

**摘要**

德州仪器 (TI) 的 **TPS6215x** 系列同步降压直流/直流转换器具有 3V 至 17V 的宽工作输入电压范围和 0.9V 至 6V 的可调输出电压。这些器件非常适合许多应用，例如标准 12V 电压轨电源、嵌入式系统和便携式应用。此外，TPS6215x 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 TPS6215x 系列的反相降压/升压拓扑。此拓扑还可应用于 **TPS6213x/4x/6x/7x** 转换器。

**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 2.1](#)，了解并可靠地消除已知风险。

**内容**

<b>1 反相降压/升压拓扑</b> .....	<b>3</b>
1.1 概念.....	3
1.2 输出电流计算.....	4
1.3 $V_{IN}$ 和 $V_{OUT}$ 范围.....	6
<b>2 设计注意事项</b> .....	<b>7</b>
2.1 设计注意事项.....	7
2.2 额外的输入电容器.....	7
2.3 数字引脚配置.....	8
2.4 启动行为和开关节点注意事项.....	12
<b>3 外部组件选择</b> .....	<b>13</b>
3.1 电感器选择.....	13
3.2 电容器选型.....	13
<b>4 典型性能</b> .....	<b>14</b>
<b>5 结论</b> .....	<b>16</b>
<b>6 参考文献</b> .....	<b>17</b>
<b>7 修订历史记录</b> .....	<b>18</b>

**插图清单**

图 1-1. 降压拓扑.....	3
图 1-2. 反相降压/升压拓扑.....	3
图 1-3. 降压/升压配置.....	4
图 1-4. 最大输出电流与 $V_{IN}$ 间的关系.....	6
图 2-1. 使用 RC 滤波器和串联电阻的 EN 引脚延迟.....	7
图 2-2. 使用 RC 滤波器和肖特基二极管的 EN 引脚延迟.....	7
图 2-3. 具有肖特基 D1 的 TPS62150 反相降压/升压原理图.....	8
图 2-4. EN 引脚电平转换器.....	8
图 2-5. 启动时的 EN 引脚电平转换器.....	9
图 2-6. 关断时的 EN 引脚电平转换器.....	9
图 2-7. PG 引脚电平转换器.....	10
图 2-8. 启动时的 PG 引脚电平转换器.....	11
图 2-9. 关断时的 PG 引脚电平转换器.....	11
图 2-10. 启动期间的 SW 节点电压.....	12
图 4-1. 测试电路的原理图.....	14

图 4-2. 效率与负载电流间的关系 ( $V_{IN} = 12V$ ).....	14
图 4-3. 效率与负载电流间的关系 ( $V_{IN} = 5V$ ).....	14
图 4-4. 500mA 负载下的线路调节.....	14
图 4-5. 负载调节 ( $V_{IN} = 12V$ ).....	14
图 4-6. $V_{IN} = 12V$ 且负载为 500mA 时的波特图.....	15
图 4-7. 在 160mA 负载条件下通过 $V_{IN}$ 启动.....	15
图 4-8. 在 500mA 负载条件下通过 $V_{IN}$ 关断.....	15
图 4-9. $V_{IN} = 12V$ 时负载瞬态响应为 0mA 至 500mA.....	15
图 4-10. $V_{IN}$ 为 12 V 且 $I_{OUT}$ 为 500 mA 时的输出电压纹波.....	15

## 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。

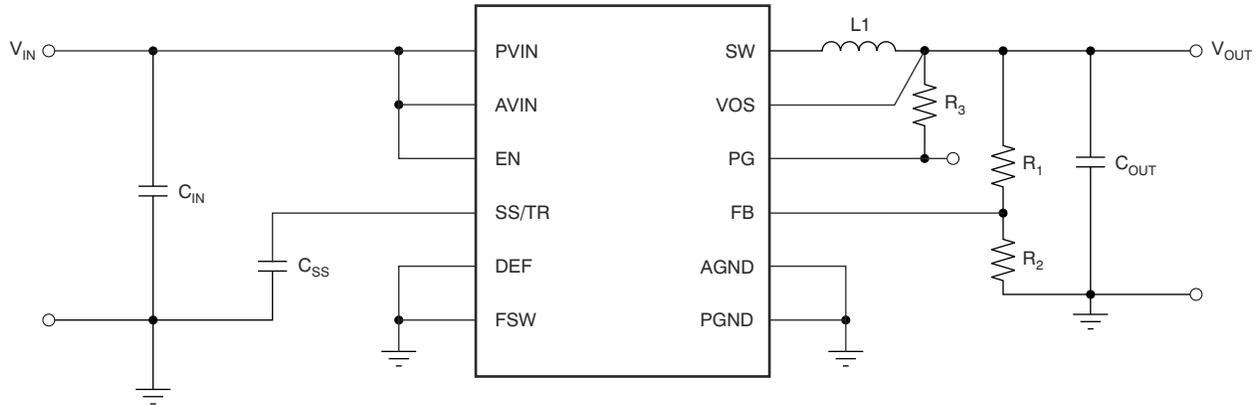


图 1-1. 降压拓扑

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。

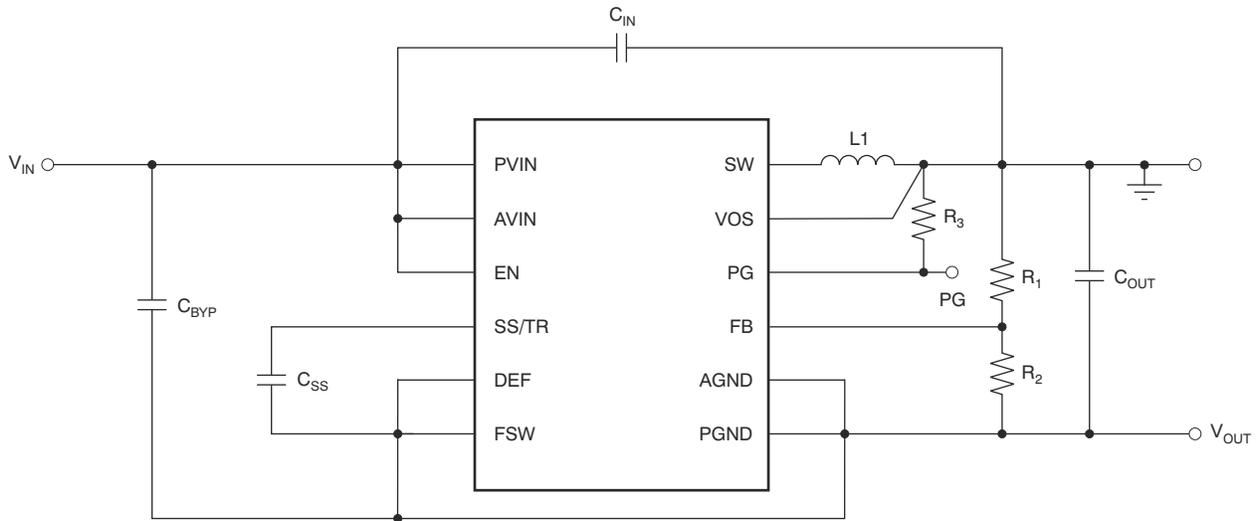


图 1-2. 反相降压/升压拓扑

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(a) 所示。在控制 MOSFET 导通期间，如图 1-3(b) 所示，电感器用充电，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 1-3(c) 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。

