

Design Guide: TIDA-010089

两象限、15V、8A、可编程线性直流电源参考设计



说明

此参考设计展示了一种低噪声、高效的双向电源，可实现低于 $\pm 0.02\%$ 的满标度 (FS) 电流和电压控制精度。该设计利用模拟反馈环路实现精确的电流控制，并实施电压跟踪电路，以便更大限度降低拉电流模式下线性级中的功率耗散。此实施方案可实现 120W 的输出功率，并可通过外部散热吸收高达 25W 的功率。

资源

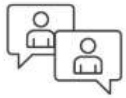
TIDA-010089	设计文件夹
LM393BIDR 、 TMP708AIDBVR 、 TPSI305	产品文件夹
TVS1801 、 LMR38010 、 CSD17575Q3	产品文件夹
TLV709 、 LM2665 、 REF5025	产品文件夹
DAC70502DRXR 、 OPA192IDBVT 、 INA818	产品文件夹
LM358BIDGKR 、 TMUX4053 、 LM5146	产品文件夹

特性

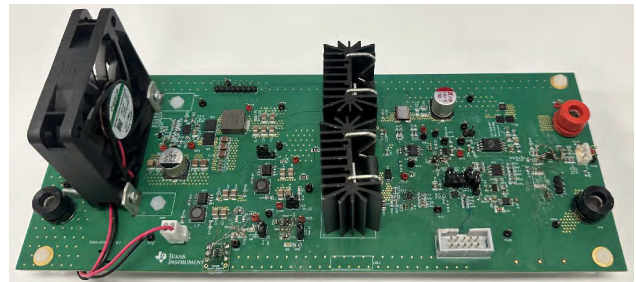
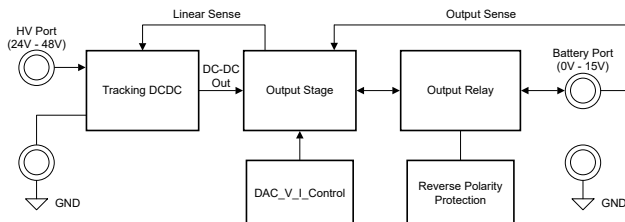
- 低噪声线性输出级，在 20MHz 带宽内具有 3mVpp 输出噪声
- 精确的电流和电压控制，精度优于满标度 $\pm 0.02\%$
- 拉电流操作期间的最大功率：120W
- 灌电流操作期间的最大功率：25W
- 跟踪 DC/DC 转换器，从而更大限度地降低拉电流模式下的功率耗散

应用

- 电芯化成和测试设备
- 可编程直流电源



请咨询我司 TI E2E™ 支持专家



1 系统说明

电池测试仪设备包括各种用于测试单个电芯、电池模块和高压电池包的设备。测试设备包含精密电源和数据采集系统，用于给电池充电和放电，并可测量电芯的各种参数。

图 1-1 显示了经过简化的锂离子电池制造工艺。最后阶段是 *下线调节*，其中包括电芯化成和测试。在制造锂离子电池电芯时，化成是一个关键的步骤。在化成过程中，电芯会经历初始充电和放电的过程，从而形成固体电解质界面 (SEI) 层。SEI 层的质量影响电池电芯的容量和可靠性。为了控制化成过程，请使用精确的可编程电源对电芯进行充电和放电。这些电源称为电池化成系统或电池测试仪。电池测试仪所需的电压和电流精度通常在满量程的 $\pm 0.02\%$ 至 $\pm 0.05\%$ 之间。

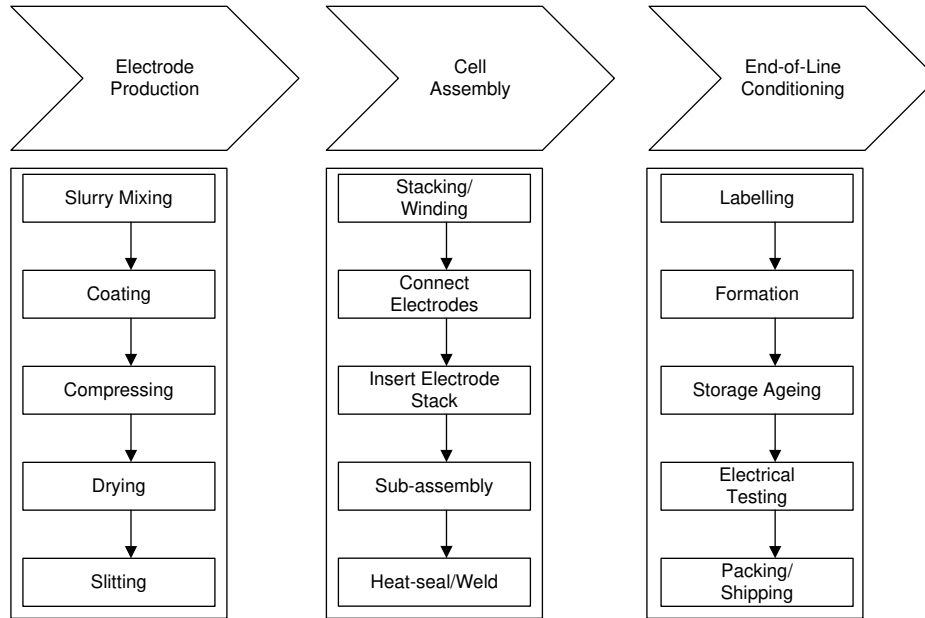


图 1-1. 简化的锂离子电池制造工艺

1.1 主要系统规格

参数	规格
输入电压	24V 至 48V
输出电压	0V 至 15V
最大输出电流	$\pm 8A$
拓扑	具有电压跟踪功能的 DC/DC + LDO
供电 (拉电流)	120W
供电 (灌电流)	8W (不带风扇), 25W (带风扇)
电流和电压设置分辨率	14b
电流调节误差	$< \pm 3mA$ (0.02% FS)
电压调节误差	$< \pm 3mV$ (0.02% FS)

2 系统概述

2.1 方框图

图 2-1 显示了参考设计的方框图。LM5146 是一款降压转换器，用于电压跟踪配置，以最大限度地减少分立式两象限线性功率级的余量。使用 INA818 实现精确的电流传感，并使用 LM358 测量输出电压。电流和电压检测信号馈入模拟反馈环路，用于控制功率金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 的栅极电压。DAC70502 14 位、2 通道数模转换器 (DAC) 用于设置输出电流和电压。使用 USB2ANY 适配器对 DAC 进行编程。

