

Application Note

在反相降压/升压拓扑中使用 TPS6284x



Andreas Mueller

摘要

TPS6284x 系列是高效降压转换器，具有典型值为 60nA 的超低工作静态电流。此器件具有特殊电路，可在 100% 模式下实现仅 120nA 的 IQ，因此可在放电末期进一步延长电池寿命。此器件的输入电压为 1.8V 至 6.5V，支持多种电源，例如 2 节至 4 节碱性电池或 1 节至 2 节锂二氧化锰 (Li-MnO₂) 或 1 节锂离子/锂亚硫酰氯 (Li-SOCl₂) 电池。这些器件专为许多电池供电应用而设计，例如智能仪表、医疗传感器贴片、工业物联网 (智能传感器) 及其他测试和测量设备。就此类应用中的模拟信号链而言，通常需要电源电压是对称的或电压偏置为负。TPS6284x 可配置为反相降压/升压拓扑，其中输出电压相对于地反相或为负。本应用报告详细介绍了 TPS6284x 系列的反相降压/升压拓扑。

备注

在反相降压/升压拓扑中使用这些器件时，需要采取预防措施。请查看 [节 2](#) 部分，了解并可靠地消除已知风险。

内容

1 反相降压/升压拓扑	2
1.1 概念.....	2
1.2 输出电流计算.....	3
1.3 V _{IN} 和 V _{OUT} 范围.....	5
2 设计注意事项	5
2.1 额外的输入电容器.....	5
2.2 数字输入引脚配置.....	6
2.3 启动行为和开关节点注意事项.....	7
3 外部元件选型	8
3.1 电感器选型.....	8
3.2 电容器选型.....	8
4 典型性能	9
5 总结	11
6 参考资料	11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 反相降压/升压拓扑

1.1 概念

反相降压/升压拓扑与降压拓扑非常相似。在标准降压配置（如图 1-1 所示）中，正连接 (V_{OUT}) 连接到电感器，返回连接到器件接地。

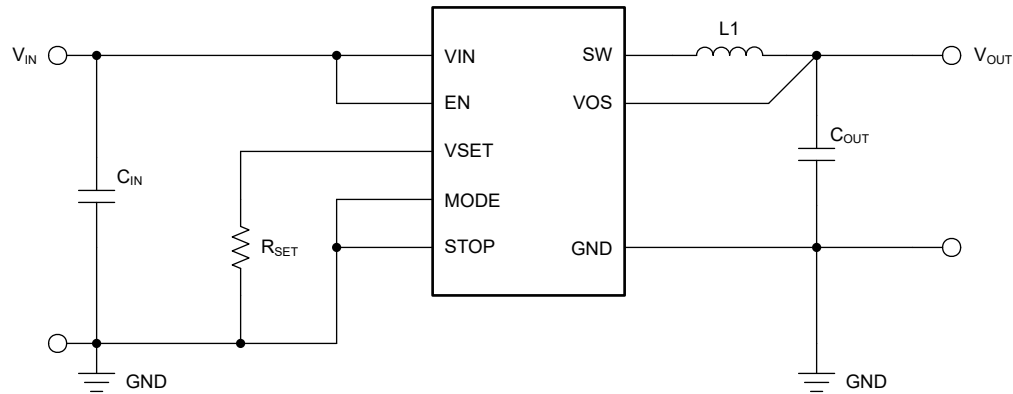


图 1-1. 降压拓扑

然而，在图 1-2 所示的反相降压/升压配置中，该器件接地用作负输出电压引脚（标记为 V_{OUT} ）。降压配置中的正输出出现在用作接地（GND）。拓扑中的这种变化允许输出电压反相并且始终低于接地电压。