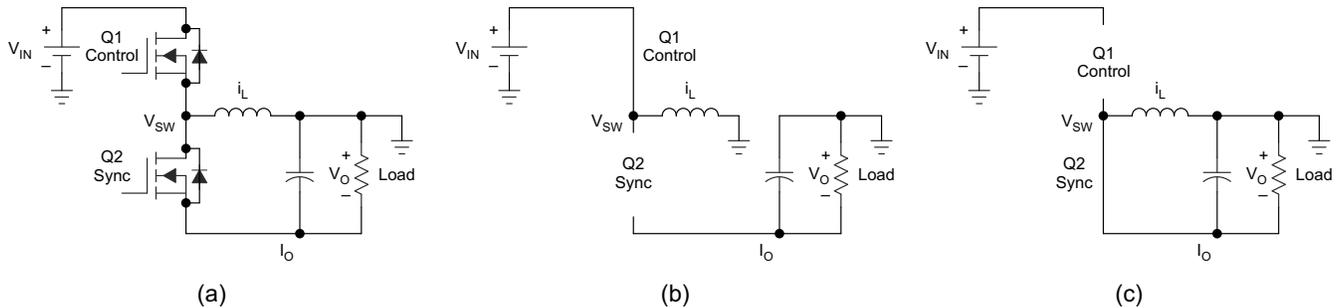


图 1-3. 降压/升压配置

## 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 1-3）。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：

$$D = \frac{V_{OUT}}{V_{OUT} - V_{IN}} \times \frac{1}{\eta} \quad (2)$$

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：

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

其中：

- $\Delta I_L$  (A)：电感器纹波电流峰峰值
- $D$ ：占空比
- $\eta$ ：效率
- $f_S$  (MHz)：开关频率
- $L$  ( $\mu$ 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:

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

例如, 对于 -3.3V 的输出电压、2.2 μH 的电感器和 12V 的输入电压, 以下计算得出基于 TPS62150 的最小电流限值 (1.4A) 可以确保最大允许输出电流。效率项估计为 85%。

$$D = \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN}}} \times \frac{1}{\eta} = \frac{-3.3}{-3.3 - 12} \times \frac{1}{0.85} = 0.254 \quad (5)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{\text{IN}} \times D}{f_s \times L} = \frac{12 \times (0.254)}{2.5\text{MHz} \times 2.2\mu\text{H}} = 554\text{mA} \quad (6)$$

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

$$I_{L(\text{avg})} = I_{L(\text{max})} - \frac{\Delta I_L}{2} = 1.4 - \frac{0.554}{2} = 1123\text{mA} \quad (7)$$

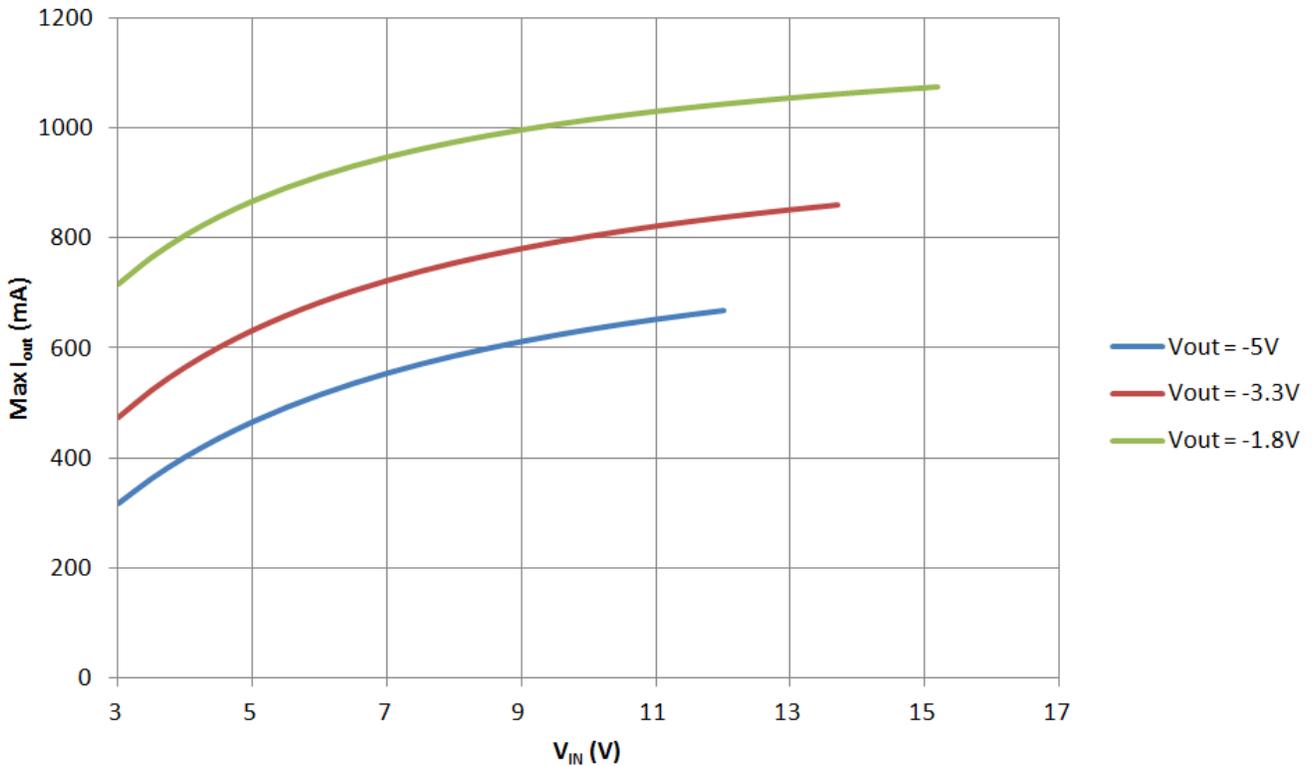
然后在方程式 1 中使用该结果来计算可实现的最大输出电流:

$$I_{\text{OUT}} = I_{L(\text{avg})} \times (1 - D) = 1123\text{mA} \times (1 - 0.254) = 838\text{mA} \quad (8)$$

