

Ridge Lahti

摘要

LM63615-Q1 是一款同步降压转换器，具有 3.5V 至 36V 的宽输入电压范围和 1.5A 的最大输出电流。LM63615-Q1 可配置为具有负输出电压的反相降压/升压 (IBB) 转换器。本应用手册展示了 LM63615-Q1 如何用作反相降压/升压转换器，以及反相降压/升压转换器 (例如 PGOOD 或 EN 电平转换器) 的可选设计注意事项。如果需要更高的输出电流，LM63615-Q1 可与额定电流为 2.5A 的 LM63625-Q1 和额定电流为 3.25A 的 LM63635-Q1 引脚对引脚兼容。LM63615-Q1 还与额定电流为 1A 的 LM63610-Q1 引脚对引脚兼容。

内容

1 反相降压/升压拓扑	3
1.1 概念.....	3
1.2 输出电流计算.....	3
1.3 反相降压/升压配置的电压范围.....	4
2 设计注意事项	5
2.1 旁路电容器和可选的肖特基二极管.....	5
3 外部组件	6
3.1 电容器选型.....	6
4 数字引脚配置	7
4.1 可选使能 (EN) 电平转换器.....	7
4.2 电源正常 (PG) 引脚.....	8
5 典型性能	9
5.1 $V_{OUT} = -3.3V$, 2.1MHz 典型性能.....	9
5.2 $V_{OUT} = -3.3V$, 400kHz 典型性能.....	11
5.3 $V_{OUT} = -5V$, 2.1MHz 典型性能.....	12
5.4 $V_{OUT} = -5V$, 400kHz 典型性能.....	14
6 结论	15
7 参考文献	16

插图清单

图 1-1. 从降压转换为反相降压/升压拓扑.....	3
图 1-2. LM63615-Q1 的最大输出电流计算 (假设效率为 85%).....	4
图 2-1. LM63615-Q1 具有可选肖特基二极管的反相降压/升压转换器.....	5
图 4-1. EN 引脚电平转换器.....	7
图 4-2. PG 引脚电平转换器.....	8
图 5-1. 原理图.....	9
图 5-2. 物料清单.....	9
图 5-3. 效率与负载电流之间的关系.....	9
图 5-4. 负载调节与负载电流间的关系.....	9
图 5-5. 在 $V_{IN} = 24V$ 时启动.....	9
图 5-6. 在 $V_{IN} = 24V$ 时关断.....	9
图 5-7. $V_{IN} = 24V$ 时的满载瞬态.....	10
图 5-8. $V_{IN} = 24V$ 时的负载瞬态.....	10
图 5-9. $V_{IN} = 12V$ 时的满载输出纹波.....	10
图 5-10. $V_{IN} = 24V$ 时的满载输出纹波.....	10
图 5-11. 原理图.....	11

图 5-12. 物料清单.....	11
图 5-13. 效率与负载电流之间的关系.....	11
图 5-14. 负载调节与负载电流间的关系.....	11
图 5-15. 原理图.....	12
图 5-16. 物料清单.....	12
图 5-17. 效率与负载电流之间的关系.....	12
图 5-18. 负载调节与负载电流间的关系.....	12
图 5-19. 在 $V_{IN} = 24V$ 时启动.....	12
图 5-20. 在 $V_{IN} = 24V$ 时关断.....	12
图 5-21. $V_{IN} = 24V$ 时的满载瞬态.....	13
图 5-22. $V_{IN} = 24V$ 时的负载瞬态.....	13
图 5-23. $V_{IN} = 12V$ 时的满载输出纹波.....	13
图 5-24. $V_{IN} = 24V$ 时的满载输出纹波.....	13
图 5-25. 原理图.....	14
图 5-26. 物料清单.....	14
图 5-27. 效率与负载电流之间的关系.....	14
图 5-28. 负载调节与负载电流间的关系.....	14

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

对于标准降压转换器而言，电感器连接到 LM63615-Q1 的 V_{OUT} 和开关引脚 (SW)。为了更改为反相降压/升压拓扑，电路的 V_{OUT} 和接地节点必须反转。反转节点后，LM63615-Q1 现在可以将输出电压与输入电压反转。

