

Application Note

将 TPSM636xx 用于反相降压/升压应用



Rahil Ajani, Clay Corippo

摘要

TPSM63610 是一款 $6.5\text{mm} \times 7.5\text{mm}^2$ 、额定电流为 8A 的同步降压电源模块，具有 3V 至 36V 的宽工作输入电压范围和 1V 至 20V 的可调输出电压范围。本应用报告说明了如何将 TPSM63610 的传统评估板配置为反相降压/升压 (IBB) 应用以产生负输出电压。本应用手册还提供了在 IBB 拓扑中利用电源模块的辅助功能所需的典型电平转换器电路。请注意，TPSM63608 是与 TPSM63610 兼容的 6A 额定引脚对引脚器件。本文讨论的所有要点都可以应用于 TPSM63608。有关反相降压/升压转换的更多信息，请参阅 [使用反相降压/升压转换器](#) 应用手册。

内容

1 反相降压/升压拓扑.....	2
1.1 概念.....	2
1.2 反相配置中的 V_{IN} 和 V_{OUT} 范围.....	2
1.3 输出电流计算.....	2
2 设计注意事项.....	5
2.1 附加旁路电容器和肖特基二极管.....	5
2.2 启动行为和开关节点注意事项.....	6
3 外部组件.....	7
3.1 电容器选型.....	7
3.2 系统环路稳定性.....	7
3.3 UVLO.....	7
4 典型性能.....	8
5 数字引脚配置.....	9
5.1 数字输入引脚 (EN).....	9
5.2 电源正常引脚.....	9
6 总结.....	10
7 参考资料.....	10

插图清单

图 1-1. 从降压转换为反相降压/升压拓扑.....	2
图 1-2. TPSM63610 的建议最大输出电流.....	3
图 1-3. TPSM63608 的建议最大输出电流.....	4
图 2-1. TPSM63610 反相降压/升压原理图.....	5
图 2-2. 启动期间的典型 SW 节点特征.....	6
图 4-1. 效率.....	8
图 4-2. 典型 5V 输出稳压.....	8
图 4-3. 在 -12V _{out} 时以 3A 负载启动.....	8
图 4-4. 在 -12V _{out} 时以 3A 负载关断.....	8
图 4-5. 在 -12V _{out} 时具有 2.5A 至 5A 负载阶跃的负载瞬态.....	8
图 4-6. 在 -12V _{out} 时具有 3A 负载的输出电压纹波.....	8
图 5-1. EN 引脚电平转换器.....	9
图 5-2. PGOOD 引脚电平转换器.....	9

表格清单

表 1-1. TPSM63610 的最大输出电流计算.....	3
表 1-2. TPSM63608 的最大输出电流计算.....	4

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

请参阅图 1-1，在标准降压配置中，输出电压 (V_{OUT}) 是以接地 (0V) 为基准的正电压。

在 IBB 配置中， SYS_GND 连接到器件 V_{OUT} ，器件返回值现在为负输出电压 ($-V_{OUT}$)。此配置允许输出电压相对于输入电压进行反相。