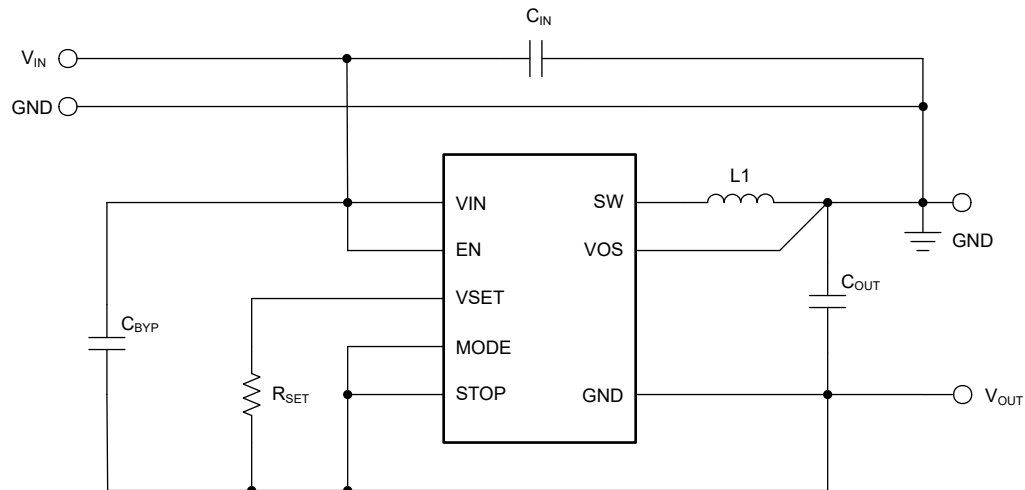


图 1-2. 反相降压/升压拓扑

反相降压/升压拓扑中的电路运行方式与降压拓扑中的电路运行方式不同。尽管元件的连接方式与降压转换器中相同，但输出电压端子是反向的，如图 1-3 所示。在控制 MOSFET 导通期间，如图 1-4(b) 所示，电感器用电流充电，而输出电容器提供负载电流。在此期间，电感器不向负载提供电流。在控制 MOSFET 的关断时间和同步 MOSFET 的导通时间内，如图 1-5 所示，电感器为负载和输出电容器提供电流。这些更改会影响许多参数，如设计注意事项部分所述。

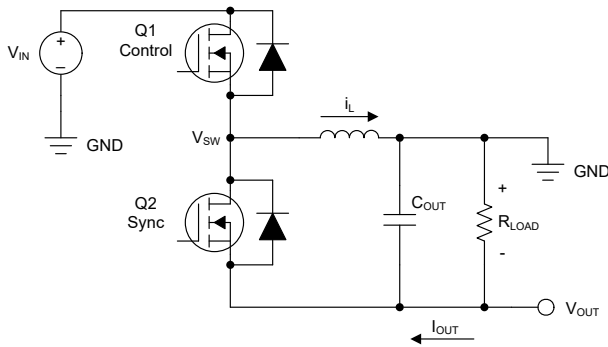


图 1-3. 降压/升压配置

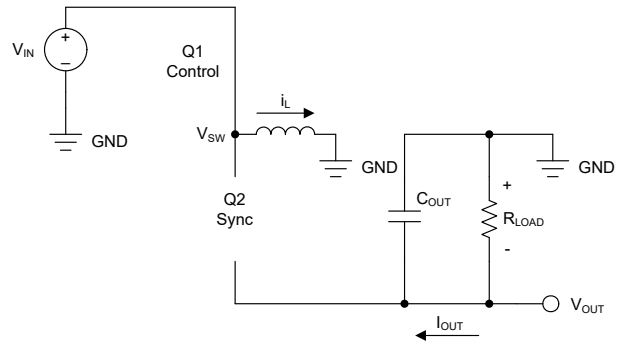


图 1-4. 降压/升压导通时间

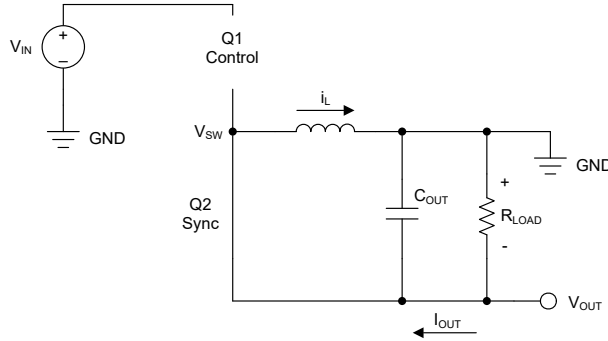


图 1-5. 降压/升压关断时间

1.2 输出电流计算

在此拓扑中，平均电感电流也会受到影响。在降压配置中，平均电感电流等于平均输出电流，因为电感总是在控制 MOSFET 的导通和关断期间为负载提供电流。而在反相降压/升压配置中，负载仅由输出电容器提供电流，并且在控制 MOSFET 导通期间与电感器完全断开。在关断期间，电感连接到输出电容和负载（请参阅图 1-5）。知道关断时间是开关周期的 $(1 - D)$ ，那么可以使用方程式 1 来计算平均电感电流：

$$I_{L(Avg)} = \frac{I_{OUT}}{(1-D)} \quad (1)$$

使用方程式 2 可计算反相降压/升压转换器的工作占空比：

$$D = \frac{V_{OUT}}{(V_{OUT} - V_{IN}) \times \eta} \quad (2)$$

而不是使用降压转换器的 V_{OUT}/V_{IN} 。方程式 2 中的效率项会调整本节中的功率转换损耗公式，并产生更准确的最大输出电流结果。使用方程式 3 可计算峰峰值电感纹波电流：

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN} \times D}{f_S \times L} \quad (3)$$

其中：

- ΔI_L (A)：电感器纹波电流峰峰值
- D：占空比
- η ：效率
- f_S (MHz)：开关频率
- L (μ H)：电感值
- V_{IN} (V)：相对于接地端的输入电压，而不是相对于器件接地端或 V_{OUT} 的输入电压