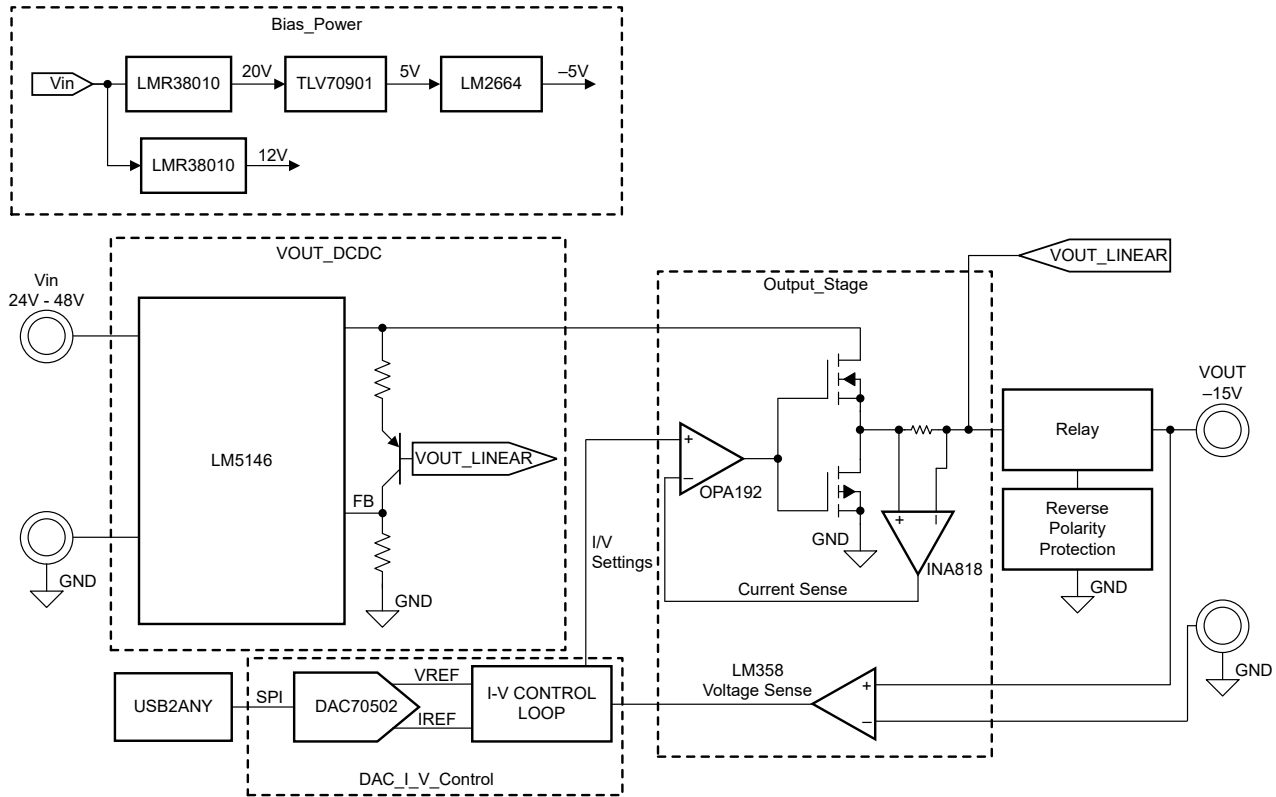


图 2-1. 线性电池测试仪

2.2 设计注意事项

此参考设计具有低噪声二象限线性电源，可灵活调节输出电压。为了提高效率，使用了 LM5146 降压转换器来实施跟踪前置稳压器，进行电压跟踪配置，从而最大限度地减小分立式两象限线性功率级的余量。

使用 INA818 实现精确的电流传感，并使用 LM358 测量输出电压。电流和电压传感信号馈入模拟反馈环路，用于控制功率 MOSFET 的栅极电压。DAC70502 14 位、2 通道 DAC 用于设置输出电流和电压。使用 USB2ANY 适配器对 DAC 进行编程。

2.3 重点产品

此参考设计具有以下器件：

- DAC70502：双通道 1LSB INL 14 位串行外设接口 (SPI) 电压输出数模转换器 (DAC)
- INA818：具有 $\pm 60\text{V}$ 过压保护功能 (增益引脚 1、8) 的低功耗 ($350\mu\text{A}$) 精密仪表放大器
- OPA192：高压、轨到轨输入/输出、 $5\mu\text{V}$ 、 $0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、精密运算放大器
- LM5146：具有宽占空比范围的 100V 同步降压 DC/DC 控制器

2.3.1 DAC70502 : 双通道 1LSB INL 14 位 SPI 电压输出数模转换器 (DAC)

DAC70502 器件可提供小于 1LSB 的线性度。高精度与微型封装相结合, 使得 DAC70502 成为增益和偏移校准、电流或电压设定生成和电源控制等应用的理想选择。这些器件包括一个 2.5V、5ppm/°C 内部基准, 可提供 1.25V、2.5V 或 5V 的满标度输出电压范围。

DAC70502 的数字接口可通过 SPI2C 引脚配置为 SPI 或 I2C 模式。在 SPI 模式下, DAC0502 使用一个在高达 50MHz 的时钟频率下运行的通用 3 线制串行接口。在 I2C 模式下, DAC70502 可在标准模式 (100kbps)、快速模式 (400kbps) 和快速+ 模式 (1.0Mbps) 下运行。

重要特性包括:

- 16 位性能: 1LSB INL 和 DNL (最大值)
- 引脚可选串行接口
 - 3 线, SPI 兼容, 高达 50MHz
 - 2 线, I2C 兼容
- 低功耗: 5.5V 时每通道 1mA

2.3.2 INA818 : 35 μ V 偏移、8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 噪声、低功耗、精密仪表放大器

INA818 是一款高精度仪表放大器, 可提供低功耗并且可在非常宽的单电源或双电源电压范围内工作。可通过单个外部电阻器在 1 到 10000 范围内设置任意增益。该器件可对表示输出电流的差分电压进行测量和放大, 该差分电压用作反馈以调节电流。该器件具有内置的超 β 输入晶体管, 可提供低输入偏移电压、偏移电压漂移、输入偏置电流、输入电压和电流噪声。

重要特性包括:

- 增益漂移: 5ppm/°C ($G = 1$), 35ppm/°C ($G > 1$) (最大值)
- 带宽: 2MHz ($G = 1$)、270kHz ($G = 100$)
- 输入保护高达 $\pm 60\text{V}$
- 共模抑制: 110dB, $G = 10$ (最小值)

2.3.3 OPA192 : 高压, 轨到轨输入/输出、5 μ V、0.2 μ V/°C、精密运算放大器

OPA192IDBVT 具有出色的直流精度和交流性能, 包括轨至轨输入/输出、低偏移电压 (典型值为 $\pm 5\mu\text{V}$)、低温漂 (典型值为 $\pm 0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) 和 10MHz 带宽。此类放大器提供高精度恒流 (CC) 环路控制电压来校准目标信号。

OPA192 具有独特功能, 例如电源轨的差分输入电压范围, 高输出电流 ($\pm 6\text{mA}$), 高达 1nF 的高容性负载驱动以及高压摆率 (20V/ μs), 是一款稳定可靠的高性能运算放大器, 适用于各种高压工业应用。

重要特性包括:

- 宽电源电压: $\pm 2.25\text{V}$ 至 $\pm 18\text{V}$, 4.5V 至 36V
- 低失调电压漂移: $\pm 0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- 高带宽: 10MHz 增益带宽 (GBW)
- 低静态电流: 每个放大器 1mA

2.3.4 LM5146 : 具有宽占空比范围的 100V 同步降压 DC/DC 控制器

LM5146 100V 同步降压控制器旨在对高输入电压源或会发生高压瞬变的输入电源轨进行电压调节, 从而更大幅度地减少对外部浪涌抑制元件的需求。LM5146 在输入电压突降至 5.5V 时, 仍能根据需要以接近 100% 的占空比继续工作, 因此是高性能工业控制、机器人、数据通信和射频应用的理想选择。反馈引脚可提供参考电压来跟踪线性级反馈。