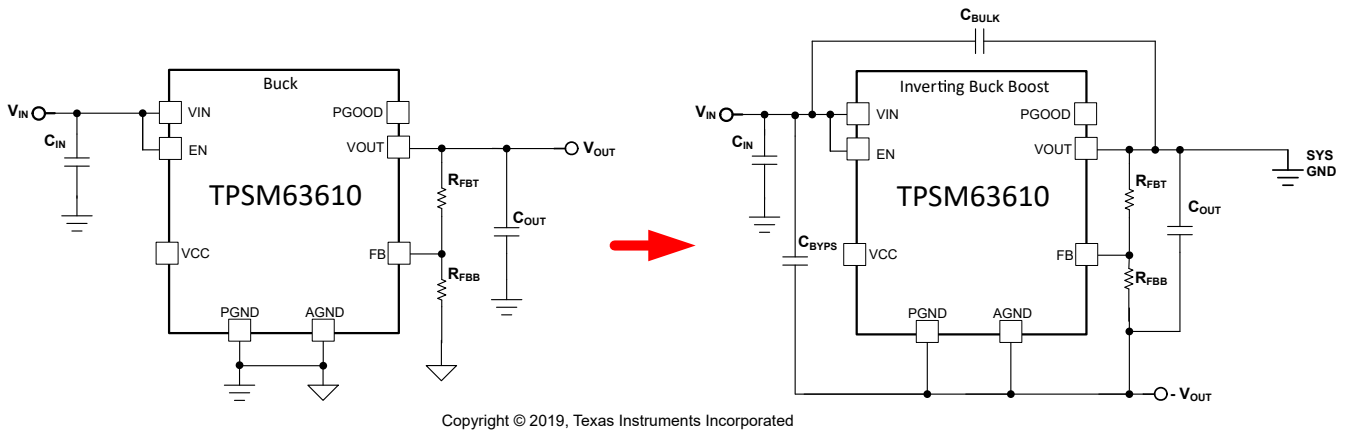


图 1-1. 从降压转换为反相降压/升压拓扑

1.2 反相配置中的 V_{IN} 和 V_{OUT} 范围

当在 IBB 拓扑中配置时，从器件的 V_{IN} 到 GND 的模块两端的输入电压为 V_{IN} 至 $|V_{OUT}|$ ，有效地限制了从 V_{IN} 到接地的输入电压范围。TPSM63610 的输入电压范围为 $3.8V$ 至 $36V + V_{OUT}$ ，其中 V_{OUT} 为负值。例如，对于 $-7V$ 的输出电压，最大输入电压为 $29V$ 。此拓扑中的输出电压范围为 $-1V$ 至 $-7V$ 。

1.3 输出电流计算

通过将降压配置更改为 IBB 配置，平均电感器电流会受到影响。IBB 拓扑中的输出电流能力小于降压配置。可实现的最大电流计算公式如下：

$$I_{OUT} (IBB) = I_{L_max} \times (1 - D) \quad (1)$$

- I_{L_max} 为最大额定电感器电流
- D 为工作占空比

使用方程式 2 可计算反相降压/升压转换器的工作占空比。

$$D = \frac{|V_{OUT}|}{|V_{OUT}| + \eta \cdot V_{IN}} \quad (2)$$

备注

方程式 2 中的 V_{OUT} 用负值表示。

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 70% 的保守值效率来计算占空比。使用方程式 1 和方程式 2 计算建议的最大输出电流。例如，使用 TPSM63610 电源模块的 24V 输入电压、 $-5V$ 输出电压应用可产生 6.2A 的最大输出电流。

表 1-1. TPSM63610 的最大输出电流计算

V _{OUT} (V)	V _{IN} (V)	IL_max	D	I _{OUT} (A)
-1.2	24	8	0.063	7.5
-1.8	24	8	0.093	7.3
-2.5	24	8	0.126	7.0
-3.3	24	8	0.161	6.7
-5	24	8	0.230	6.2