要将 LM63615-Q1 降压转换器更改为反相降压/升压转换器，请将降压转换器 V_{OUT} 重新分配至系统接地，并将旧的降压系统接地重新分配至 $-V_{OUT}$ 。需要将输入电容器重新连接到新的系统接地，并且需要在 V_{IN} 和 $-V_{OUT}$ 之间连接一个新的旁路电容器 C_{IO} 。正输入和反馈电阻器与降压转换器中保持相同。要调整反相降压/升压转换器的输出，请像降压转换器那样计算反馈电阻器值。有关反相降压/升压拓扑的更多信息，请参阅 [使用反相降压/升压转换器](#) 应用手册。图 1-1 中的原理图展示了将 LM63615-Q1 降压转换器配置为反相降压/升压转换器时必须进行的更改。

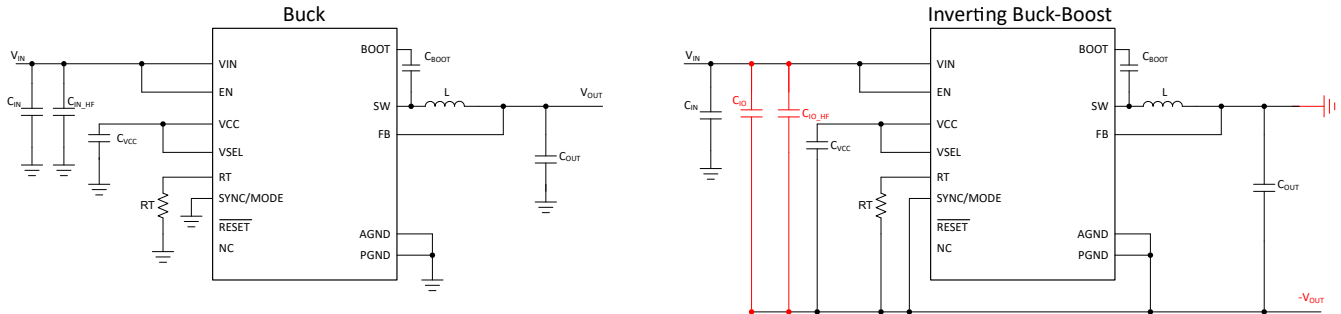


图 1-1. 从降压转换为反相降压/升压拓扑

1.2 输出电流计算

改为反相降压/升压拓扑将对可能的最大输出电流产生影响。对于反相降压/升压转换器，电感器电流将始终大于输出电流。因此，可通过以下公式计算可能的最大输出电流：

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

其中：

- I_{OUT_Buck} 是降压转换器最大直流输出电流
- D 为占空比

占空比的计算公式为：

$$D = \frac{V_{out}}{V_{out} - V_{in} \times \eta} \quad (2)$$

V_{OUT} 表示反相降压/升压转换器的负输出电压。占空比公式中的效率项有助于将功率损耗纳入考虑范围，从而更准确地计算输出电流。例如，如果输出电压为 -5 V ，输入电压为 24 V ，假设效率为 85% ，则占空比为：