方程式 4 计算最大电感器电流：

$$I_L = I_{L(avg)} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (4)$$

例如，对于 -1.8V 的输出电压、2.2 μH 的电感器和 3.3V 的输入电压，以下计算得出基于 TPS62840 的最小电流限值 (1A) 可以确保最大允许输出电流。效率项估计为 80%。

$$D = \frac{V_{OUT}}{(V_{OUT} - V_{IN}) \times \eta} = \frac{-1.8 \text{ V}}{(-1.8 \text{ V} - 3.3 \text{ V}) \times 0.8} = 0.441 \quad (5)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN} \times D}{f_S \times L} = \frac{3.3 \text{ V} \times 0.441}{1.8 \text{ MHz} \times 2.2 \text{ } \mu\text{H}} = 368 \text{ mA} \quad (6)$$

重新排列方程式 4 并将 $I_{L(max)}$ 设置为数据表中指定的 I_{LIMF} 的最小值，得出：

$$I_{L(avg)} = I_{L(max)} - \frac{\Delta I_L}{2} = 1000 \text{ mA} - \frac{368 \text{ mA}}{2} = 816 \text{ mA} \quad (7)$$

然后在方程式 1 中使用该结果来计算可实现的最大输出电流：

$$I_{OUT} = I_{L(avg)} \times (1 - D) = 816 \text{ mA} \times (1 - 0.441) = 456 \text{ mA} \quad (8)$$

表 1-1 提供了几个根据不同输出电压 (-1.8V、-1.5V 和 -1.2V) 计算得出的最大输出电流示例，这些示例均基于 2.2 μH 电感值和 1.8MHz 开关频率。增加电感和/或输入电压可在反相降压/升压配置中实现更高的输出电流。由于平均电感器电流高于典型降压型拓扑，所以 TPS62840 在反相降压/升压拓扑中的最大输出电流通常低于 750mA。图 1-6 展示了相同三个输出电压和不同输入电压条件下的输出电流。

表 1-1. 不同 V_{OUT} 值的最大输出电流计算

参数	$V_{OUT} = -1.8V$	$V_{OUT} = -1.5V$	$V_{OUT} = -1.2V$
V_{IN} (V)	3.3	3.3	3.3
η	0.8	0.8	0.8
f_s (MHz)	1.8	1.8	1.8
L (μH)	2.2	2.2	2.2
$I_{L(max)}$ (mA)	1000	1000	1000
D	0.441	0.391	0.333
ΔI_L (mA)	368	326	278
$I_{L(avg)}$ (mA)	816	837	861
I_{OUT} (mA)	456	510	574

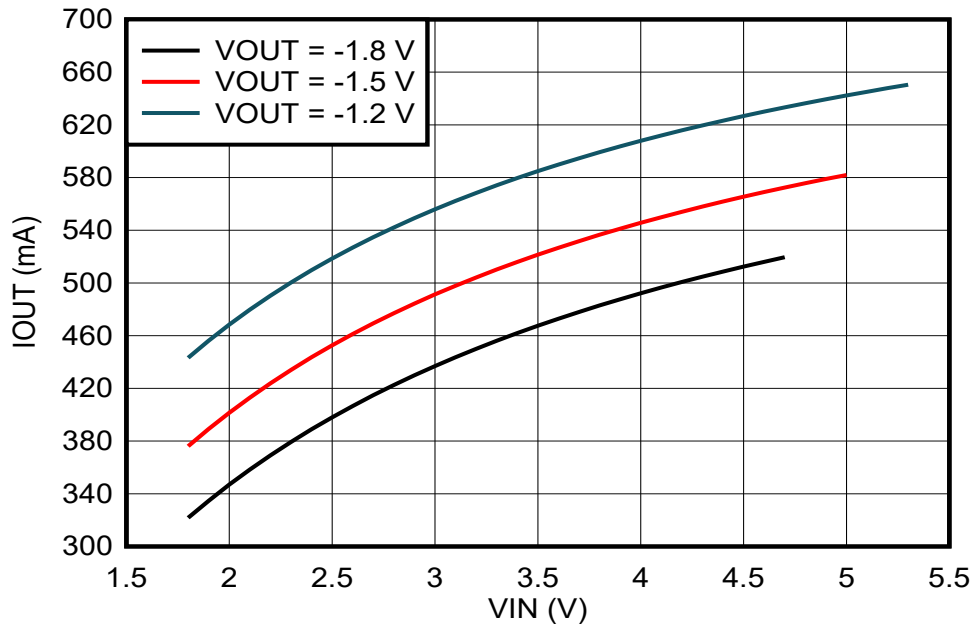


图 1-6. 最大输出电流与 V_{IN} 间的关系

1.3 V_{IN} 和 V_{OUT} 范围

可应用于反相降压/升压转换器 IC 的输入电压小于可应用于同一降压转换器 IC 的输入电压。这是因为 IC 的接地引脚连接到 (负) 输出电压。因此, 器件两端的输入电压是 V_{IN} 到 V_{OUT} , 而非 V_{IN} 到地。因此, TPS6284x 的输入电压范围为 1.8V 至 $6.5V + V_{OUT}$, 其中 V_{OUT} 为负值。输出电压范围与配置为降压转换器时相同, 但为负。为反相降压/升压拓扑设置输出电压的方法与降压配置相同, 即将 R_{SET} 电阻器连接到器件的 GND 引脚。