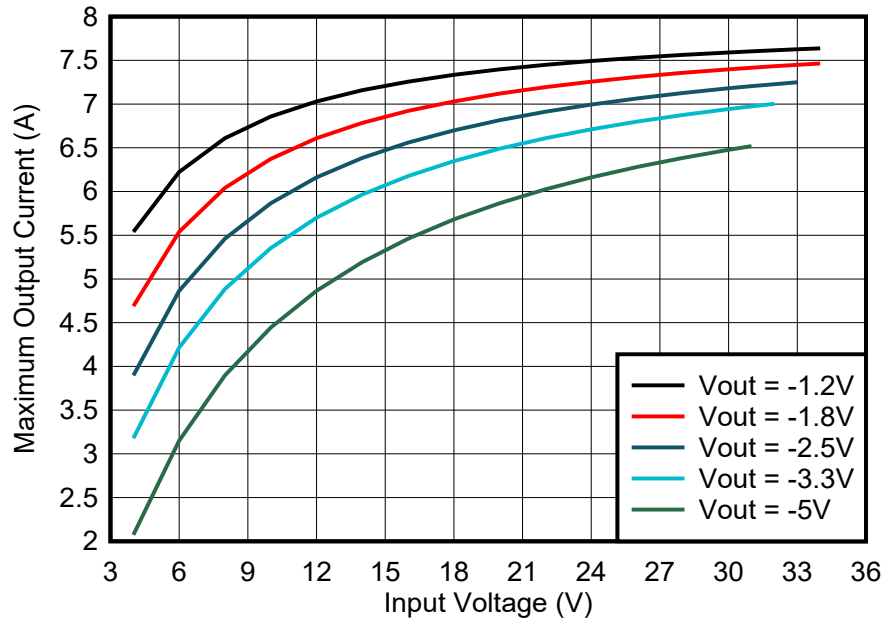


图 1-2. TPSM63610 的建议最大输出电流

表 1-2. TPSM63608 的最大输出电流计算

V_{OUT} (V)	V_{IN} (V)	I_{L_max}	D	I_{OUT} (A)
-1.2	24	6	0.063	5.6
-1.8	24	6	0.093	5.4
-2.5	24	6	0.126	5.2
-3.3	24	6	0.161	5.0
-5	24	6	0.230	4.6

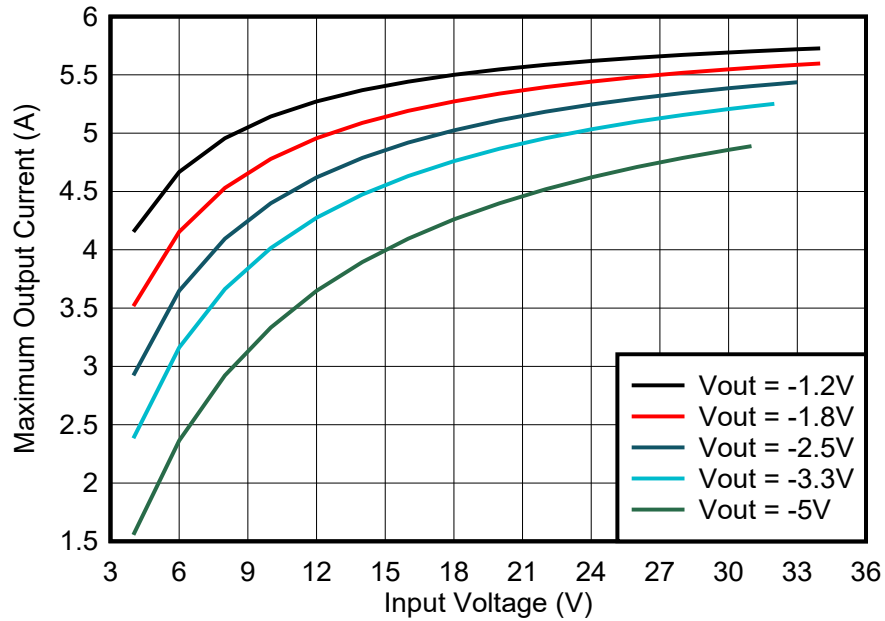


图 1-3. TPSM63608 的建议最大输出电流

2 设计注意事项

2.1 附加旁路电容器和肖特基二极管

如图 2-1 中所示，使用陶瓷旁路电容器 C_{BYP} ，最小电容为 $10 \mu\text{F}$ 。必须考虑额定电压，因为该电容器将承受等于 V_{IN} 和 V_{OUT} 之间的完整电压范围的应力。

为了使系统保持稳定，必须有一个输入电源电容器来帮助抑制可能耦合到电路中的高频噪声。具有中等 ESR 的电解电容器有助于抑制长电源引线引起的任何输入电源振铃。使用 TPSM63610EVM 时，必须在 V_{IN} 和 SYS_GND 之间添加 C_{BULK} 电容器。