表 1-1 提供了几个根据不同输出电压 (-1.8V、-3.3V 和 -5V) 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 2.5MHz 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, 而使用低频设置会降低可用的输出电流。由于平均电感器电流高于典型降压型拓扑, 所以 TPS62150 在反相降压/升压拓扑中的最大输出电流通常低于 1000mA。图 1-4 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  $V_{\text{IN}}$  和  $V_{\text{OUT}}$  值的最大输出电流计算

$f_s$ (MHz)	2.5	2.5	2.5
$V_{\text{OUT}}$ (V)	-5	-3.3	-1.8
$L$ (μH)	2.2	2.2	2.2
$V_{\text{IN}}$ (V)	12	12	12
$I_{L(\text{max})}$ (A)	1.4	1.4	1.4
$\eta$	0.85	0.85	0.85
$D$	0.346	0.254	0.153
$\Delta I_L$ (mA)	755	554	335
$I_{L(\text{avg})}$ (mA)	1023	1123	1233
$I_{\text{OUT}}$ (mA)	669	838	1043

图 1-4. 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, TPS6215x 的输入电压范围为 3V 至  $17V + V_{OUT}$ , 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。反相降压/升压拓扑的输出电压应设置在 -0.9 V 和 -6 V 之间。设置方法与降压配置中相同, 两个电阻器连接到 FB 引脚。

## 2 设计注意事项

### 2.1 设计注意事项

将任何 TPS6213x/4x/5x/6x/7x 转换器用于反相降压/升压应用时，VIN 和 EN 引脚直接连接在一起会存在风险。

反相降压/升压通常用于为差分电源轨的负极侧供电。如果首先将正电源轨施加到该差分电源轨上，会激活下游器件，其 Iq 会在负电源轨上充入正预偏置电压。输入欠压和快速下电上电等其他情况也可能使负电源轨预偏置并导致启动问题。在 VIN/EN 连接在一起并且反相降压/升压输出端具有正预偏置的情况下，器件可能会在有时间初始化内部电路之前启用，这可能会导致意外启动行为或器件卡滞。确保在 VIN 上电后置位 EN 引脚，将会可靠地消除此问题。

可以通过三种权变措施来避免此问题：

第一项建议是调整系统上电序列，防止负电源轨上意外累积电压。这意味着要先启用负电源轨，使其能够正确启动，然后再启用正电源轨。通过这种方式调整上电序列，将确保反相降压/升压转换器可正确启动。

如果应用依赖的器件需通过 VIN 启用，则需要使用 RC 滤波器在 VIN 和 EN 引脚之间添加延迟。这样可确保器件在启用之前有足够的时间初始化内部电路，然后才开始调节输出。100kΩ 和 1μF RC 滤波器可在 VIN 和 EN 引脚之间提供必要的延迟，用于器件初始化。可以通过两种选项修改此原理图。一种选项使用串联电阻限制流入 EN 引脚的电流（图 2-1），另一种选项使用肖特基二极管钳制 EN 引脚（图 2-2）。使用肖特基二极管选项时，应选择小于 0.3V 的正向压降，这样器件才不会超过 EN 引脚的绝对最大额定值。

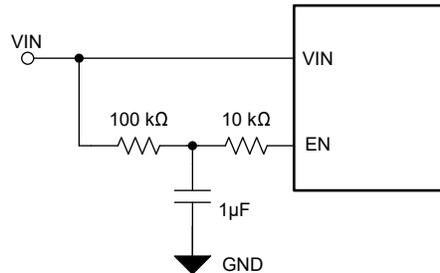


图 2-1. 使用 RC 滤波器和串联电阻的 EN 引脚延迟

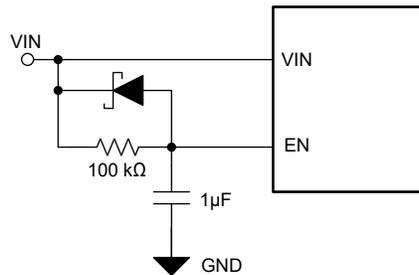


图 2-2. 使用 RC 滤波器和肖特基二极管的 EN 引脚延迟

最后，如果应用需要利用外部控制信号（如微控制器或上游器件的 PG 引脚）来启用和禁用器件，那么电源序列的顺序就很重要。在上电期间，必须在 EN 信号之前施加 VIN；在下电期间，EN 引脚应在移除 VIN 之前变为低电平。这样可确保 EN 引脚不会超过 VIN + 0.3V 的最大额定值，因而不会损坏器件。有关数字输入电平转换的更多信息，请参阅图 2-4。

### 2.2 额外的输入电容器

需要一个额外的输入电容器 C<sub>BYP</sub> 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<sub>IN</sub> 的补充，连接在 V<sub>IN</sub> 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 10 μF。

作为副作用，C<sub>BYP</sub> 电容器提供了从 V<sub>IN</sub> 到 V<sub>OUT</sub> 的交流路径。当 V<sub>IN</sub> 施加到电路时，从 V<sub>IN</sub> 到 V<sub>OUT</sub> 的电容上的这个 dV/dt 会产生一个必须返回到地的电流（输入电源回路），才能完成其循环。该电流可能流过内部低侧 MOSFET 的体二极管和电感器返回到地。流经体二极管会将 SW 引脚和 VOS 引脚拉到 IC 接地以下 0.3V 以上，违反了它们的绝对最大额定值。这种情况可能会损坏器件，因此不建议这样做。因此，输出端应安装一个肖特基