重要特性包括:

- 5.5V 至 100V 的宽输入电压范围
- 具有 $\pm 1\%$ 反馈精度的 0.8V 参考电压
- 可调输出电压范围为 0.8V 至 60V

3 系统设计原理

3.1 恒流控制设计

恒流控制设计需要高精度电流传感器，选择合适的运算放大器（运放）来测量电池充电电流，或通过并联电阻器来测量电池放电电流，这对于准确可靠的电流测量至关重要。Y14770R00300F9R 并联电阻器具有由电源金属条构成的 $3\text{m}\Omega$ 电阻，是电流检测的理想选择。该并联电阻器容差为 1%，最大温度系数为 $\pm 40\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ，可提供精确、稳定的性能。

为了放大并联器上的电流信号，使用了高精度仪表放大器 INA818。选择具有正确共模电压的仪表放大器至关重要，因为放大器会直接影响输入和输出电压限制。该仪表放大器与应用的共模电压兼容，对于在 CC 控制中实现准确可靠的电流测量至关重要。

使用 TI 的模拟工程师计算器，可确定 INA818 的输入共模和限制，图 3-1 显示了计算结果。最大共模电压与电池侧的最大电压一致，在本例中该电压为 15V。INA818 由 20V 和 -5V 电源供电，DAC 产生的参考电压为 2.5V。当增益设置为 66 时，计算结果中显示的输入范围为 -111.4mV 至 112.1mV，符合电流信号范围 ($\pm 8\text{A} \times 3\text{m}\Omega = 24\text{mV}$)。

CC 控制环路也需要高精度运算放大器。该功能采用最大输入温漂为 $\pm 0.1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 的精密漂移运算放大器 OPA192。

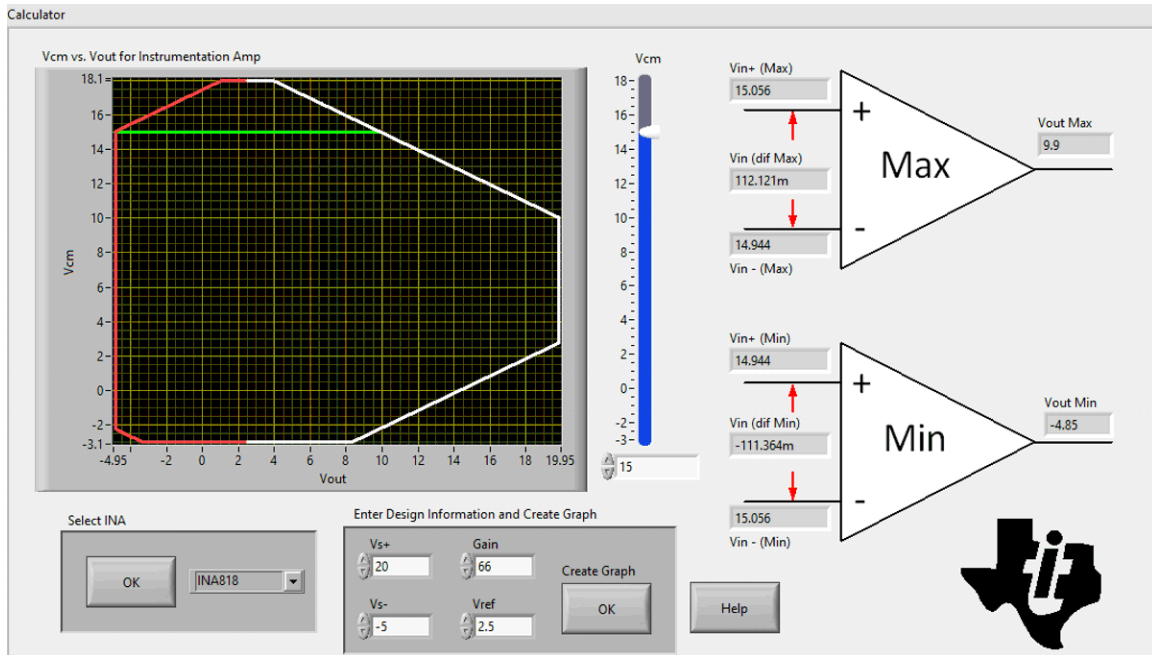


图 3-1. INA818 的 Vcm 与 Vout 计算器

图 3-2 展示了 CC 控制环路原理图。连接到电压控制电压源的输出电压充当 DC/DC 转换器的跟踪输入，为 MOSFET 漏极提供 V_{DCDC} 。此配置中特意加入了 1V 上升，无论负载条件如何，都能将 V_{DS} 保持在 1V。参考电压 I_{SET} 由数模转换器 (DAC) 生成，用于根据运行模式来控制输出电流或电压。另一个输入 I_{SENSE} 是电流反馈信号，通过电流感应电阻器上的差分电压获取。这些信号会在误差放大器 OPA192 中进行差分处理，以促进电流环路控制。对于微小信号仿真，将 1TF 电容器和 1TH 电感器连接到 I_{SENSE} 。这是为了在电感器短路时断开直流电容器，从而断开反馈环路。在高频时，电感器处于开路，电容器处于短路。

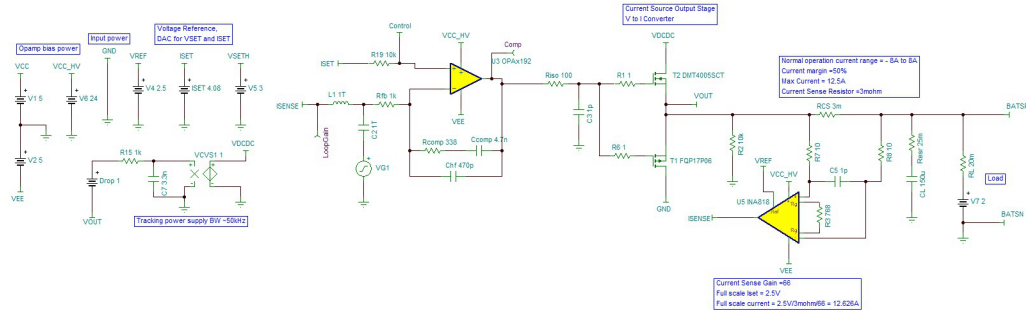


图 3-2. 恒流环路仿真原理图

图 3-3 显示了 CC 仿真的微小信号。8A 恒流输出的相位裕度为 73.39°，交叉频率为 189.59kHz。此仿真用于确认控制电路的稳定性和带宽的充裕性。

