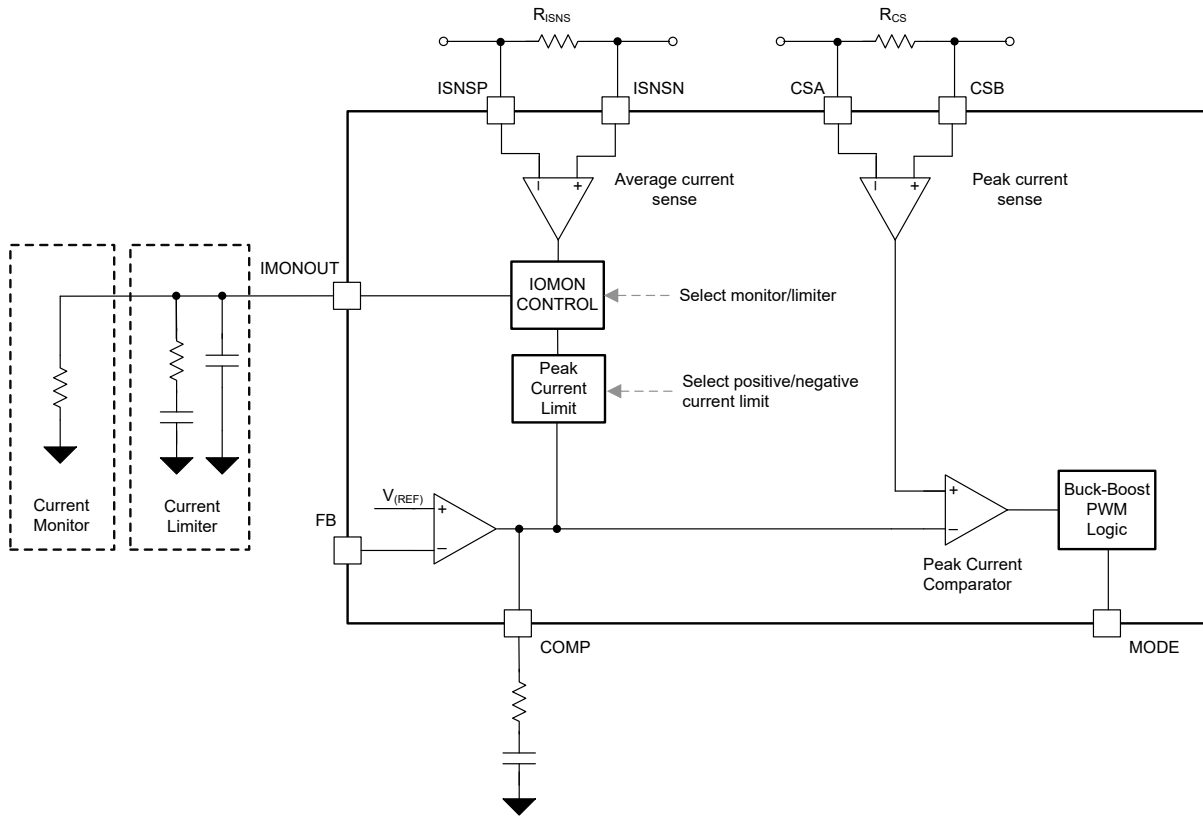


图 2-1. 降压/升压控制器的控制环路

图 2-2 所示为放大器电压/电流 (V/I) 特性的内部电压环路误差。该图展示了 COMP 引脚上的电压  $V_{COMP}$  对转换器电流的方向有何影响。两个阈值至关重要，即  $1.25V$  的  $V_{COMP, CL+}$  和  $0.24V$  的  $V_{COMP, CL-}$ 。如果  $V_{COMP}$  超过  $V_{COMP, CL0}$  阈值（通常为  $1.25V$ ），电流会正向流经转换器。相反，如果  $V_{COMP}$  降至低于该阈值，转换器电流会反向流动。