二极管，如图 2-3 所述。应进行启动测试，以确保在施加  $V_{IN}$  后，VOS 引脚的驱动电压不会低于 IC 接地 0.3V 以上。

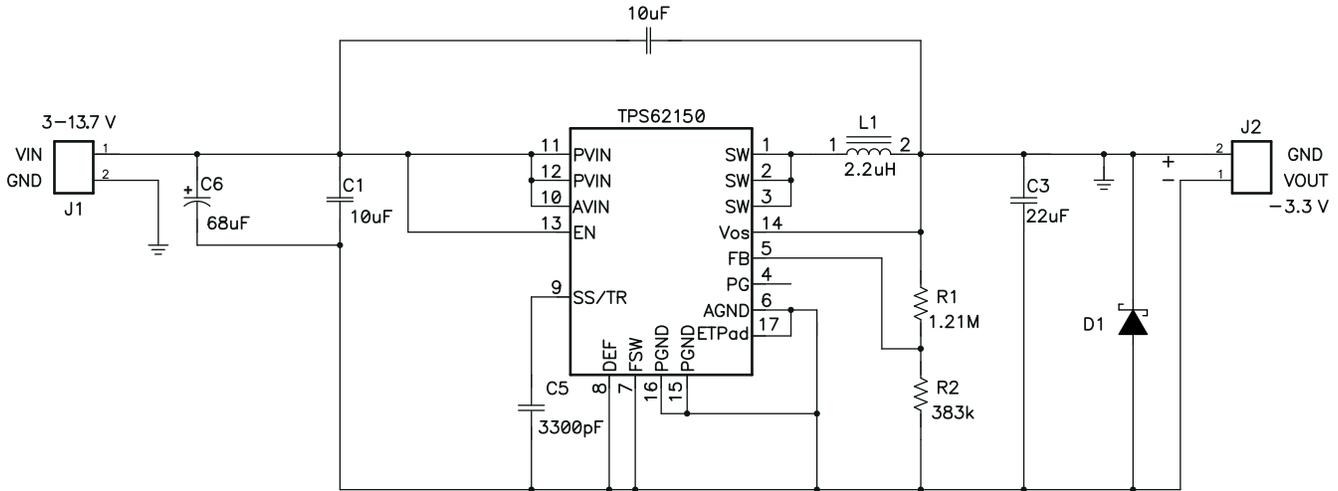


图 2-3. 具有肖特基 D1 的 TPS62150 反相降压/升压原理图

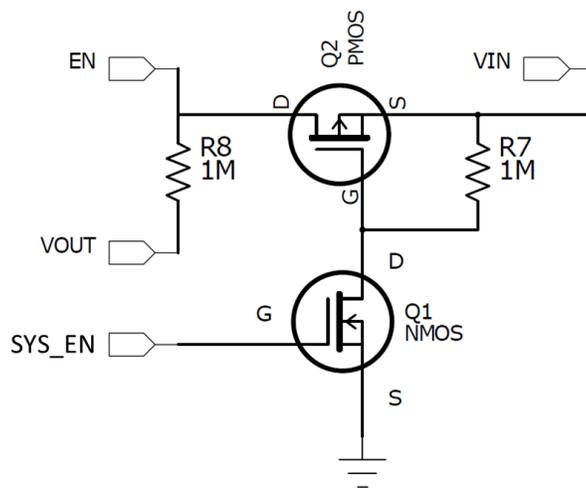
通过  $C_{BYP}$  的交流路径也可能使线路瞬态响应恶化。如果预计出现强线路瞬变，则应增大输出电容，以在线路瞬变期间将输出电压保持在可接受的水平内。

## 2.3 数字引脚配置

### 2.3.1 数字输入引脚 (EN、FSW、DEF)

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典型阈值电压为 0.9V (被视为高电平) 和 0.3V (被视为低电平) (请参阅 TPS62130、TPS62140、TPS62150、TPS62160 和 TPS62170 产品数据表，以及参考文献 2 至参考文献 6)。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  $0.9V + V_{OUT}$ ，低阈值为  $0.3V + V_{OUT}$ 。例如，如果  $V_{OUT} = -3.3V$ ， $V_{EN}$  在高于  $-2.4V$  的电压下被视为高电平，在低于  $-3V$  的电压下被视为低电平。DEF 和 FSW 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 可能无法产生负电压。图 2-4 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。



$V_{OUT}$  是反相降压/升压转换器的负输出电压

图 2-4. 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 grounded) 时, Q2 在其  $V_{GS}$  上看到 0V, 并且也保持关闭。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  $V_{GS}$  最小值) 时, Q2 的栅极通过 Q1 被拉低。这会将 Q2 的  $V_{GS}$  驱动为负, 并打开 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  $V_{GD}$  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 2-5 和图 2-6 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  $V_{IN}$  变为  $-V_{OUT}$ , 从而正确启用和禁用器件。该设计采用了一个有源放电电路, 来在 IC 被禁用时将  $V_{OUT}$  加速恢复到 0V。