考虑到添加 C_{BYP} 电容器会引入从 V_{IN} 到 V_{OUT} 的交流路径，并可能导致瞬态响应恶化。将 V_{IN} 施加到电路时，旁路电容器上的此 dV/dt 会产生一个必须返回接地以完成环路的电流。该电流可能流过 MOSFET 的内部低侧体二极管和电感器，再返回地。对于这种情况，建议在 $-V_{\text{OUT}}$ 和 SYS_GND 之间放置一个肖特基二极管。如果预计会出现较大的线路瞬变，请增大输出电容以使输出电压保持在可接受的电平范围内。

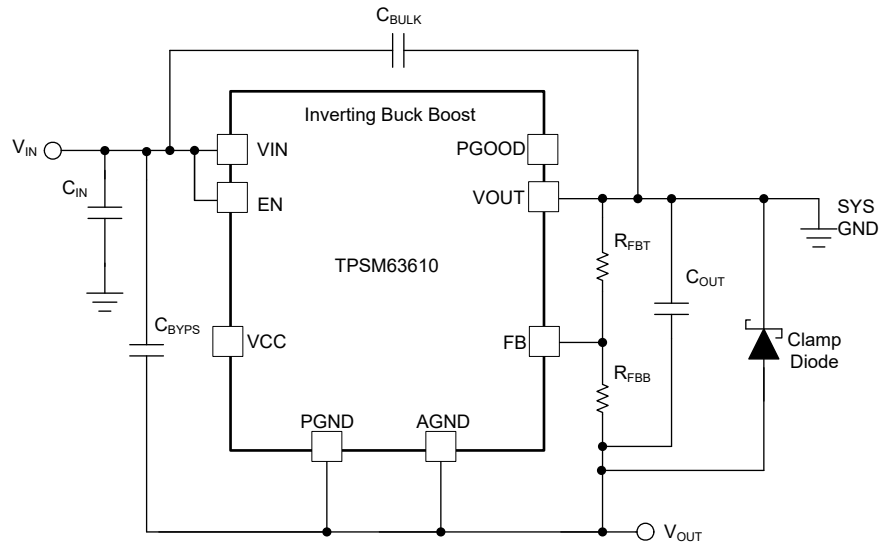


图 2-1. TPSM63610 反相降压/升压原理图

2.2 启动行为和开关节点注意事项

SW 引脚上的电压在反相拓扑中从 V_{IN} 切换到 V_{OUT} ，而不是在降压拓扑中从 V_{IN} 切换到 GND。当高侧 MOSFET 导通时，SW 节点会被上拉至输入电压。当低侧 MOSFET 导通时，SW 节点被拉至 $-V_{OUT}$ 。在 EN 引脚电压超过其阈值电平并且 V_{IN} 超过其 UVLO 阈值之后，输出电压开始变为负值。由于 V_{OUT} 继续为负值，因此，SW 节点会跟踪负输出电压。图 2-2 展示了输出电压产生的正常平滑启动。