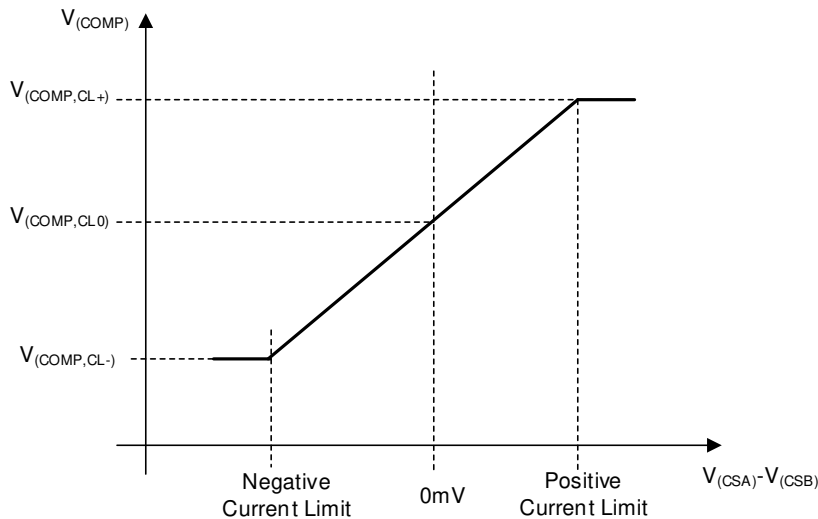


图 2-2. 峰值电流检测电压与  $V_{COMP}$  间关系的控制函数

此外，峰值电流检测电阻器设置峰值电流的正负限值。该电阻器决定了转换器任一方向的最大电流。此外，平均限流器环路在控制电流方面起着关键的作用。通过调整  $V_{COMP}$  值，该限流器环路可以限制正向或反向电流，从而确认电流保持在预定义的限制范围内。了解这些 V/I 特性对于设计和优化降压/升压转换器的性能至关重要。通过分析这些参数，可以调整转换器的行为以满足特定要求，并在各种条件下提供可靠的运行。