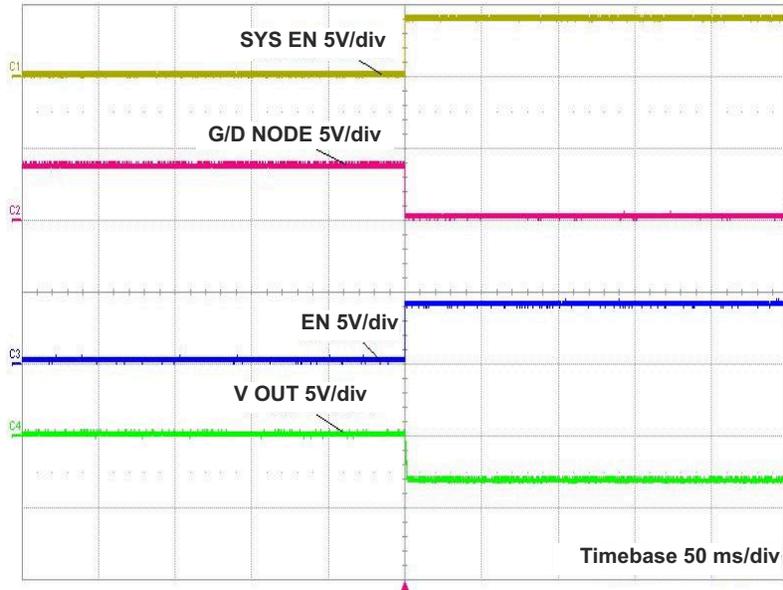


图 2-5. 启动时的 EN 引脚电平转换器

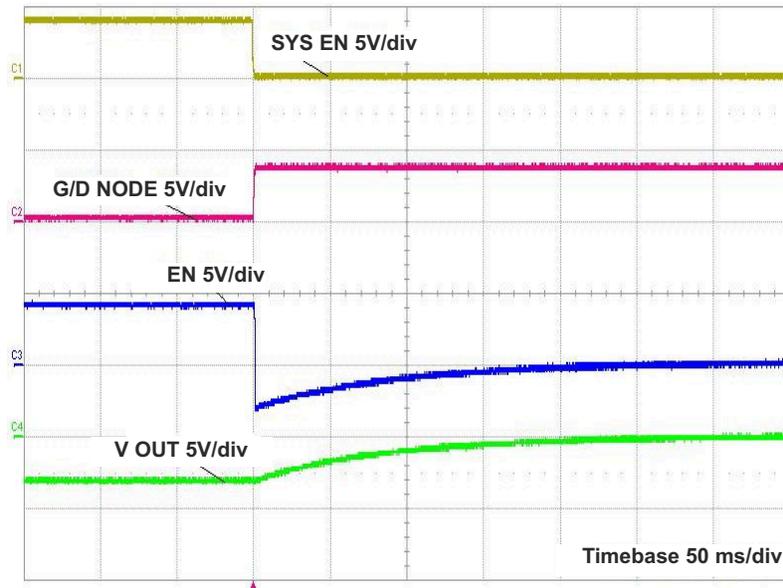


图 2-6. 关断时的 EN 引脚电平转换器

### 2.3.2 电源正常引脚

这些器件均具有内置电源正常 (PG) 功能，可指示输出电压是否已达到适当水平。PG 引脚是开漏输出，需要使用一个上拉电阻器。因为  $V_{OUT}$  在此配置中是 IC 接地，所以 PG 引脚以  $V_{OUT}$  而非接地为基准，这意味着该器件在 PG 为低电平时会将其拉至  $V_{OUT}$ 。

这种行为可能会导致难以读取 PG 引脚的状态，因为在某些应用中，检测 PG 引脚极性的 IC 可能无法承受负电压。图 2-7 所示的电平转换器电路通过消除 PG 引脚的负输出信号，减少了与失调 PG 引脚电压相关的任何麻烦。如果不需要 PG 引脚功能，则可以在没有此电路的情况下将其悬空或连接到  $V_{OUT}$ 。请注意，为避免违反其绝对最大额定值，PG 引脚的驱动电压不应超过负输出电压 (IC 接地) 7 V 以上。

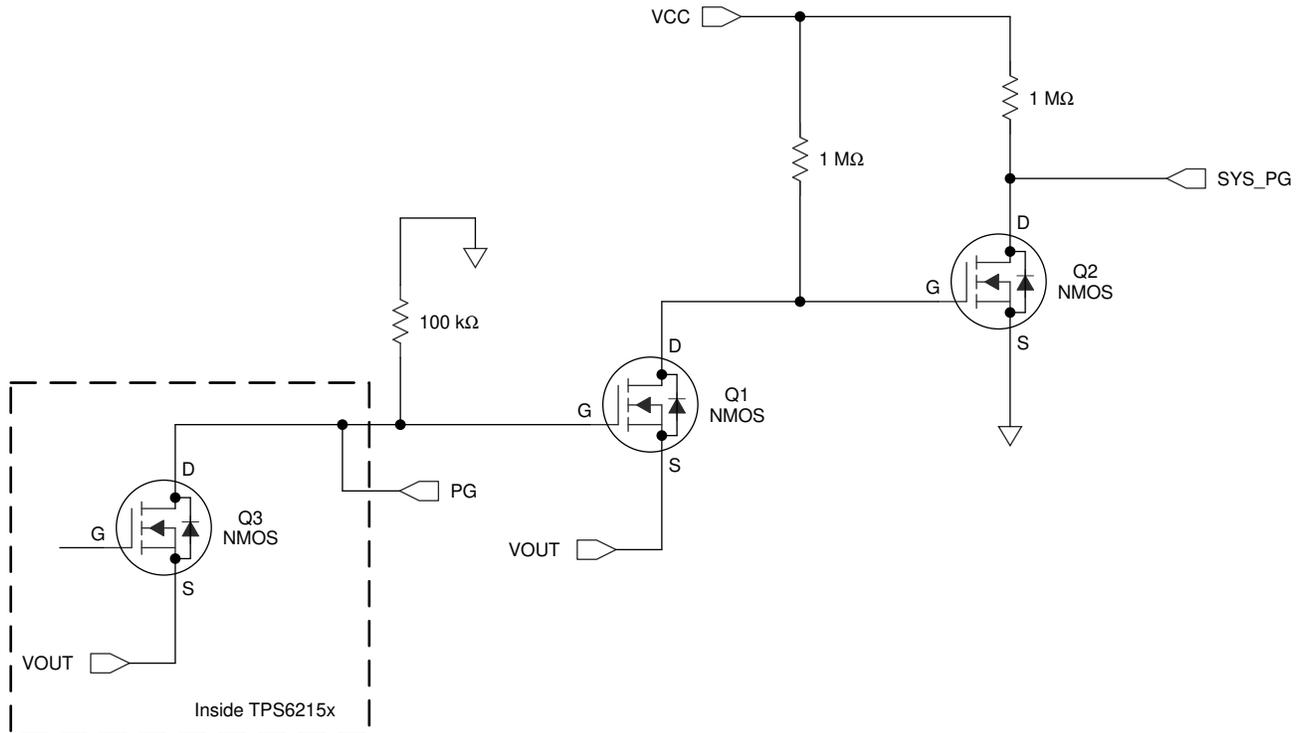


图 2-7. PG 引脚电平转换器

在这些器件内部，PG 引脚连接到 N 沟道 MOSFET (Q3)。通过将 PG 引脚连接到 Q1 的栅极，当 PG 引脚被拉低时，Q1 关闭而 Q2 开启，因为它的  $V_{GS}$  看到  $V_{CC}$ 。然后 SYS\_PG 被拉至地。

当 Q3 关断时，Q1 的栅极被拉至地电位，将其导通。这会将 Q2 的栅极拉至地下，将其关闭。然后，SYS\_PG 被上拉到  $V_{CC}$  电压。请注意，对于连接到 SYS\_PG 网络的电路， $V_{CC}$  电压必须处于适当的逻辑电平。

图 2-8 和图 2-9 中说明了此 PG 引脚电平转换器序列。PG 信号激活 PG 引脚电平转换器电路，GD 节点信号表示 Q1 和 Q2 之间的共享节点。该电路使用 1.8V 的  $V_{CC}$  和双 NFET Si1902DL 进行了测试。SYS\_PG 网络是电路的输出，在接地和 1.8V 之间，可由单独的器件轻松读取。