2 设计注意事项

2.1 额外的输入电容器

需要一个额外的输入电容器 C_{BYP} 作为该器件的旁路电容器以确保稳定性。该电容器是对输入电容器 C_{IN} 的补充, 连接在 V_{IN} 和接地之间 (请参阅图 1-2)。旁路电容器和输入电容器的建议最小值为 $4.7 \mu F$ 。不良效果在于, C_{BYP} 电容器提供了从 V_{IN} 到 V_{OUT} 的交流路径, 并在 GND 的基础上与 C_{OUT} 一起构建了一个电容分压器。在将 V_{IN} 施加到电路的瞬间, 电容分压器会将 V_{OUT} 上拉至 GND 以上, 导致负电源轨发生正预偏置。这也意味着 IC GND 引脚 (连接到 V_{OUT}) 也会发生正预偏置, 这会将 SW 引脚和 VOS 引脚拉至低于比 IC 接地低 0.3V 以上, 导致违反绝对最大额定值。这种情况会损坏器件, 因此不建议这样做。因此, 输出端应安装一个肖特基二极管 (D1), 如图 2-1 所述。需要进行启动测试, 以验证在施加 V_{IN} 后, VOS 引脚的驱动电压不会低于 IC 接地 0.3V 以上。

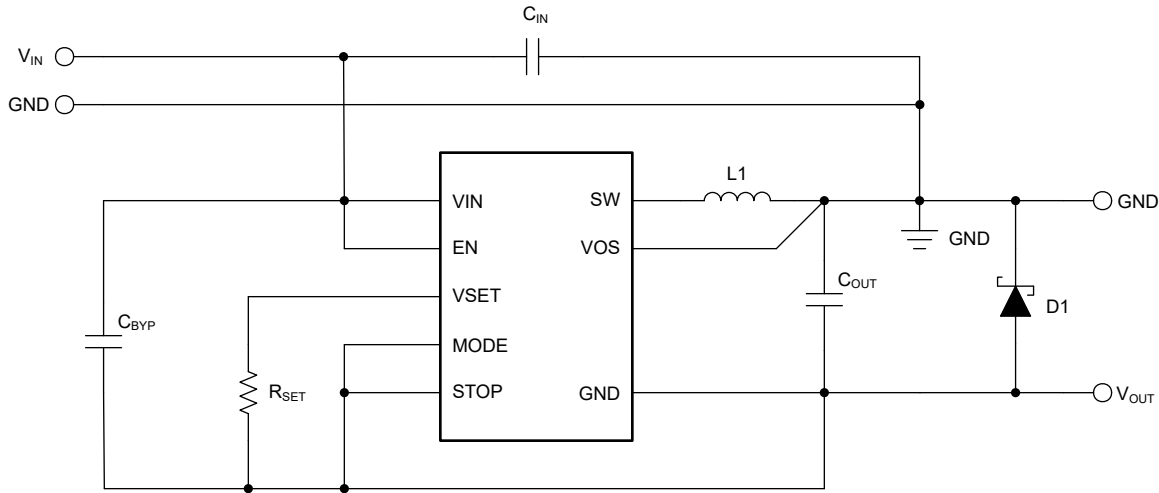


图 2-1. 具有肖特基二极管的反相降压/升压拓扑

通过 C_{BYP} 的交流路径也会使线路瞬态响应恶化。如果预计出现强线路瞬变，则会增大输出电容，以在线路瞬变期间将输出电压保持在可接受的水平内。

TPS6284x 可以在没有旁路电容器和肖特基二极管的情况下运行，但必须注意验证单个应用中的稳定性并检查 SW 和 VOS 引脚信号在启动期间不会违反建议的工作条件。

2.2 数字输入引脚配置

由于 V_{OUT} 在此配置中是 IC 接地，因此 EN 引脚必须以 V_{OUT} （而非接地）为基准。在降压配置中，产品数据表中使能引脚的额定阈值电压为 1.1V（被视为高电平）和 0.4V（被视为低电平）（请参阅 TPS62840 产品数据表，）。但在反相降压/升压配置中， V_{OUT} 电压是基准电压；因此，高阈值为 $1.1V + V_{OUT}$ ，低阈值为 $0.4V + V_{OUT}$ 。例如，如果 $V_{OUT} = -1.8V$ ， V_{EN} 在高于 $-0.7V$ 的电压下被视为高电平，在低于 $-1.4V$ 的电压下被视为低电平。MODE 和 STOP 引脚也具有相同的效果。这种行为可能会导致难以启用或禁用器件，因为在某些应用中，提供 EN 信号的 IC 无法产生负电压。图 2-2 所示的电平转换器通过消除负 EN 信号，减少了与失调 EN 阈值电压相关的任何问题。