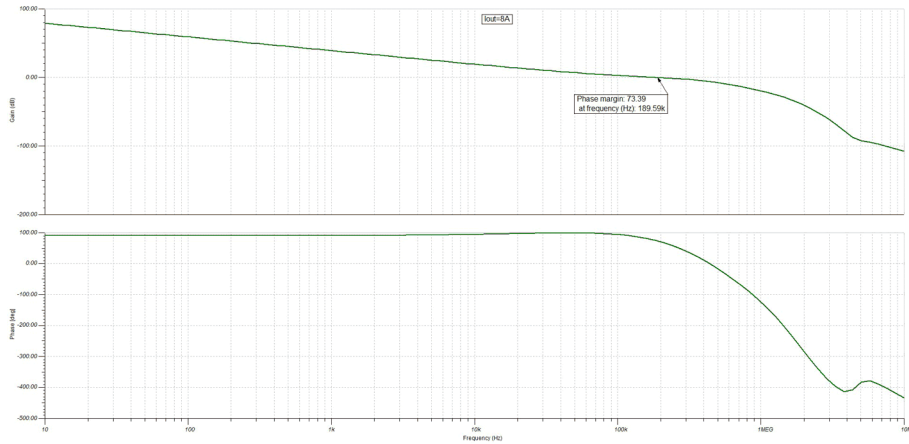


图 3-3. 用于电流环路分析的稳定性仿真

用于调整输出电流的电压可设置为 0V 至 5V。使用 方程式 1 来计算所需电流设置对应的输入参考电压。在此参考设计中，为了生成 8A 输出电流 I_{SET} ，DAC 输出电压设置为 4.08V。

$$I_{SET} = I_{desired} \times INA818 \text{ gain} \times R_{SENSE} + V_{REF} \tag{1}$$

3.2 恒流和电压仿真

图 3-4 显示了电池充电电路及 CC 和 CV 环路的仿真。CC 和 CV 控制环路通过 D1 和 R19 互连。电池充电环境使用 10mF 输出电容进行仿真。

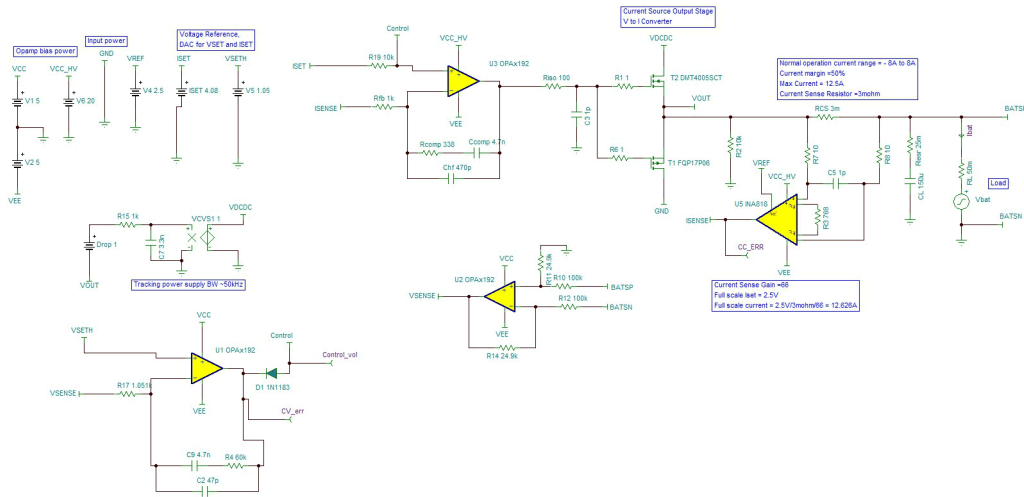


图 3-4. 具有恒流和恒压环路的电源

图 3-5 显示了瞬态原理图，记录了电池充电过程中从恒流控制到恒压控制的切换情况。最初，当电池电量耗尽时，CC 控制环路被激活，而电池以 8A 的恒流充电。充电电流由 DAC ISET 确定。随着电池容量的增加，CV 误差放大器的输出电压会降低，从而逐渐过渡到 CV 控制。在此阶段，充电电流会逐渐降低，同时充电电压保持在恒定水平。最终，当电池充满电时，充电电流接近零，并且电压稳定在 4.2V，这是由 DAC VSET 参考电压设置的。

$$V_{REF} = LM358B \text{ gain} \times V_{OUT} \tag{2}$$

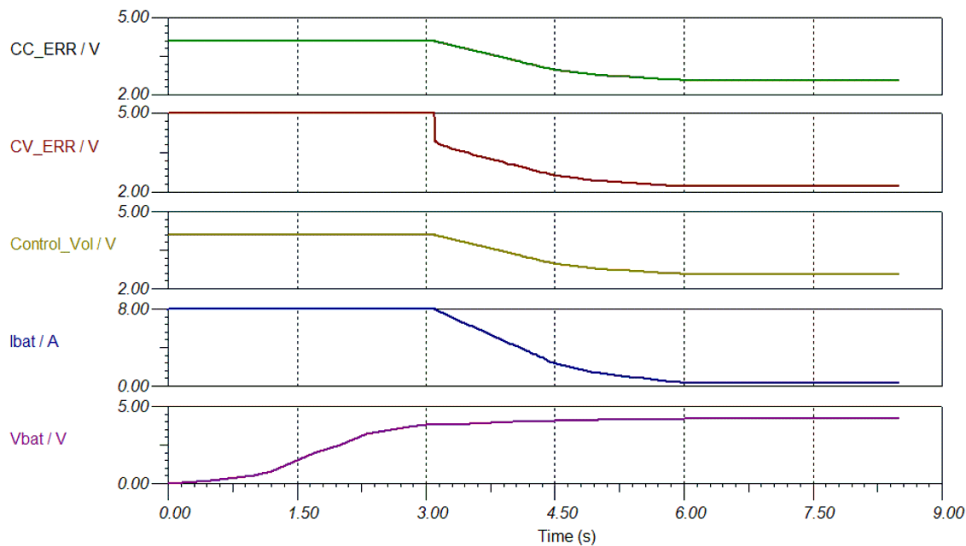


图 3-5. CC 至 CV 转换

4 硬件、软件、测试要求和测试结果

4.1 硬件要求

图 4-1 所示为此参考设计的硬件快照。跳线 J9、J10、J12 和 J13 用于配置电源轨与电路板上电路的连接。J5 跳线将 DAC 编程的参考电压提供给控制系统，用于配置运行模式。J7 可以禁用固态继电器，以中断输出状态。J8 根据来自反馈的检测信号，控制输出开关继电器的功能，从而保护电路免受反极性的影响。

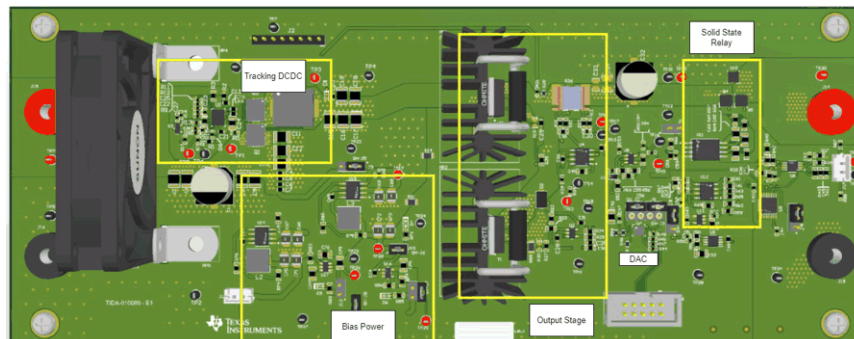


图 4-1. TIDA010089 硬件

输出级中的 MOSFET 负责从电池侧拉取或灌入电流，必须从两个 MOSFET 带走多余的热量以确保正常运行。此设计中采用了散热器和风扇来消耗任何多余的热量。特别是，P 通道金属氧化物半导体 (PMOS) 可以处理灌电流并具有更高的热阻。散热器和风扇的选择取决于具体的功率耗散要求和管壳温度标准。在此设计中，不带风扇时的目标功耗为 8W，所选的散热器能够以 30ft³/分钟的气流来耗散 20W 的热量这可确保系统的热管理符合设计规格，以实现可靠运行。