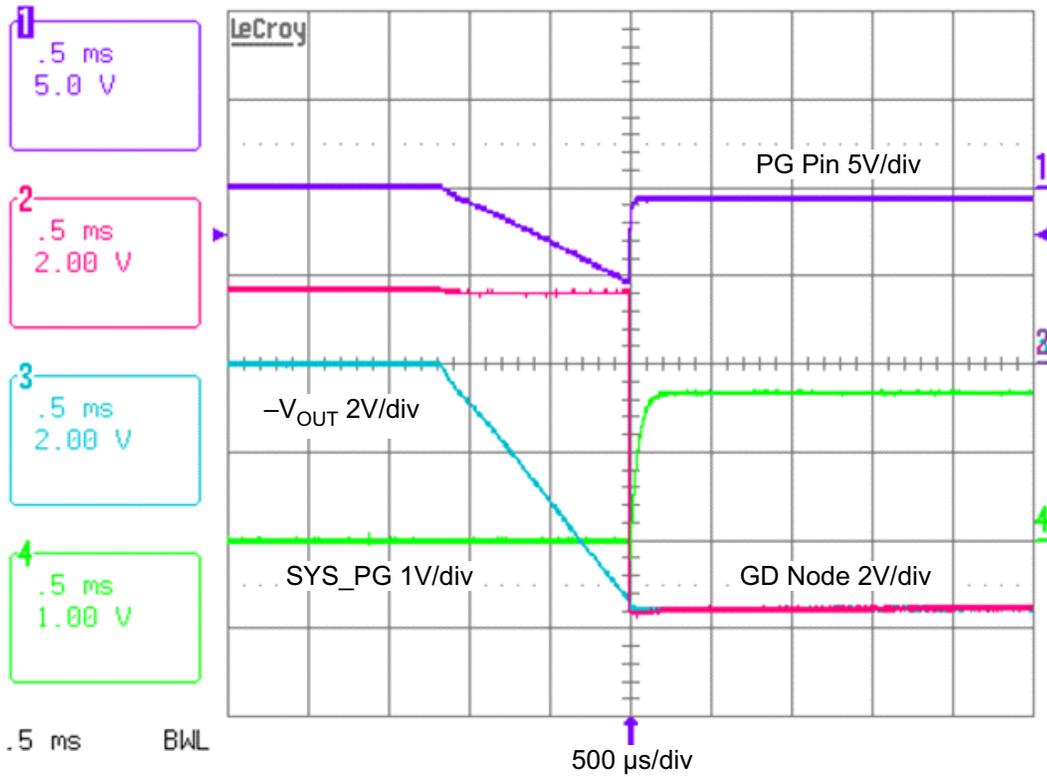


图 2-8. 启动时的 PG 引脚电平转换器

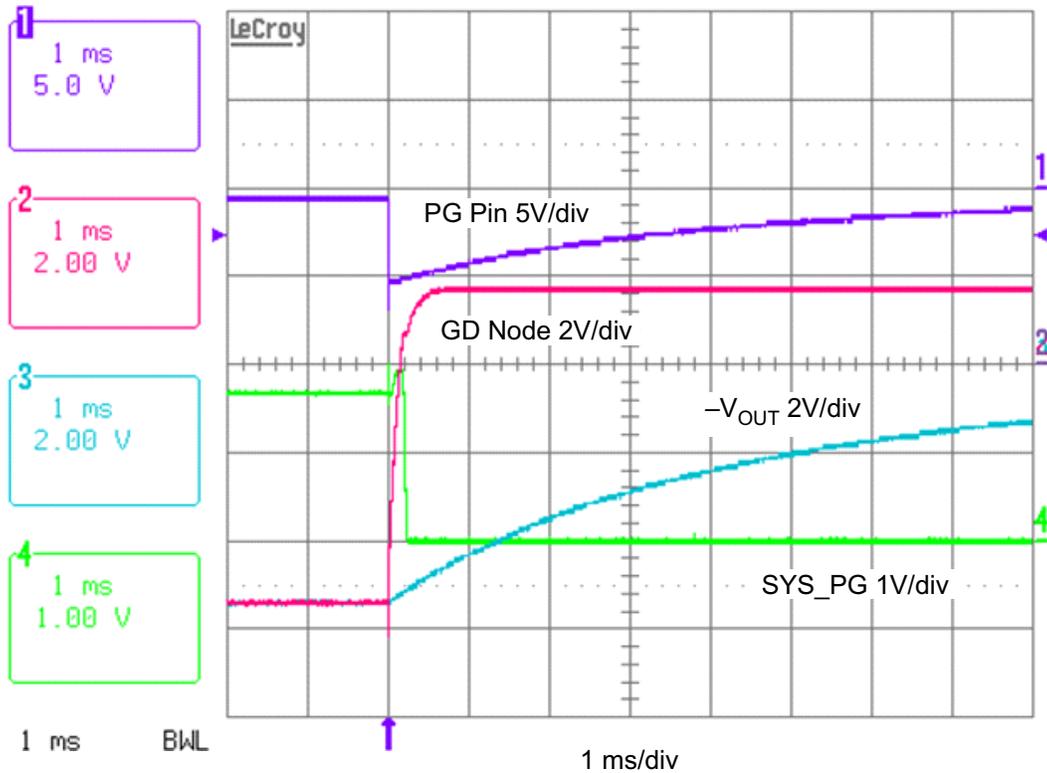


图 2-9. 关断时的 PG 引脚电平转换器

## 2.4 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  $V_{IN}$  切换到  $V_{OUT}$ ，而不是从  $V_{IN}$  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， $V_{IN}$  会上升以达到所需的输入电压。在 EN 引脚电压超过其阈值电平且  $V_{IN}$  超过其 UVLO 阈值后， $V_{OUT}$  开始斜降。随着  $V_{OUT}$  继续斜降，SW 节点低电平随之下降。图 2-10 展示了输出电压产生的正常平滑启动。

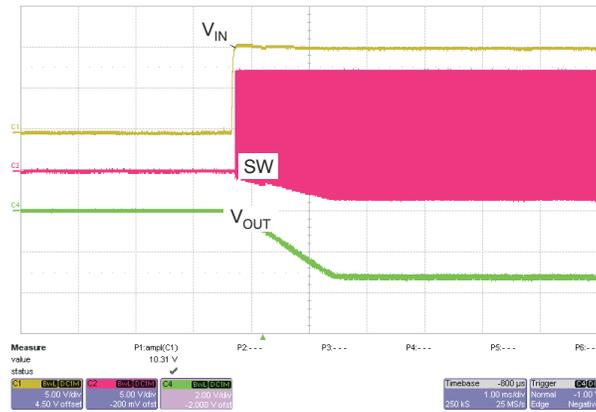


图 2-10. 启动期间的 SW 节点电压

### 3 外部组件选择

电感器和输出电容器必须根据应用需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。应执行负载瞬态测试以评估稳定性。图 4-9 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 电感器选择