### 3 设计注意事项

图 3-1 所示为反向电流运行的方框图。若要 LM5177 以反向模式运行，需要考虑一些注意事项。

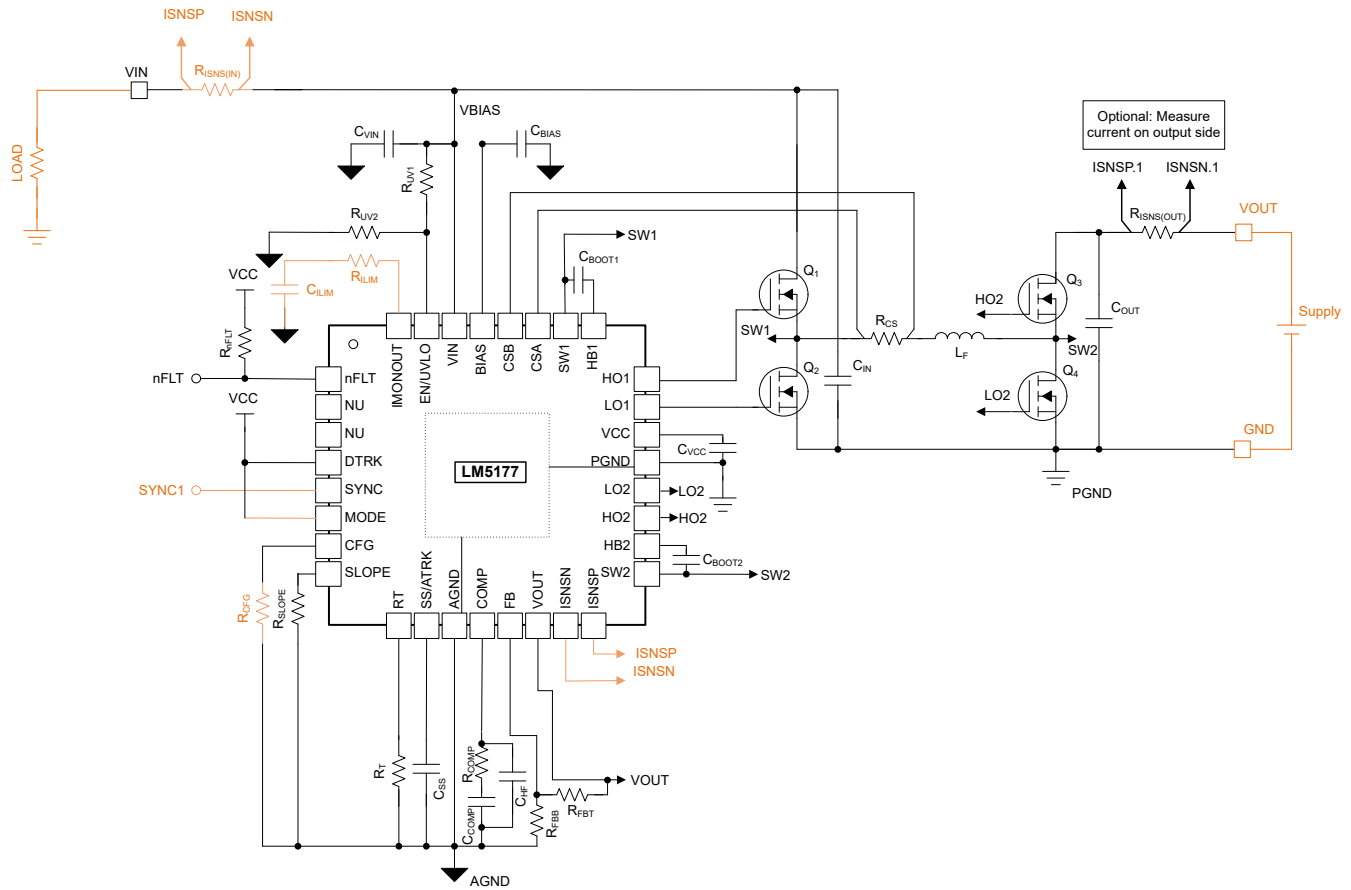


图 3-1. 反向电流运行方框图

如果在备用系统中使用该器件，则在达到定义的电压电平后，就需要限制充电。图 3-2 展示了一种可能的实现。

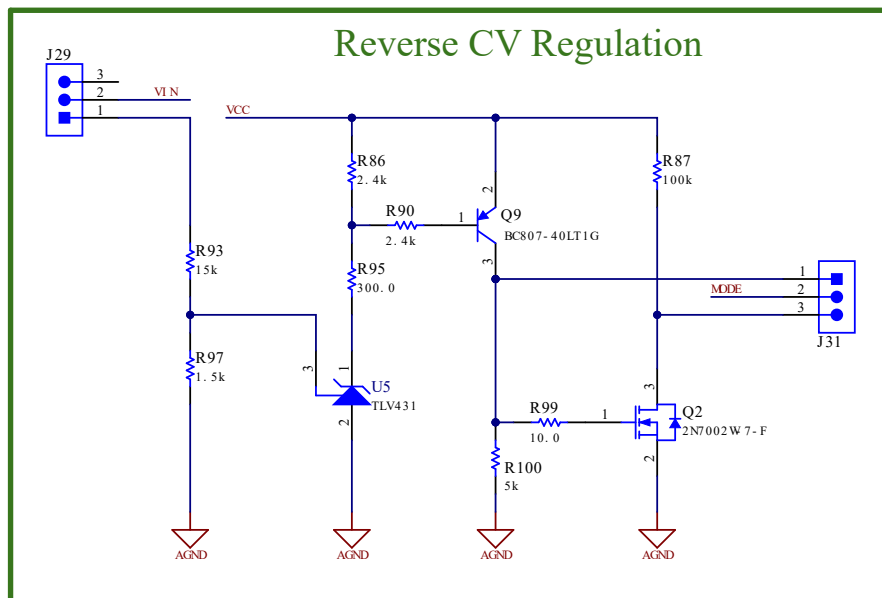


图 3-2. 使用 MODE 引脚控制的反向 CV 调节方框图

**TLV431** 并联稳压器用于在达到定义的最大充电电压水平时停止充电。一个额外的 PNP 晶体管用于调整 **MODE** 信号的逻辑电平。当 **TLV431 Vref** 引脚上的偏置电压达到 **1.24V** 时，该引脚会导通并将 **MODE** 引脚拉至低电平，使 **LM5177** 进入 **PSM** 模式，从而停止充电。