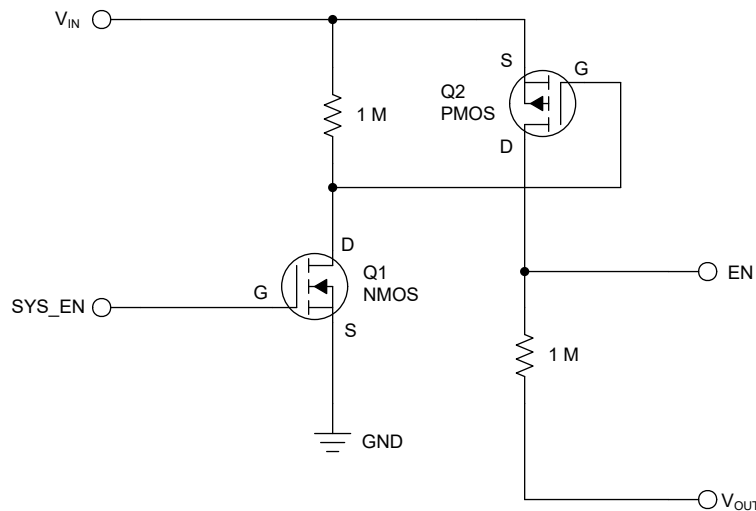


图 2-2. EN 引脚电平转换器

最初驱动 EN 的正信号改为连接到 Q1 的栅极 (SYS_EN)。当 Q1 关闭 (SYS_EN 接地) 时，Q2 在 VGS 上为 0V，并且也保持关闭状态。在这种状态下，EN 引脚检测到 V_{OUT} 低于低电平阈值，并禁用该器件。当 SYS_EN 提供足够的正电压来开启 Q1 (MOSFET 数据表中指定的 VGS 最小值) 时，Q2 的栅极通过 Q1 被拉低。这会将 Q2 的 VGS 驱动为负，并导通 Q2。因此， V_{IN} 通过 Q2 连接到 EN，且该引脚高于高电平阈值，从而使器件导

通。确保 Q2 的 VGD 在使能和禁用状态下均保持在 MOSFET 的额定值范围内。不遵守此约束可能会导致 MOSFET 损坏。启用和禁用序列如图 2-3 和图 2-4 所示。SYS_EN 信号激活使能电路，G/D NODE 信号表示 Q1 和 Q2 之间的共享节点。EN 信号是电路的输出，从 VIN 变为 -VOUT，从而正确启用和禁用器件。

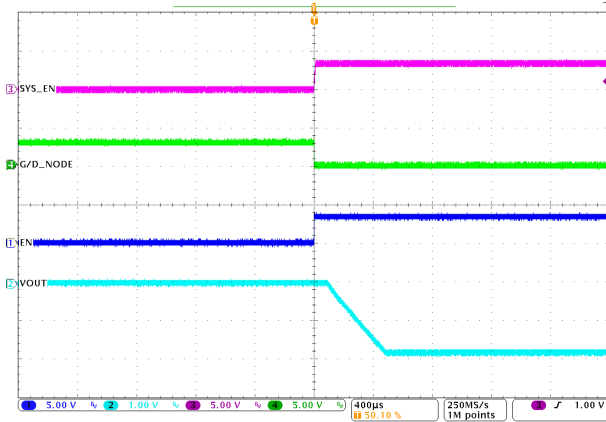


图 2-3. 启动时的 EN 引脚电平转换器

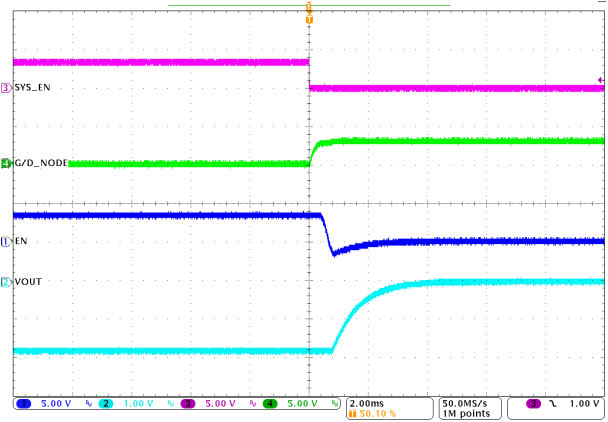


图 2-4. 关断时的 EN 引脚电平转换器

2.3 启动行为和开关节点注意事项

在反相降压/升压拓扑中，SW 引脚上的电压从 VIN 切换到 VOUT，而不是从 VIN 切换到 GND。当高侧 MOSFET 导通时，SW 节点会看到输入电压，而当低侧 MOSFET 导通时，SW 节点会看到器件接地，即输出电压。在启动期间，VIN 会上升以达到所需的输入电压。在 EN 引脚电压超过阈值电平且 VIN 超过 UVLO 阈值后，VOUT 开始斜降。随着 VOUT 继续斜降，SW 节点低电平随之下降。图 2-5 展示了输出电压产生的正常平滑启动。