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 TPS62150 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。 $I_{L(Max)}$  应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能出现峰值电流。对于反相降压/升压拓扑，建议的最小电感为 2.2  $\mu H$ 。如果需要更高效的半频运行 ( $FSW =$  高电平)，则建议使用最小 3.3  $\mu H$  的电感器。FSW 引脚应接地，以便将其设置为逻辑高电平。

#### 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 中所示的参考设计用于生成本节所示的典型特性图，如图 4-2 至图 4-10 中所示。

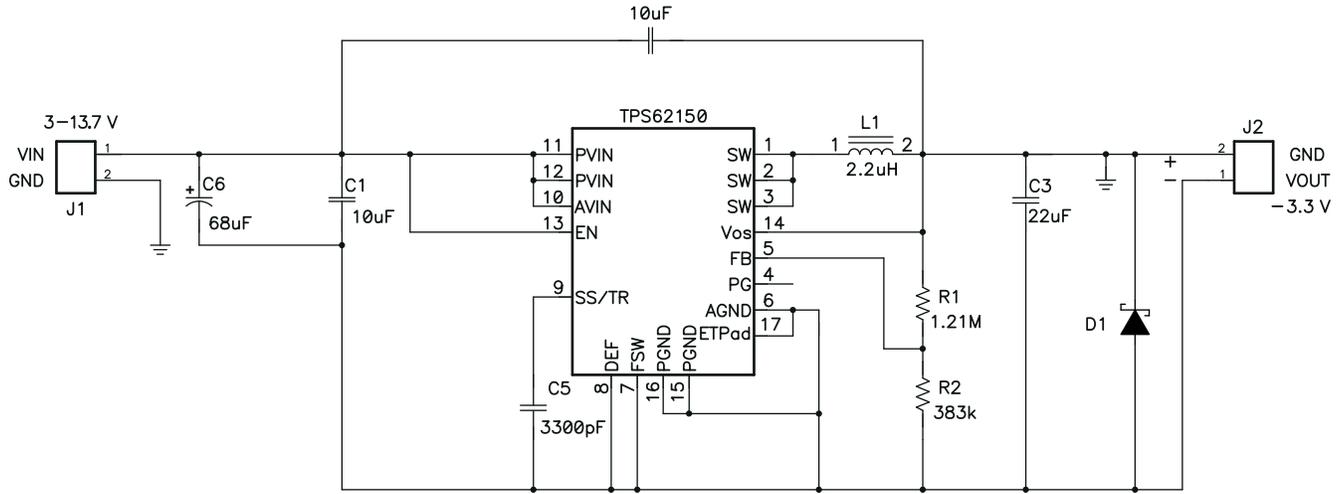


图 4-1. 测试电路的原理图

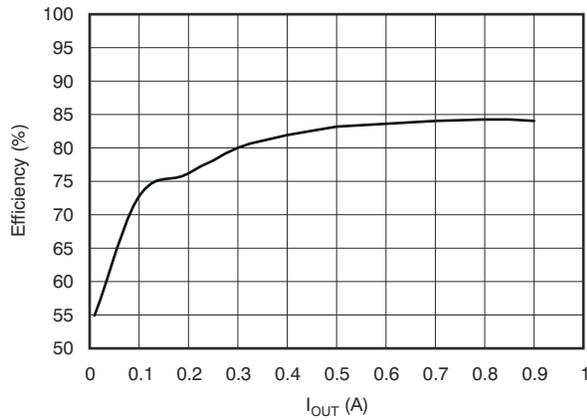


图 4-2. 效率与负载电流间的关系 (V<sub>IN</sub> = 12V)

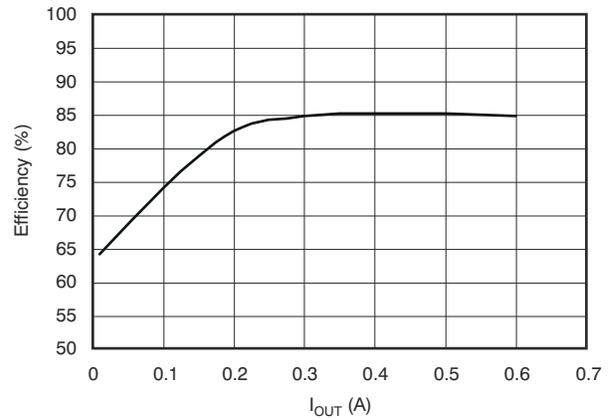


图 4-3. 效率与负载电流间的关系 (V<sub>IN</sub> = 5V)

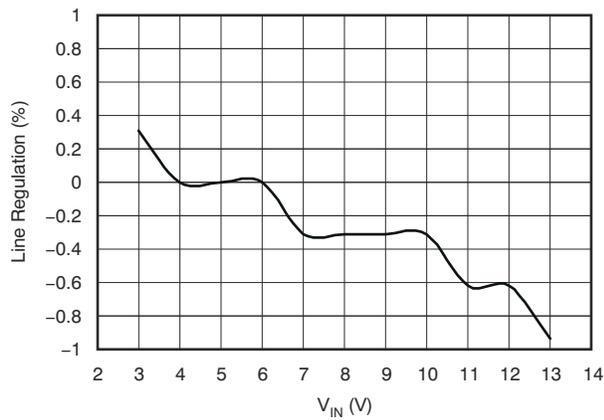


图 4-4. 500mA 负载下的线路调节

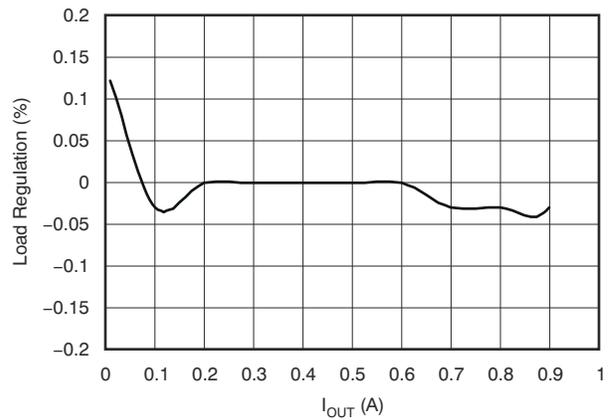


图 4-5. 负载调节 (V<sub>IN</sub> = 12V)