4.2 软件要求

在此参考设计中，电流和电压回路的参考信号使用 DAC70502 14 位 DAC，该 DAC 通过 [USB2ANY 接口适配器](#) 进行编程。

按照以下步骤对新 USB2ANY 器件进行初始设置：

1. 打开 *USB2ANY Explorer*
2. 在将器件插入计算机之前，点击并按住 USB2ANY 小孔内的按钮
3. 插入器件后，软件会提示进行更新
4. 确认软件更新
5. 松开按钮

USB2ANY 正确设置器件。

按照以下步骤来配置 DAC：

1. 打开 *USB2Any Explorer*
2. 点击 *Select Interfaces* 按钮。*Select Interfaces* 窗口打开
3. 选择 *SPI*
4. 关闭 *Select Interfaces* 窗口
5. 在 *USB2Any Explorer* 窗口中，选择活动日志记录上方的 *SPI*。如果未显示 *SPI* 选项卡，请点击活动日志记录上方的空白处，因为这些选项卡可能会隐藏。
6. 将数据代码写入终端，以生成所需的输出参数

图 4-2 显示了该设置的 GUI 参数。

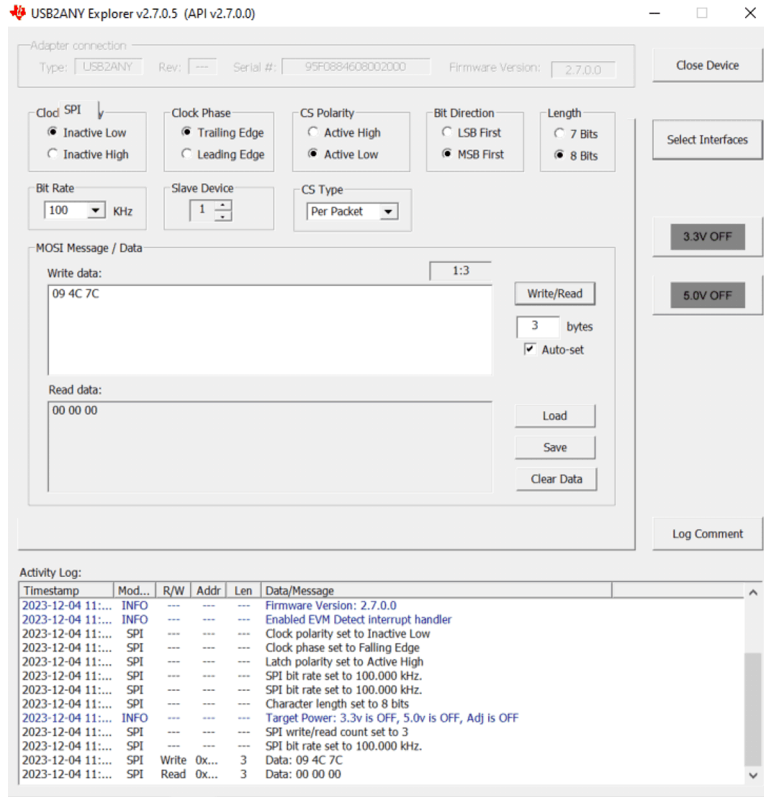


图 4-2. USB2ANY 配置

4.3 测试设置

4.3.1 恒流测试设置

图 4-3 显示了用于测试恒流充电性能的硬件设置。

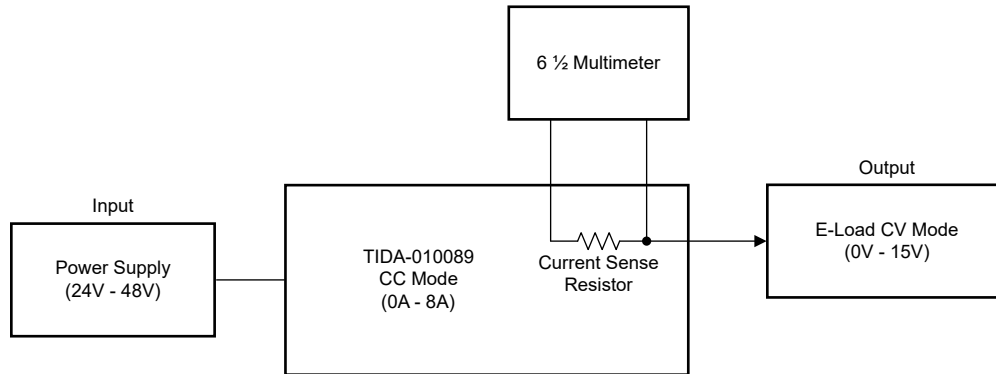


图 4-3. 恒流充电

鉴于该设计能够提供高达 120W 的功率，输入电源需要提供足够的功率来支持该充电模式。输出电子负载用于模拟电池充电过程。将电子负载设置为 CV 模式，并确保电压值低于 DAC 设置的输出电压。启动时， V_{SET} 为 2.5V，这使得开路负载下的输出电压为 10V。在不修改 V_{SET} 的情况下，将电子负载设置为小于 10V。

将万用表连接到电路板上的电流并联电阻器上，方法是将正极探头放置在 TP9 上，将负极探头放置在 TP10 上，以测量检测电阻器两端的电压。该电压可用于计算输出电流。建议使用 6.5 位万用表进行微伏范围内的精确测

量。由于 INA818 的检测电阻器和增益电阻器存在偏移，计算出的并联电阻器两端电流可能会出现 1mA 到 2mA 的微小差异。

完成硬件设置后，仅接通输入电源，然后观察电子负载电压读数。此时，电子负载充当万用表，测量开路负载电压。由于电流环路最初处于活动状态，由级联运算放大器和反馈电阻器中的偏移电压驱动，因此读数可以从某个电压下降到零伏。此时，恒流 (CC) 环路的电压电平较低，并控制系统。通过应用大于中压的任何 I_{SET} 代码来增加 I_{REF} ，可以拉动 D3 两端的电压控制信号，从而使恒定电压 (CV) 环路能够控制系统。