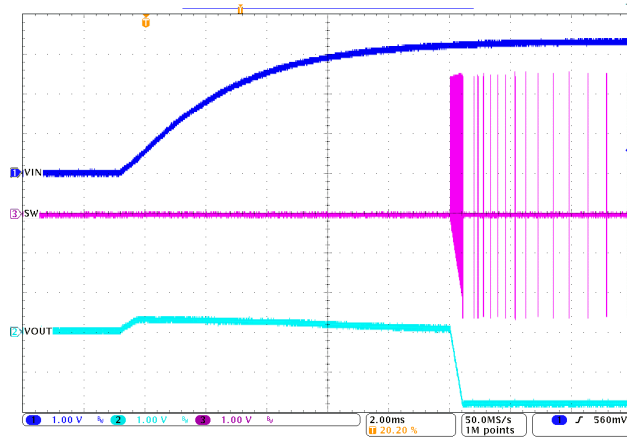


图 2-5. 启动期间的 SW 节点电压

3 外部元件选型

电感器和输出电容器必须根据应用要求和器件的稳定性标准来选择，这与传统的降压转换器方法不同。需要执行负载瞬态测试以评估稳定性。图 4-7 展示了在示例电路上执行此类测试的结果。没有振铃表示稳定。

3.1 电感器选型

要为反相降压/升压拓扑选择电感值，请使用 [方程式 1](#) 至 [方程式 4](#)，而不要使用 [TPS62840 数据表](#) 中提供的公式。这些公式有助于通过设计最大电感电流 ($I_{L(max)}$) 或找到给定电感的峰值电感电流来选择正确的电感。 $I_{L(Max)}$ 需要保持在器件的最小电流限制值以下，以便实现可靠的设计。对于给定设计，最坏情况下的 $I_{L(Max)}$ 出现在最小 V_{IN} 处。确定 $I_{L(Max)}$ 后，建议选择饱和额定值比 $I_{L(Max)}$ 高 20% 至 30% 的电感器，以便允许在启动或负载瞬态期间可以出现峰值电流。对于反相降压/升压拓扑，建议的电感为 $2.2 \mu H$ 。

3.2 电容器选型

为了实现低输出电压纹波，需要使用等效串联电阻 (ESR) 较低的微型陶瓷电容器。建议使用电介质类型为 X5R 或 X7R 的电容器，从而保证在温度范围内具有稳定的电容特性。 C_{BYP} 和 C_{IN} 都建议使用最小 $10 \mu F$ 的电容器。这些电容值可以无限制地增加。对于输出电容器，建议使用最小 $22 \mu F$ 的电容器。该电容器值过大可能会导致不稳定。这种情况可以通过波特图或负载瞬态响应进行评估。 C_{BYP} 的额定电压必须大于 $(V_{IN} + V_{OUT})$ 。