分压器中的电阻器必须具有高电阻，以便限制 **TLV431** 的基准电流并降低功率损耗。

储能元件可以是任何类型，例如电池、电容器或超级电容器。本应用手册中使用电介质电容器作为储能元件。在 [图 3-2](#) 所示的设计中，**VCC** 电压为 **5V**，最大电源电流为 **3A**，储能元件充电至 **13.1V** 的恒定电压。此充电阈值可通过改变分压器电路的比值来进行调整。如果储能电压达到所需的电压，则分压器电路的基准电压会增加至 **1.24V**，导致 **TLV431** 的阴极电压从 **VCC** 降低至 **1.8V**。

当阴极电压降低时，电压会正向偏置 PNP 晶体管的发射极至基极端子，从而降低发射极至集电极电压。这会导致 N 沟道 MOSFET 的栅源电压从 **0V** 增加到 **VCC**，从而使 MOSFET 导通。因此，**MODE** 引脚电压从 **VCC** 降至 **20mV**。该变化会使降压/升压控制器从 **FPWM** 模式切换到 **PSM** 模式，导致储能元件开始放电。放电会一直持续到电池电压达到迟滞控制的负阈值。这一过程使储能电压稳定在 **13.1V** 左右，但由于 MOSFET 的开关延迟，会存在一些微小波动。

## 4 引脚配置

若要 **LM5177** 以反向模式运行，需要考虑一些注意事项。

**TLV431** 并联稳压器用于在达到定义的最大充电电压水平时停止充电。一个额外的 PNP 晶体管用于调整 **MODE** 信号的逻辑电平。当 **TLV431 Vref** 引脚上的偏置电压达到 **1.24V** 时，该引脚会开始导通并将 **MODE** 引脚拉至低电平，使 **LM5177** 进入 **PSM** 模式，从而停止充电。

表 4-1 汇总了 LM5177 反向运行时必须特别考虑的引脚。

表 4-1. 引脚配置

引脚名称	引脚功能	观察结果
MODE	模式选择	引脚上的电压决定了器件是在 PSM 模式 (Mode < 0.41V) 还是 FPWM 模式 (Mode > 1.19V) 下运行。
FB	反馈基准	设置电压调节环路的基准电压。
EN/UVLO	使能/欠压保护	在 VIN 电压降至 UVLO 和使能阈值以下时激活低压保护。
VIN	输入电压	当 VIN 电压超过内部 VDET 电压时, 该器件将会启用。
COMP	反向电流调节	当 V(comp) 值小于 V(comp, CL0) 时, 储能充电开始, 而当 V(comp) 等于或大于 V(comp, CL0) 时, 储能单元的恒压充电开始。
IMONOUT	监测和补偿	该引脚监测反向电流值或为平均电流环路提供补偿。
SYNC	同步时钟输入	对于正向运行中的电流限制, SYNC 引脚需要连接到 VCC; 对于反向电流限制运行, 该引脚需要在启动阶段 (EN/UVLO 变为高电平) 接地 (拉至低电平)。
CFG	器件配置引脚	为反向电流运行启用负电流限制。

## 4.1 其他引脚配置

在进行反向电流运行时, 需要满足以下参数, 以确保 LM5177 在反向配置下的正常运行。

- LM5177 必须以 FPWM 模式运行。要启用此模式, 必须施加 1.19V 以上的电压, 以确认 MODE 引脚设置为高电平。
- 只有当 VIN 电压超过内部 V<sub>DET</sub> 电压时, 该器件才会启用。
- 转换器的输出电压必须超过反馈引脚的电压阈值 (1.0V)。如果输出电压低于反馈 (FB) 引脚阈值, 转换器将在标准正向模式下工作。
- 该器件提供了多种欠压保护方案, 例如 UVLO (用于输出) 和 V<sub>DET</sub> (用于输入)。因此, 为了支持反向电流运行并确保器件保持激活, VIN 和 EN/UVLO 上的电压必须超过各自的最小编程电压阈值。

为了验证 LM5177 的典型运行, 首先必须在 Vin 处提供大于内部 V<sub>DET</sub> 电压的输入电压来启用该器件。为此, 我们使用了电压源在外部输入端提供了 5V 电压, 以确认输入电压大于内部 V<sub>DET</sub> 电压。