图 4-4 显示了用于测试 CC 放电性能的硬件设置。

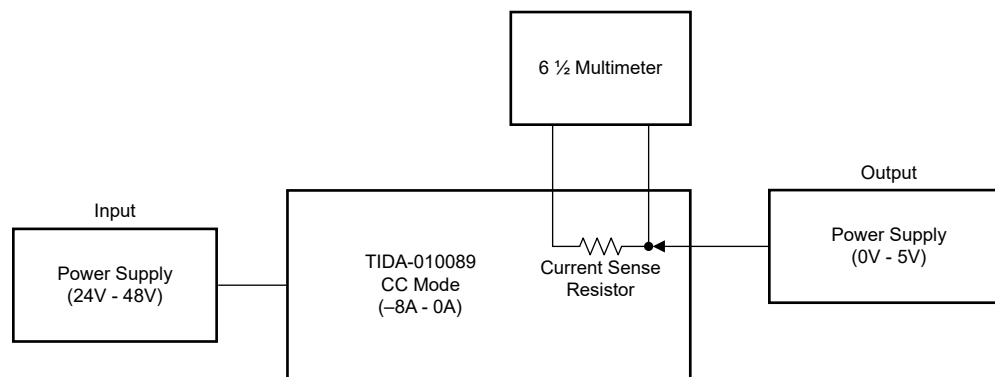


图 4-4. 恒流放电

与正电流下的 CC 环路设置类似，唯一的区别是用电源替换输出电子负载。当风扇关闭时，将电源配置在 8W 限制范围内。当风扇处于活动状态时，可以将输出电源设置在 20W 限制范围内，以便与设计的热损耗保持一致。确保在整个负电流范围内，电源的电压不超过 2.5V，以防止功率耗散超过 20W。

4.3.2 恒压测试设置

图 4-5 显示了 CV 控制环路的测试设置。

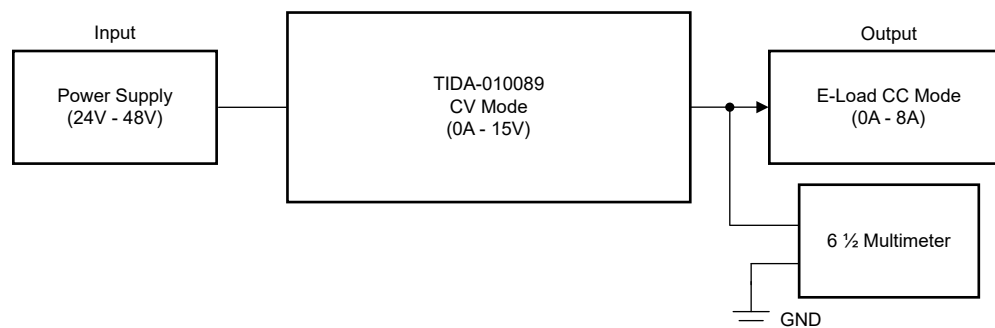


图 4-5. 恒压测试设置

务必将电子负载的设置电流配置为小于 DAC 设置的控制电流的值，以保持稳定的电压环路。

将 6.5 位万用表的正极探头连接到电路板的输出端，可以获得准确的电压读数 (以 mV 为单位)。

4.4 测试结果

4.4.1 电流控制精度

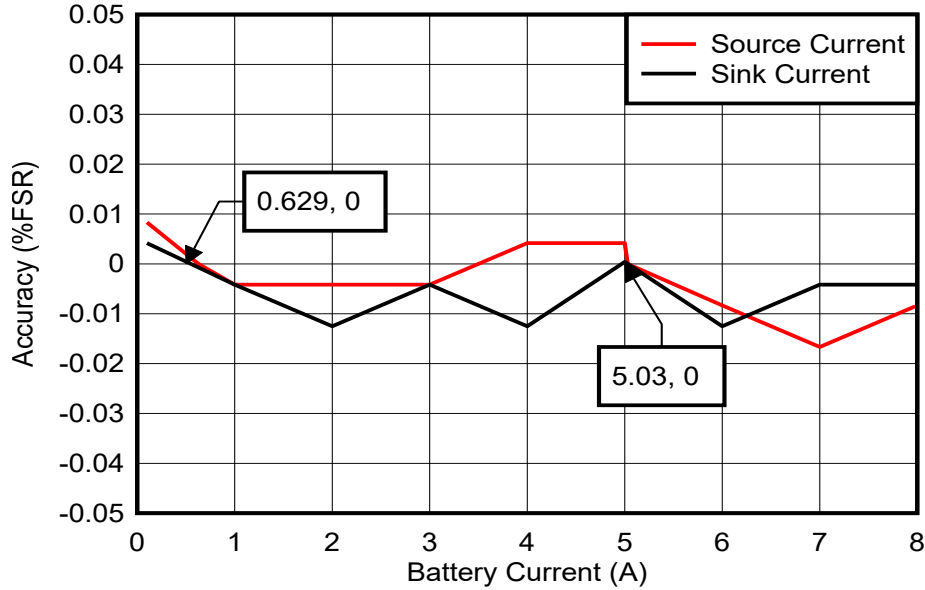


图 4-6. CC 控制精度

输出电压电平的变化可能会影响电流环路。要评估对控制环路的影响，请执行负载调整测试。表 4-1 显示了用于充电的 CC 负载调整，表 4-2 显示了用于放电的 CC 负载调整。

表 4-1. 用于充电的恒流负载调整

满标度 额定值 (FSR)(A)	8					
	0.1	1	2	4	6	8
I_{SET} (A)						
CV 电子负载	I_{SENSE} (A)					
1	0.09987	1.00033	2.00033	3.99933	6.00033	7.99933
2	0.09933	1.00033	2.00033	3.99933	6.00033	7.99933
4	0.09933	1.00033	2.00000	4.00033	6.00067	8.00133
8	0.09967	1.00067	2.00067	4.00067	6.00167	8.00500
10	0.09967	1.00003	2.00033	4.00067	6.00167	8.00567
14	0.09967	1.00067	2.00067	4.00033	6.00133	8.00667
误差 (%FSR)	0.00833	-0.00833	-0.00833	-0.00833	-0.02083	-0.08333

表 4-2. 用于放电的恒流负载调整

FSR (A)	-8					
	0.1	1	2	3	4	5
I_{SET} (A)						
CV 电 源 (电池)	I_{SENSE} (A)					
1	-0.10133	-1.00133	-2.00167	-3.00167	-4.00167	不适用
2	-0.10167	-1.00167	-2.00167	-3.00167	-4.00167	-5.00167
3	-0.10167	-1.00167	-2.00167	-3.00167	-4.00167	-5.00167
4	-0.10167	-1.00167	-2.00167	-3.00167	-4.00167	-5.00167
4.2	-0.10167	-1.00167	-2.00167	-3.00167	-4.00167	-5.00167
误差 (%FSR)	0.02083	0.02083	0.02083	0.02083	0.02083	0.02083

4.4.2 电压控制精度

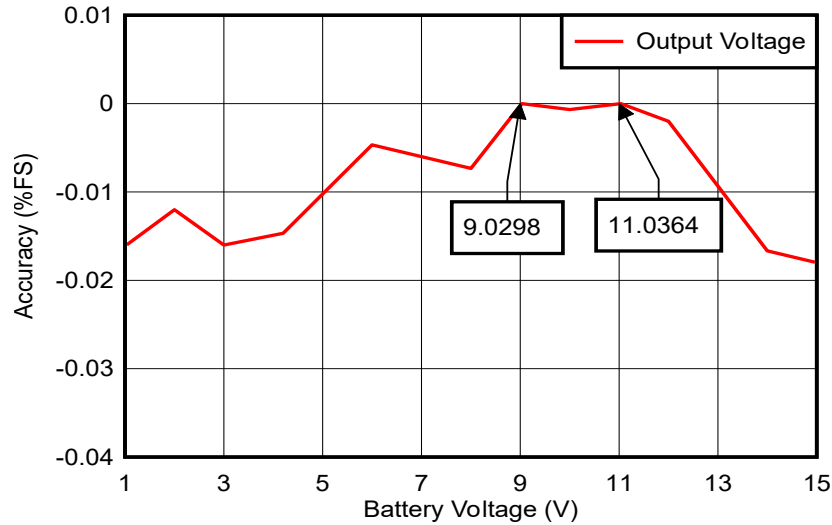


图 4-7. 电压环路线性测试

来自负载的不同电流消耗也会影响 CV 控制精度，需要进行 CV 负载调整测试。表 4-3 显示了恒流设置相对于负载电压调节的变化。该数据与电流变化之间的差异极小。