$$D = \frac{-5}{-5 - 24 \times 0.85} = 0.197 \quad (3)$$

鉴于 LM63615-Q1 的最大电流为 1.5 A ，反相降压/升压转换器产生的最大输出电流为：

$$I_{OUT}(IBB) = 1.5\text{ A} \times (1 - 0.197) = 1.205\text{ A} \quad (4)$$

表 1-1. LM63615-Q1 的最大输出电流计算

V_{OUT} (V)	V_{IN} (V)	I_{OUT_Buck} (A)	η	D	I_{OUT} (A)
-3.3	24	1.5	0.85	0.139	1.291
-5	24	1.5	0.85	0.197	1.205

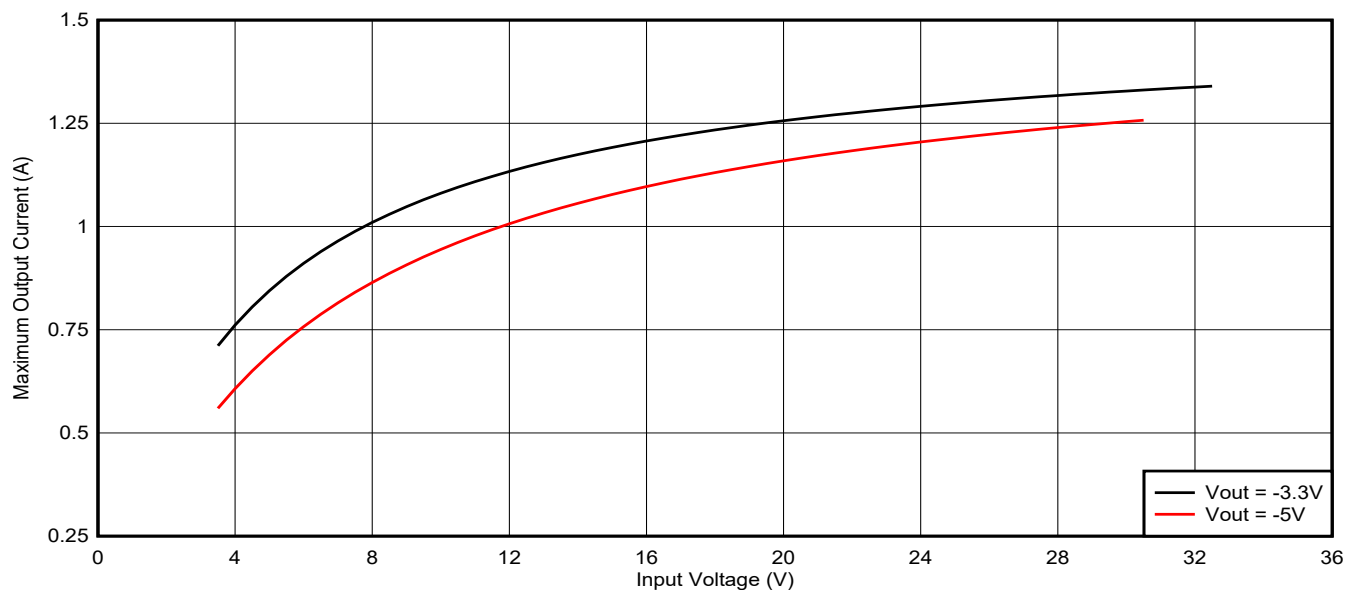


图 1-2. LM63615-Q1 的最大输出电流计算 (假设效率为 85%)

1.3 反相降压/升压配置的电压范围

将降压转换器用作反相降压/升压转换器时，连接变化会限制输入到输出之间器件可以安全运行的电压范围。IC 的接地 (GND) 引脚不再以 0V 为基准，而是以转换器的输出电压为基准。因此，IC 的最大电压计算方法为 V_{IN} 减去 $-V_{OUT}$ 。例如，如果输入电压为 24V，输出电压为 -24V，则 IC 上的电压为 48V。对于 LM63615-Q1，此配置将超过数据表中所列器件的最大输入电压 36V。将输入和输出电压差保持在 IC 的最大额定电压范围内是非常重要的。

2 设计注意事项

2.1 旁路电容器和可选的肖特基二极管

V_{IN} 和 $-V_{OUT}$ 之间的新增旁路电容可用于帮助应对负载瞬态。可以根据降压数据表中的输入电容建议来选择旁路电容值 C_{IO} 和 C_{IO_HF} ，但必须注意的是，该电容器两端的电压将是 $V_{IN} + |-V_{OUT}|$ 。使用的电容器必须根据 V_{IN} 和 $-V_{OUT}$ 之间的电压差适当调整大小。输入电源打开时，旁路电容可能会导致输出在变为负值之前短暂地正向摆动。如果所需负载对正向摆动敏感，可以在输出端放置一个可选的肖特基二极管来钳制电压。