### 4.1.1 MODE 引脚

FPWM 和 PSM 模式的阈值电压分别为 1.19V 和 0.41V。当 MODE 引脚上的电压上升到 1.19V 以上时, 转换器会切换到 FPWM 模式, 以支持反向运行并使储能元件开始充电。相反, 当电压降至 0.41V 以下时, 转换器仅以正向模式运行并停止充电。

### 4.1.2 IMONOUT

IMONOUT 引脚在反向电流运行中具有两个功能。第一个功能是, 当未启用平均电流限制功能时, 该引脚可用于监测反向电流值。在这种情况下, 需要在 IMONOUT 引脚和 GND 之间连接一个下拉电阻器。第二个功能是, 该引脚也用于为平均电流限制环路提供补偿, 以限制反向电流。在这种情况下, 需要在 IMONOUT 引脚上连接补偿网络。

## 5 应用测量

为了验证为 MODE 引脚设计的控制器是否能正常工作，我们使用 **LM5177 降压/升压控制器评估模块** 进行了测试。图 5-1 至图 5-4 中的结果显示，使用 MODE 引脚控制时，储能元件能够从恒流充电平稳过渡到恒压充电。不过，在 FPWM 和 PSM 模式之间转换期间，由 MOSFET 开关延迟引起的微小迟滞会很明显，从而导致充电电压出现微小纹波。为了绕过控制器的内部低压保护机制，我们为储能元件提供了 5V 的初始偏置电压。如果储能电压达到所需的电压，则分压器电路的基准电压会增加至 1.24V，导致 **TLV431** 的阴极电压从 VCC 降低至 1.8V。