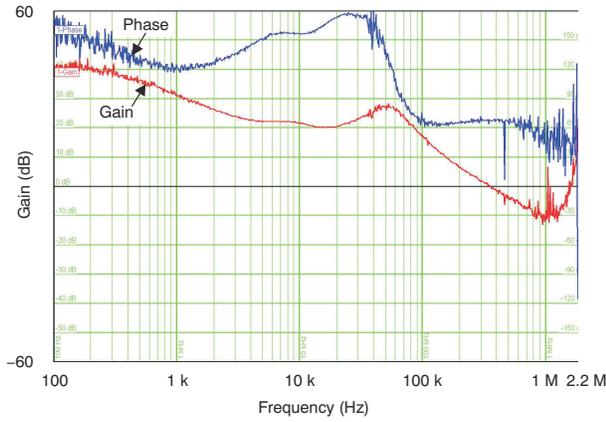


图 4-6.  $V_{IN} = 12V$  且负载为  $500mA$  时的波特图

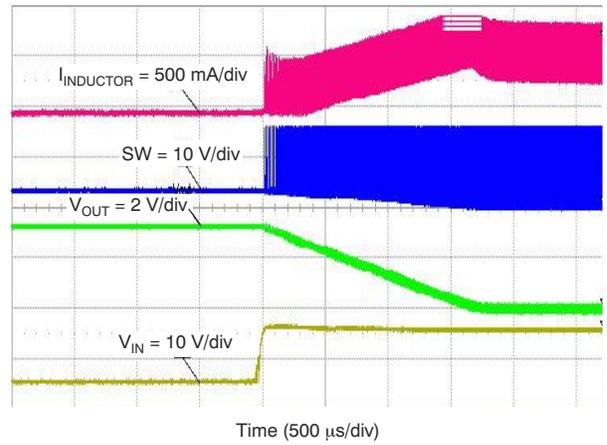


图 4-7. 在  $160mA$  负载条件下通过  $V_{IN}$  启动

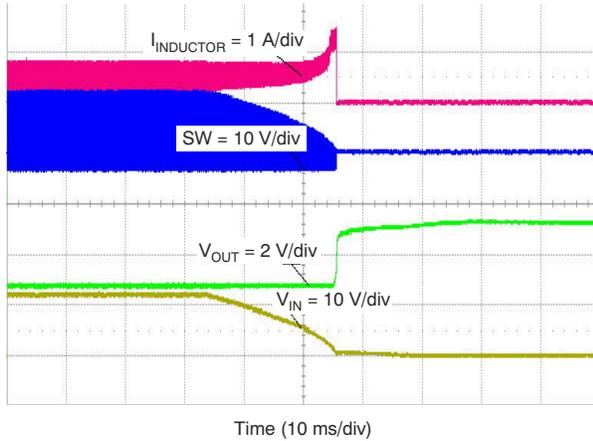


图 4-8. 在  $500mA$  负载条件下通过  $V_{IN}$  关断

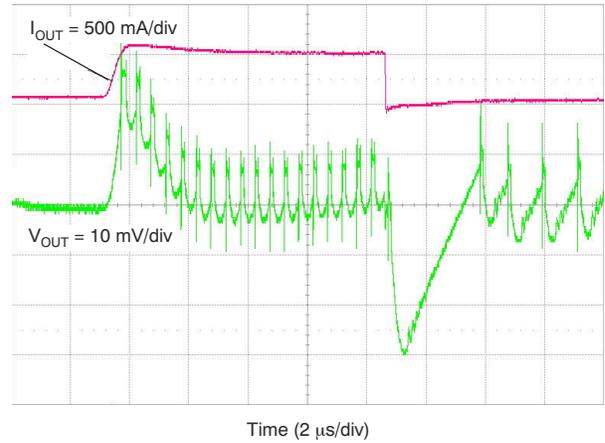


图 4-9.  $V_{IN} = 12V$  时负载瞬态响应为  $0mA$  至  $500mA$

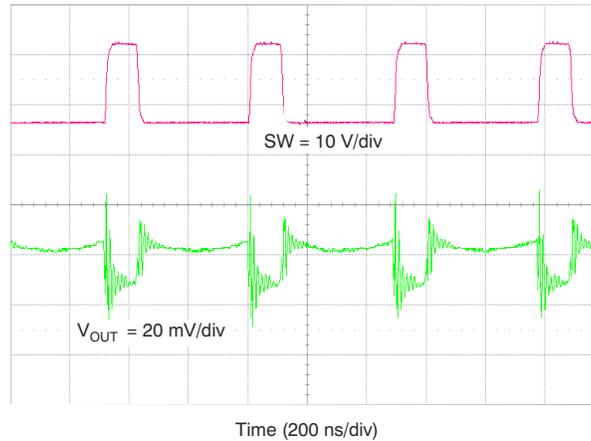


图 4-10.  $V_{IN}$  为  $12V$  且  $I_{OUT}$  为  $500mA$  时的输出电压纹波

## 5 结论

TPS6215x 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。它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 TPS6213x/4x/5x/6x/7x 系列中的任何器件。

## 6 参考文献

以下文档可从 [TI 网站](#) 下载：

1. Daniels, David G. (2009). *利用降压稳压器创建逆变电源*。应用报告 [SLVA317](#)。
2. [TPS62130](#) 产品数据表。文献编号 [SLVSAG7](#)。
3. [TPS62140](#) 产品数据表。文献编号 [SLVSAJ0](#)。
4. [TPS62150](#) 产品数据表。文献编号 [SLVSAL5](#)。
5. [TPS62160](#) 产品数据表。文献编号 [SLVSAM2](#)。
6. [TPS62170](#) 产品数据表。文献编号 [SLVSAT8](#)。
7. Tucker, J. (2007). *在反相降压/升压拓扑中使用降压转换器*。技术简报 [SLYT286](#)。
8. Tucker, J. (2007). *将 TPS5430 用作反向降压升压转换器*。应用报告 [SLVA257](#)。
9. DCS-Control™ 登录页面：[www.ti.com/dcs-control](http://www.ti.com/dcs-control)

## 7 修订历史记录

<b>Changes from Revision C (June 2013) to Revision D (January 2023)</b>	<b>Page</b>
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 添加了 <i>设计注意事项</i> 部分.....	7

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司