4 典型性能

图 4-1 中所示的参考设计 ($V_{OUT} = -1.8V$) 用于生成本节所示的典型特性图, 如 图 4-2 至 图 4-9 中所示。

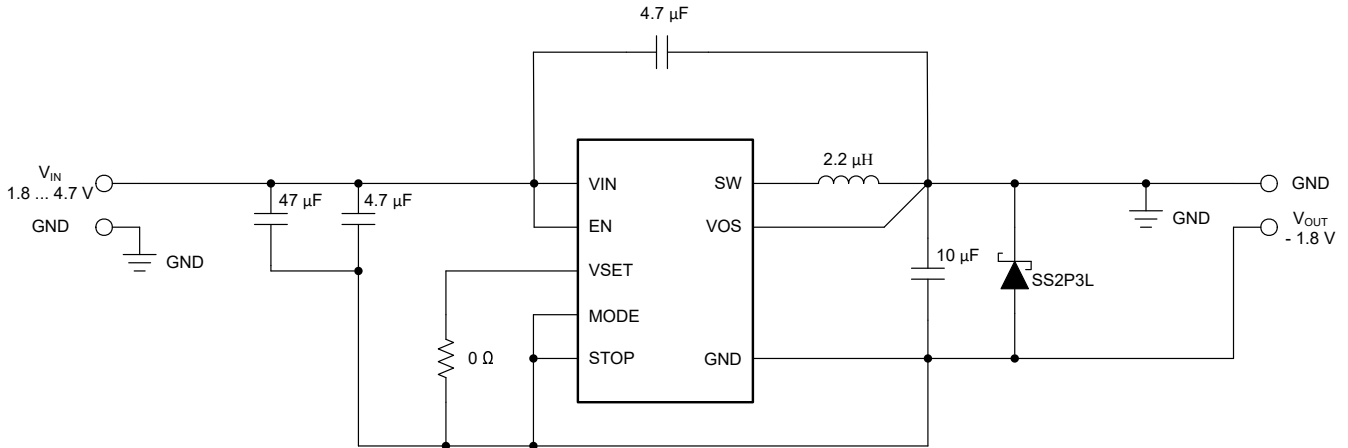


图 4-1. 测试电路的原理图

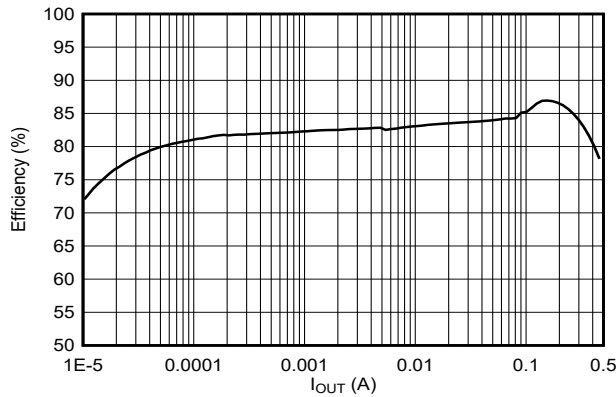


图 4-2. 效率与输出电流间的关系, $V_{IN} = 3.3V$, $V_{OUT} = 1.8V$

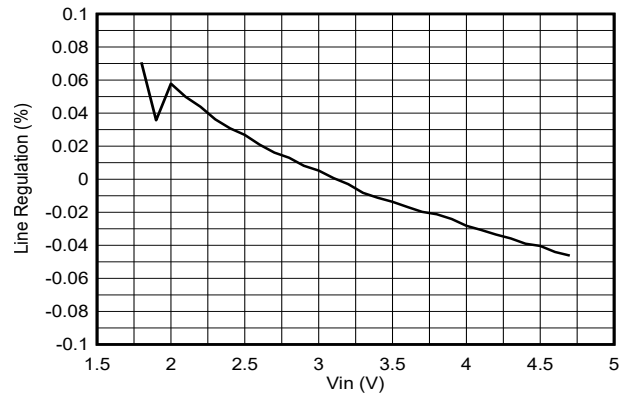


图 4-3. 320mA 负载下的线路调节

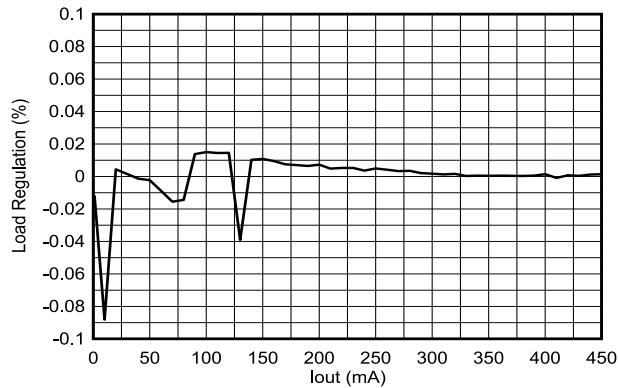


图 4-4. 负载调节 ($V_{IN} = 3.3V$, $V_{OUT} = -1.8V$)

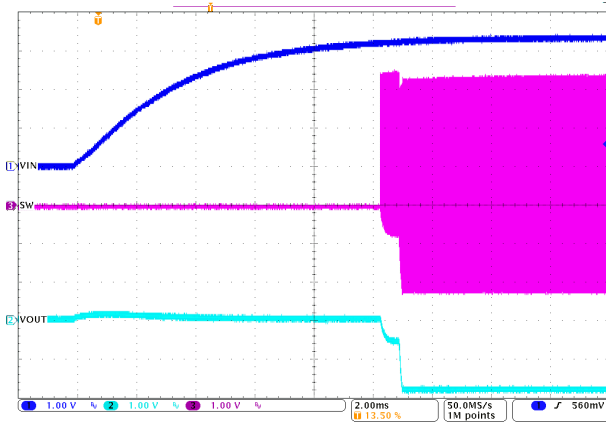


图 4-5. 基于 V_{IN} 的启动 (450mA 负载、 $V_{IN} = 3.3V$ 、 $V_{OUT} = -1.8V$)

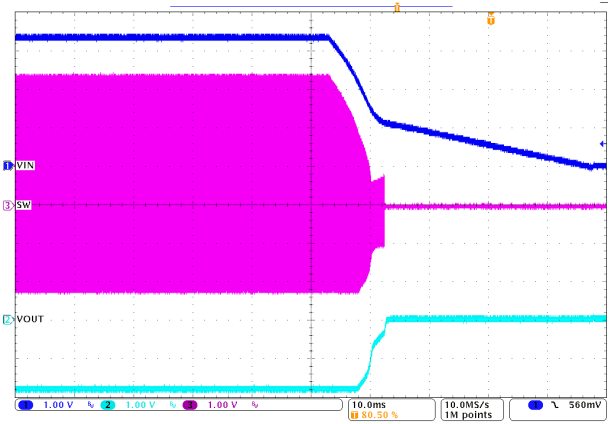


图 4-6. 基于 V_{IN} 的关断 (450mA 负载、 $V_{IN} = 3.3V$ 、 $V_{OUT} = -1.8V$)