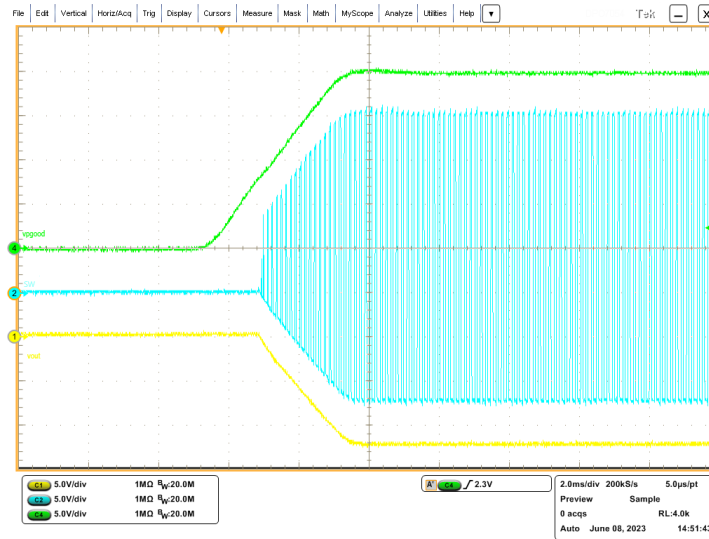


图 2-2. 启动期间的典型 SW 节点特征

3 外部组件

TPSM63610 是一款电源模块，在紧凑的解决方案中集成了 36V 降压转换器、功率 MOSFET 和屏蔽式电感器。因此，在降压应用中使用此电源模块只需四个外部元件。要配置从降压到 IBB 的拓扑结构，需要两个附加元件（钳位二极管和 C_{BYP} ），无源器件总数为 6 个。

3.1 电容器选型

为了实现低输出电压纹波，建议使用等效串联电阻 (ESR) 较低的陶瓷电容器。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和直流偏置。施加到电容器上的直流电压越高，有效电容就越小。对于 C_{BYP} 和 C_{IN} ，使用至少 $10 \mu F$ 的电容。

3.2 系统环路稳定性

当增加更多的输出电容时，稳定性是系统中的一个重要因素。稳定设计的一般经验法则是在 0dB 环路增益下实现至少 45° 或更大的所需相位裕度 (PM)。在极端条件下，向系统添加过多的输出电容可能会导致带宽降低和瞬态响应变慢。表 3-1 展示了每个输出电压选择的 PM，该 PM 是从使用默认物料清单（可在 [TPSM63610 36V、8A 降压稳压器评估模块用户指南](#) 中找到）为反相降压/升压应用而修改的 TPSM63610EVM 测量的。对于其他应用条件，建议使用频率分析仪设计和验证适当的稳定性，请参阅 [使用反相降压/升压转换器](#) 应用手册（图 4-2），以了解相关设置。

表 3-1. IBB TPSM63610 在 3A 负载电流下的相位裕度

V_{IN} (V)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	F_{cross} (kHz)	PM ($^\circ$)
10	-5	4	38.1	77.9
12	-5	4	37.4	77
16	-5	4	38.9	74.9
24	-5	4	37.4	72.1
28	-5	4	37.4	69.4

3.3 UVLO

EN 引脚可用于通过两个电阻 (R_{ENT} 和 R_{ENB}) 设置输入欠压锁定 (UVLO)。请注意，由于返回路径现在为 $-V_{OUT}$ ，因此下降阈值向下移动 $-V_{OUT}$ 。如果需要配置上升和下降输入电压阈值，请参阅 [使用反相降压/升压转换器](#) 应用手册（图 7-1）。确保 EN 引脚没有悬空。