表 4-3. 不同电流下的电压调节

FS (V)	15					
V _{SET} (V)	1	2	3	4.2	8	15
CC 模式 I _{SET} (A)	负载电压 (V)					
0.1	0.997423	1.99792	2.99827	4.19865	7.99858	14.9975
1	0.99751	1.998	2.99835	4.1987	7.9987	14.9977
2	0.99769	1.99819	2.99853	4.19888	7.99891	14.9978
4	0.99801	1.99853	2.99886	4.19923	7.99929	14.9981
6	0.998378	1.99887	2.99922	4.19957	7.9997	14.9984
7	0.99855	1.99904	2.99941	4.19965	7.99978	14.9985
误差 (%FS)	0.011533	0.013867	0.01153	0.009	0.009467	0.01667

4.4.3 CC、CV 变换

完整电池化成曲线包括 CC 控制和 CV 控制。为了执行这项任务，CC 和 CV 之间的转换应当平稳进行。图 4-8 和图 4-9 显示了在不同电流设置（充电和放电模式）下，从 CC 模式到 CV 模式的切换。

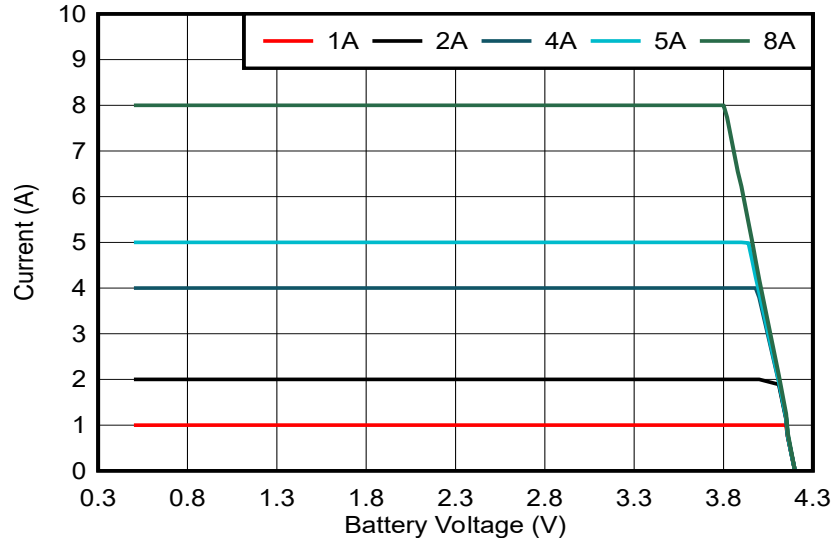


图 4-8. 不同电流设置下的 CC CV 充电转换

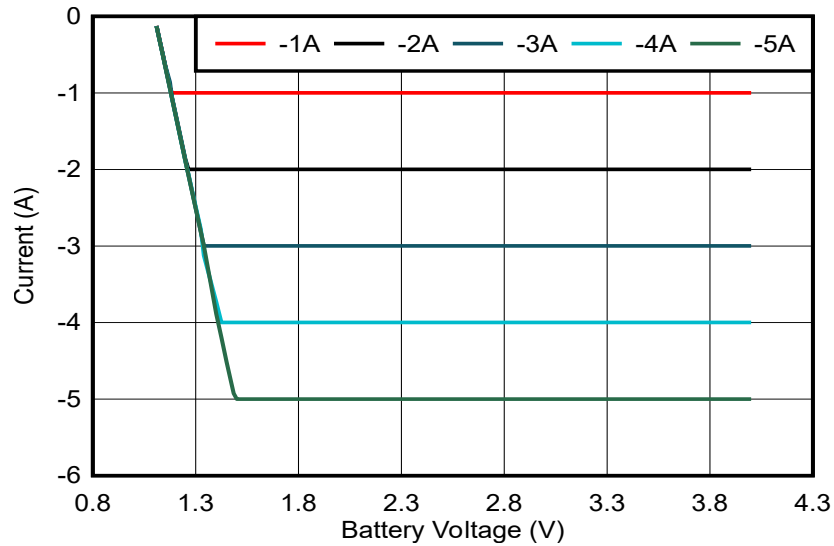


图 4-9. 不同电流设置下的 CC CV 放电转换

4.4.4 恒流瞬态响应

图 4-10 显示了从 180mA 到 1.82A 的电流切换，其中上升时间小于 1ms。执行该测试时，使用电子负载在 CV 条件下消耗电路的电流。结果表明，实现了平稳的电流切换、快速的趋稳时间和稳定的电流环路响应。