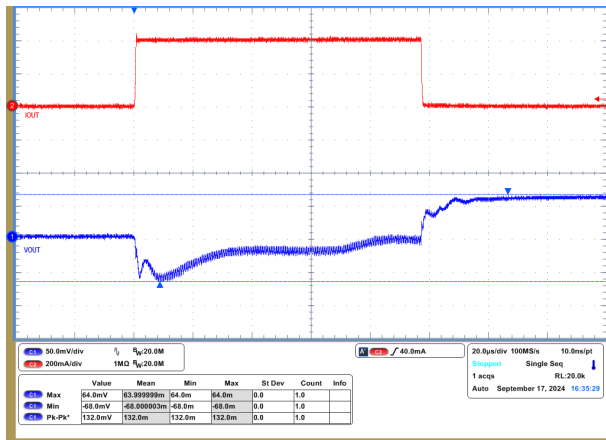


图 4-7. 负载瞬态响应 (1A/μs 时为 0mA 至 400mA、 $V_{IN} = 3.3V$ 、 $V_{OUT} = -1.8V$)

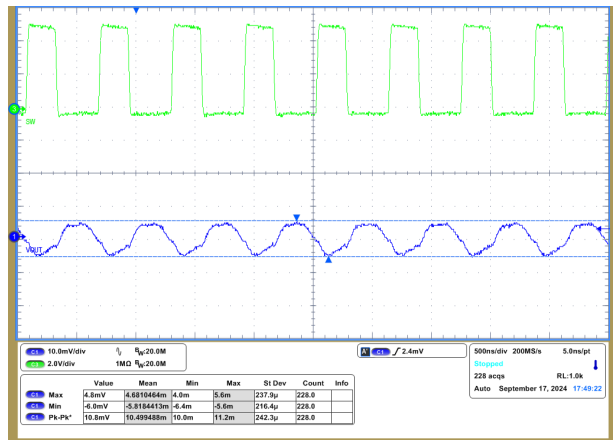


图 4-8. 输出电压波纹 ($V_{IN} = 3.3V$ 、 $V_{OUT} = -1.8V$ 且 $I_{OUT} = 450mA$)

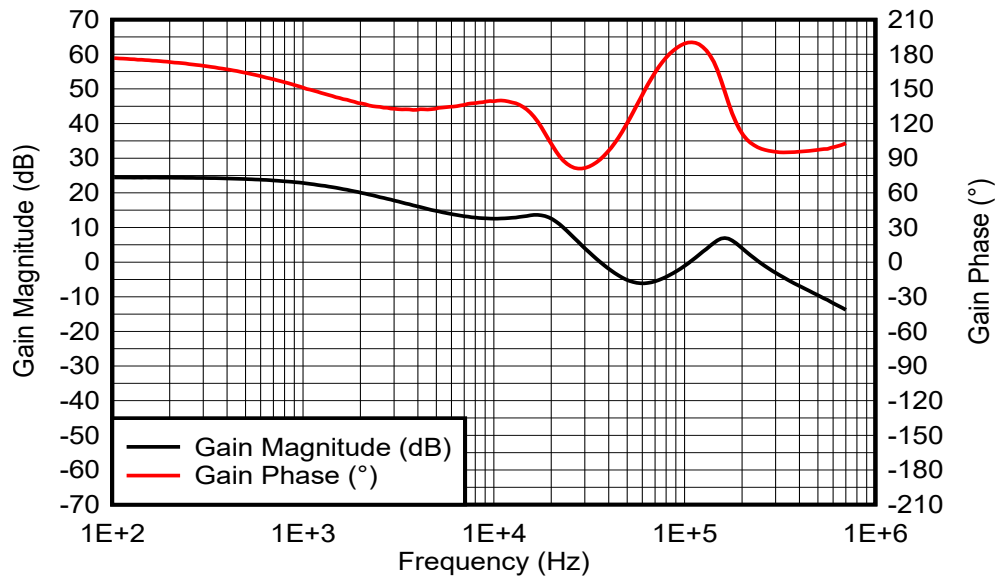


图 4-9. 波特图 ($V_{IN} = 3.3V$ 、 $V_{OUT} = -1.8V$ 且负载为 450mA)

5 总结

TPS62840 降压直流/直流转换器可以配置为反相降压/升压转换器，以便生成负输出电压。反相降压/升压拓扑改变了一些系统特性，例如输入电压范围和最大输出电流。本应用报告介绍了反相降压/升压拓扑以及如何根据已更改的系统特性为外部元件选择合适的值。TPS62840 还提供了设计指南和预防措施，可确保转换器稳定运行。提供来自示例设计的测量数据。本应用报告也适用于 TPS6284x 系列中的任何器件。

6 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[在反相降压/升压拓扑中使用 TPS6215x](#)，应用手册。
2. 德州仪器 (TI)，[TPS62840 1.8V 至 6.5V、750mA、60nA IQ 降压转换器](#) 数据表。

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