4 典型性能

除非另有说明，以下条件适用： $V_{IN} = 24V$ ， $T_A = 25^{\circ}C$ 。

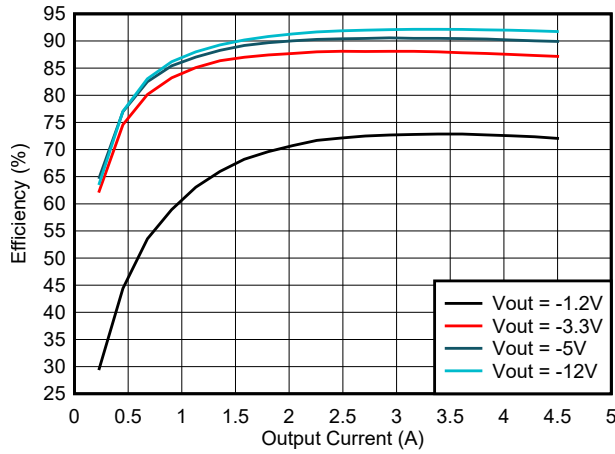


图 4-1. 效率

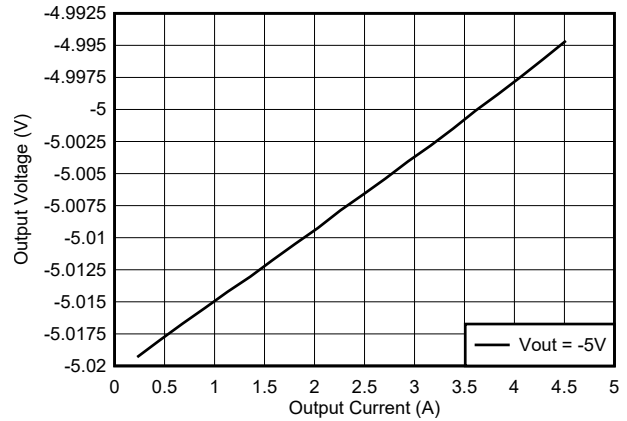


图 4-2. 典型 5V 输出稳压

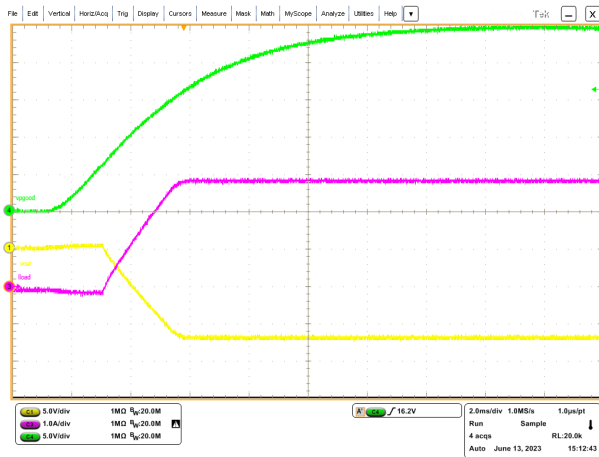


图 4-3. 在 -12Vout 时以 3A 负载启动

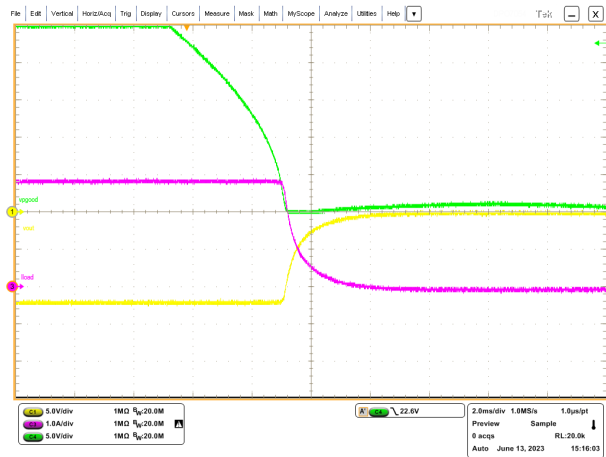


图 4-4. 在 -12Vout 时以 3A 负载关断



图 4-5. 在 -12Vout 时具有 2.5A 至 5A 负载阶跃的负载瞬态

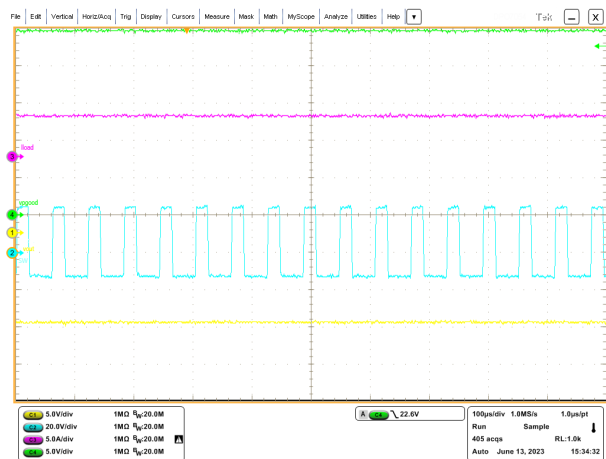


图 4-6. 在 -12Vout 时具有 3A 负载的输出电压纹波

5 数字引脚配置

IBB 拓扑中的系统返回路径浮动在负输出电压上。如果需要 PGOOD 或 EN 切换等功能，曾经在降压配置中以地为参考的控制信号现在必须电平转换至系统返回路径。下一部分讨论使用这些功能所需的外部电平转换电路。