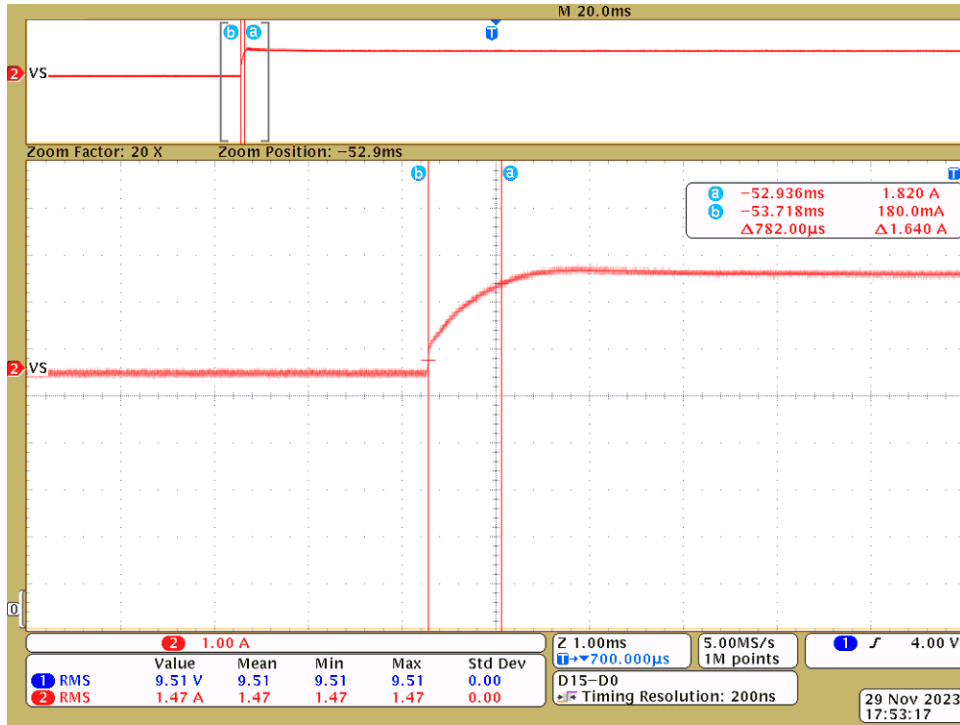


图 4-10. 电流切换时的瞬态响应

4.4.5 恒压瞬态响应

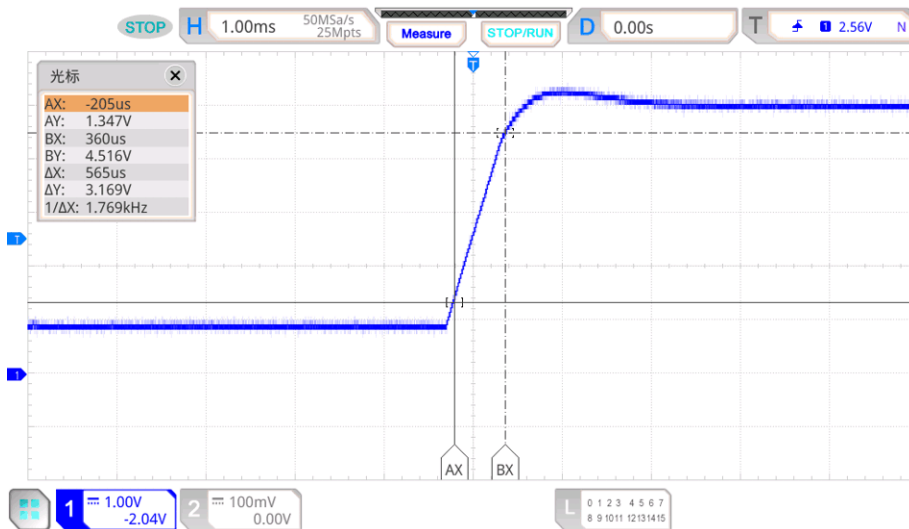


图 4-11. 电压切换时的瞬态响应

4.4.6 短路时的电压纹波

在短路条件下观察到了电压纹波。该测试是在交流耦合的条件下进行的，将 10 倍探头连接到线性级子系统的输出电容器上。纹波峰值间约为 3mV。

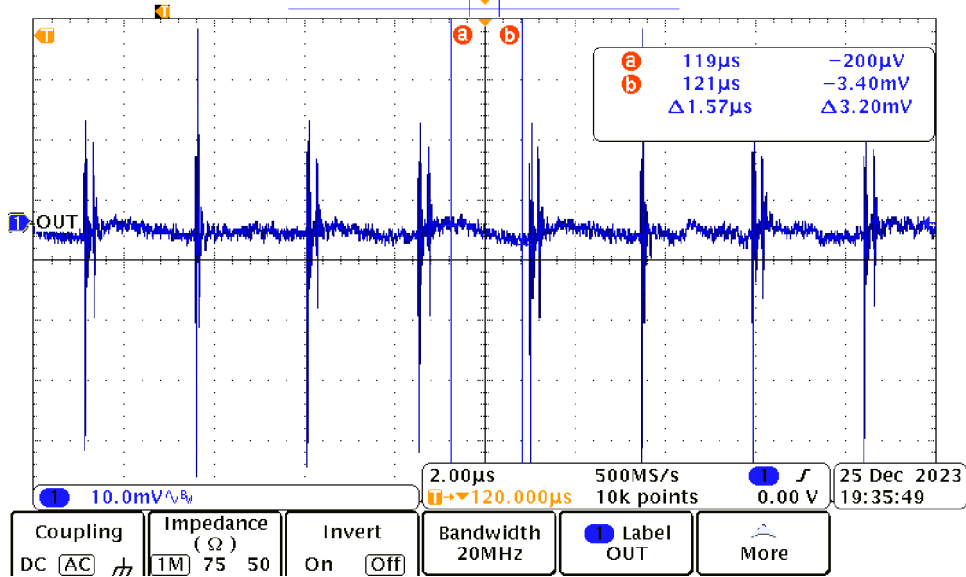


图 4-12. 短路条件下的电压纹波

4.4.7 跟踪 DC/DC 输出

电压跟踪电路在线性功率级中提供恒定的余量。图 4-13 显示了 DC/DC 电源跟踪线性级输出（提供恒定余量）的时间。

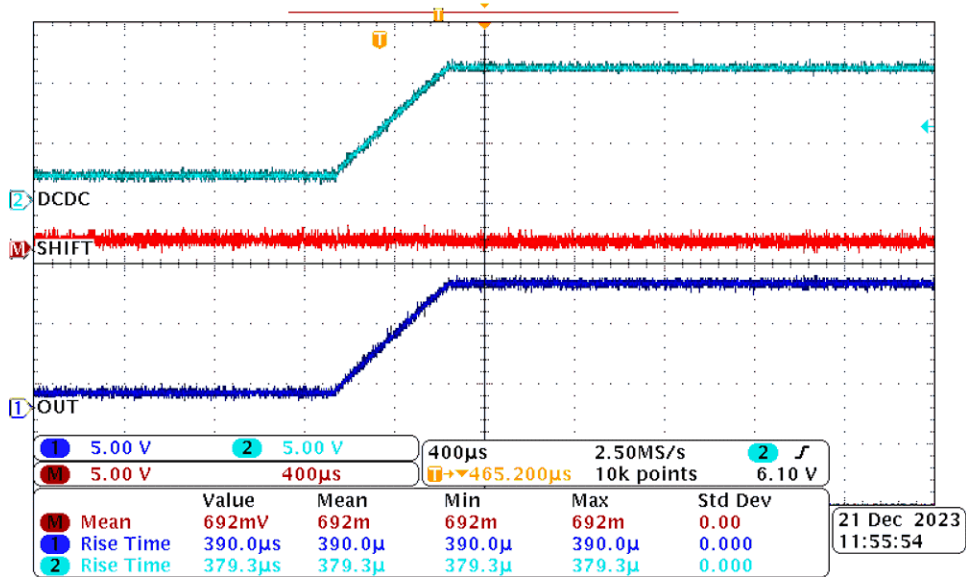


图 4-13. 跟踪 DC/DC 信号 (移位)

5 设计和文档支持

5.1 设计文件

5.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010089](#) 中的设计文件。

5.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010089](#) 中的设计文件。

5.2 工具与软件

[USB2ANY](#) USB2ANY 接口适配器

5.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI), [DACx0502 具有精密内部基准的 16 位、14 位和 12 位 1-LSB INL 电压输出 DAC 数据表](#)
2. 德州仪器 (TI), [LM5146 具有宽占空比范围的 100V 同步降压 DC/DC 控制器数据表](#)
3. 德州仪器 (TI), [INA818 35 \$\mu\$ V 偏移、8nV/ \$\sqrt{\text{Hz}}\$ 噪声、低功耗、精密仪表放大器数据表](#)

5.4 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的 [使用条款](#)。

5.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

6 作者简介

SHAURY ANAND 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责开发面向测试和测量应用的参考设计。Shaury 拥有印度理工学院鲁尔基分校电气工程学士学位 (技术学士)。

ETHAN YU 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责开发面向测试和测量应用的参考设计。Ethan 取得了德州农工大学的电子工程理学学士学位。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司