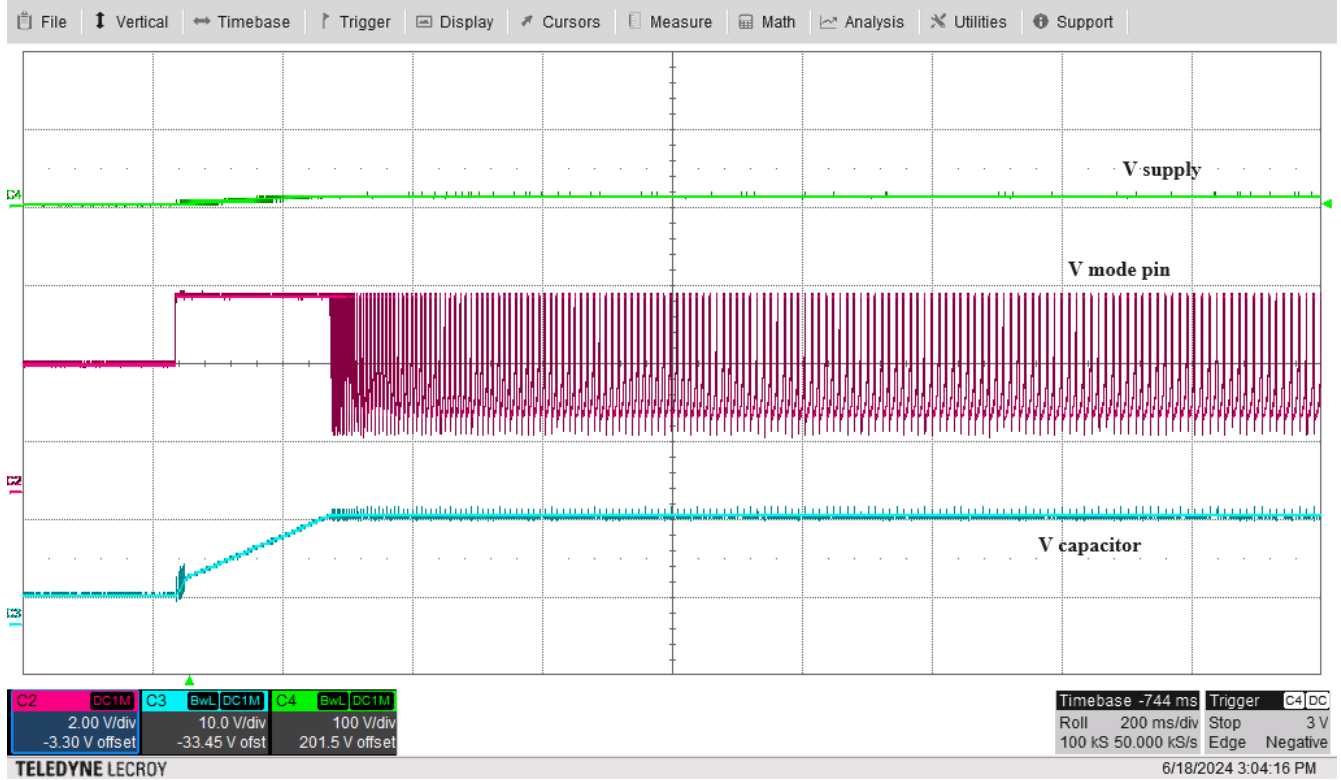


图 5-1. 恒压充电

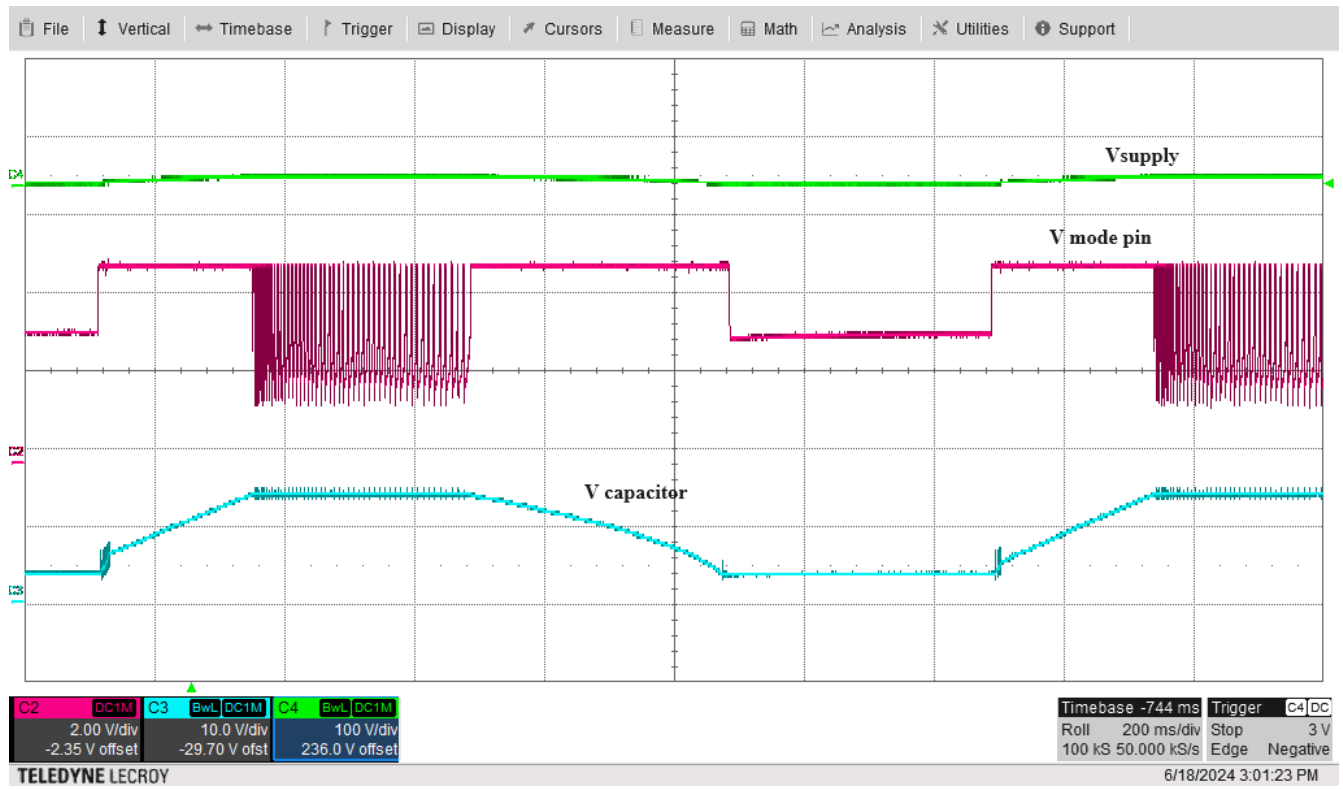


图 5-2. 恒压充电和放电

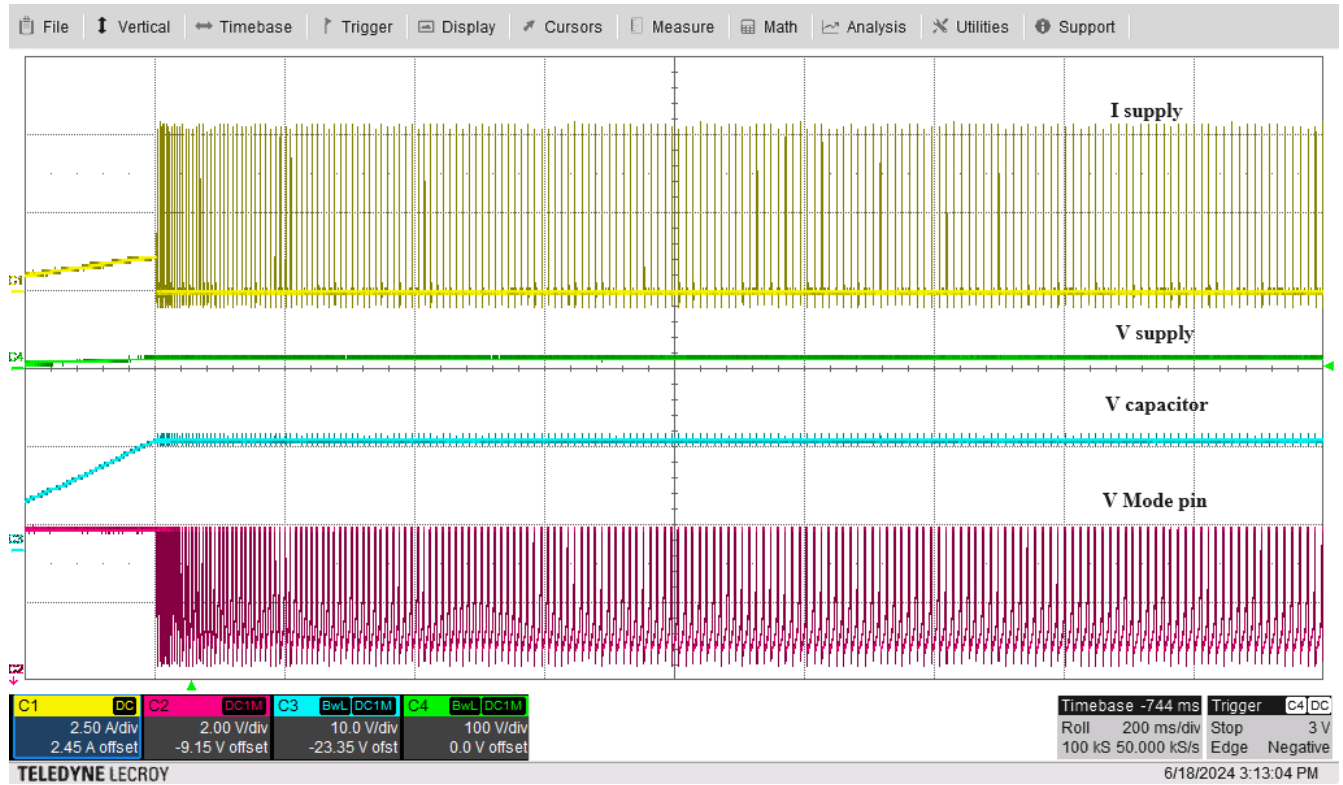


图 5-3. 通过电源电流进行恒压充电



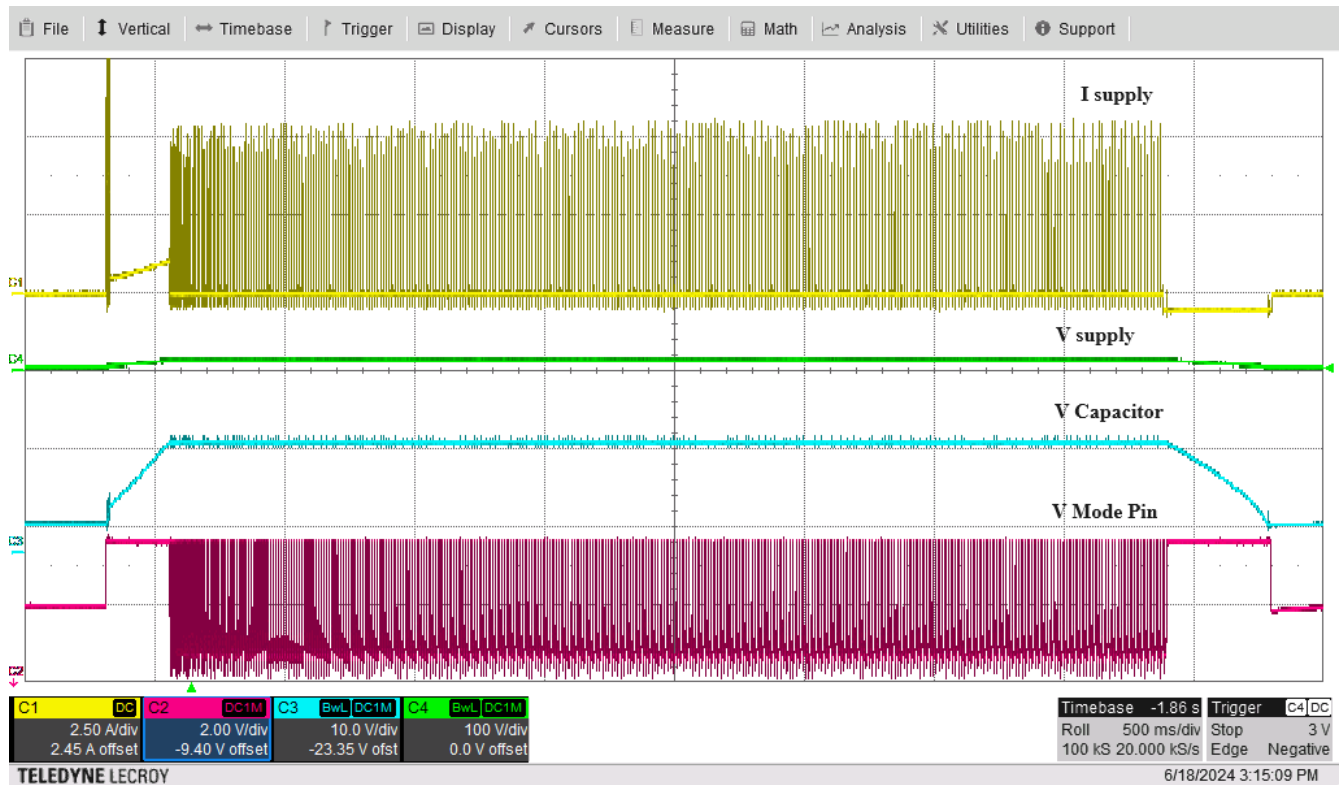


图 5-4. 通过电源电流进行恒压充电和放电

## 6 总结

之前的结果展示了如何使用 **MODE** 引脚控制来在恒压充电期间平稳地调节储能电压。这种平稳运行使得这些特性非常适合任何应用设计。此处，**TLV431** 用作并联稳压器，并具有较低的工作电流和基准电压，可提高所设计控制器的效率并降低其电源电流。

此外，可以向 **MODE** 引脚控制器引入不同级别的迟滞。这可以通过向分压器电路添加一个小型并联电流源或在 **MOSFET** 的栅极和源极之间放置一个小型电容器来实现。这些调整有助于微调控制器的性能，并可以进一步提高效率。

## 7 参考资料

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI)，[LM5177 80V 宽 VIN 双向 4 开关降压/升压控制器](#)数据表。
- 德州仪器 (TI)，[TLV431x 低电压可调节精密并联稳压器](#)数据表。
- 德州仪器 (TI)，[LM5177 降压/升压快速入门计算器](#)工具。
- 德州仪器 (TI)，[使用 \*\*MODE\*\* 引脚进行简单的恒压调节应用](#)简报。
- 德州仪器 (TI)，[使用内部限流器实现恒流运行应用](#)简报。

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司