5.1 数字输入引脚 (EN)

如果在 IBB 拓扑中需要控制使能功能，则需要电平转换器，因为提供 EN 信号的 IC 可能不参考 IBB 的负输出电压。图 5-1 是一个典型的电平转换电路。根据 TPSM63610 数据表的绝对最大额定值部分，确保不违反 EN 引脚的绝对最大额定值。为了实现稳健的设计，请使用齐纳钳位来抑制 V_{IN} 和 $|V_{OUT}|$ 之间的电压瞬态，该电压瞬态可能超过 EN 引脚的绝对最大额定值。

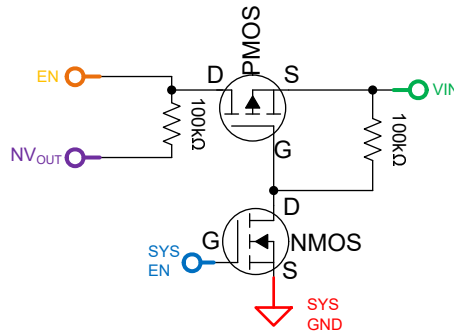


图 5-1. EN 引脚电平转换器

5.2 电源正常引脚

TPSM63610 具有内置电源正常 (PGOOD) 功能，可指示输出电压是否已达到适当水平。PGOOD 引脚是开漏输出，需要使用一个上拉电阻器。由于负 V_{OUT} 是此配置中的 IC 返回值，因此 PGOOD 引脚参考负 V_{OUT} 而不是接地，这不会提供需要参考接地的适当系统电压电平。这意味着当 PGOOD 为低电平时，该器件会将其拉至 V_{OUT} 。

这可能会导致难以读取 PGOOD 引脚的状态，因为在某些应用中，检测 PGOOD 引脚极性的 IC 可能无法承受负电压。电平转换器电路（如图 5-2 中所示）可确保以地为基准的正确系统电压信号。对于连接到“SYS PG”网络的电路，VCC 电压必须处于适当的逻辑电平。

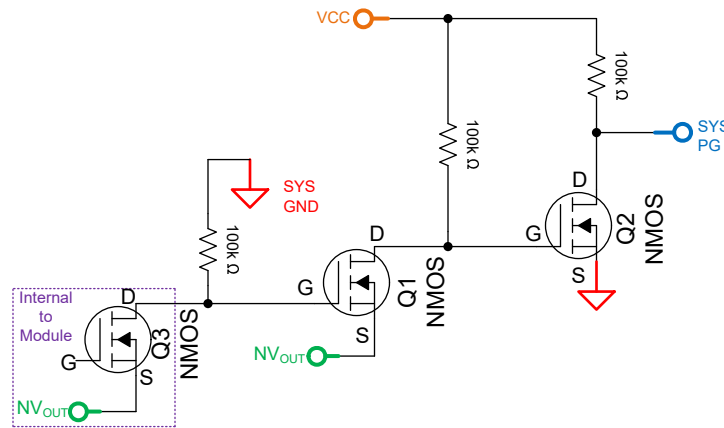


图 5-2. PGOOD 引脚电平转换器

6 总结

可在 IBB 拓扑中配置 TPSM63610 降压电源模块，以生成负输出电压。输入电压范围会降低，因为该器件现在将基准点设置为负输出电压。此外，电感器峰值电流要高得多，从而有效地降低了建议最大输出电流工作范围。将原始降压拓扑转换为 IBB 拓扑将导致输入电压范围减小和输出电流能力降低。需要额外的电平转换电路来确保 EN 和 PGOOD 引脚的正确工作电压电平。

7 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[使用反相降压/升压转换器](#) 应用手册。
2. 德州仪器 (TI)，[利用降压稳压器创建逆变电源](#) 应用手册。
3. 德州仪器 (TI)，[在反相降压/升压拓扑中使用降压转换器](#) 应用简介。

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