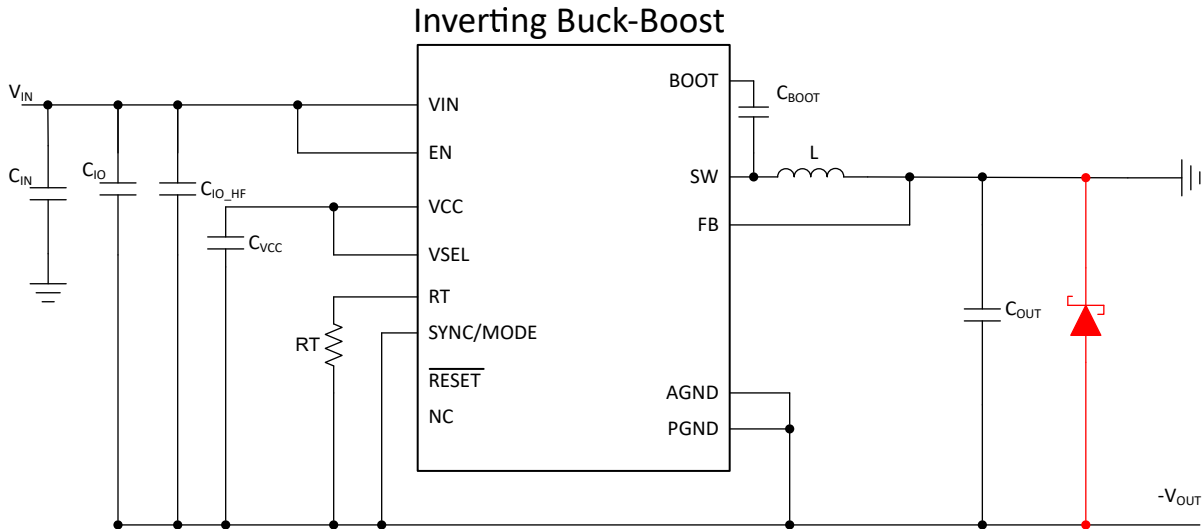


图 2-1. LM63615-Q1 具有可选肖特基二极管的反相降压/升压转换器

3 外部组件

LM63615-Q1 具有集成式功率 MOSFET，需要电感器、输入电容和输出电容。根据应用的不同，可能需要使用反馈电阻器，也可能不需要使用反馈电阻器。在该应用中，输出电压选择引脚 (VSEL) 根据所需的输出电压连接至 VCC 或 AGND。如果需要可调输出电压，可将反馈引脚 (FB) 与反馈电阻器连接，以选择特定的输出电压。可调输出可用于通过在顶部反馈电阻器上放置一个前馈电容器 C_{FF} 来改善系统环路响应。有关 C_{FF} 的正确尺寸，请参阅数据表。

3.1 电容器选型

将 LM63615-Q1 用作降压转换器时， C_{IO} 和高频电容器 C_{IO_HF} 的电容值可遵循数据表中有关输入电容的建议。使用 LM63615-Q1 时，务必根据数据表建议将 220nF 高频陶瓷电容器作为旁路电容的一部分，该电容应尽可能靠近稳压器的输入端进行连接。如有必要，可向反相降压/升压转换器添加额外的 C_{IN} 电容。可以根据需要增加 C_{IO} 和 C_{IN} 。输出电容也可以遵循降压转换器数据表中的建议，但可能需要增大该电容以提高性能。

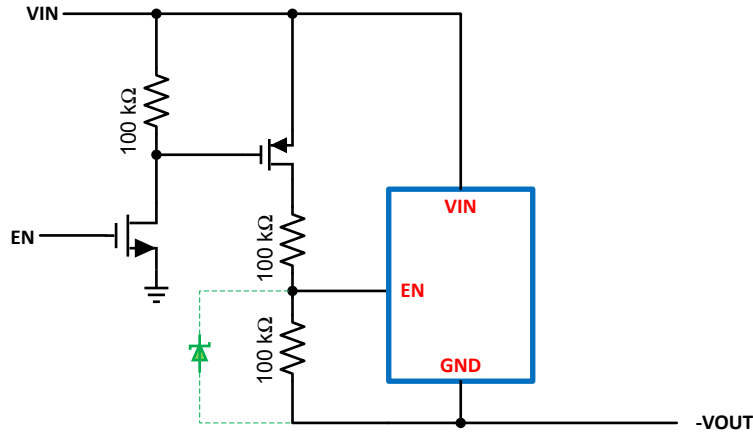
4 数字引脚配置

4.1 可选使能 (EN) 电平转换器

降压转换器 IC 的接地现在以负输出电压为基准，因此如果要在使能引脚上使用控制信号，则需要使用电平转换器。图 4-1 中的示例电路可用于对传入的使能信号进行电平转换。虽然此电路需要两个晶体管，但它没有迟滞，并且不需要来自控制信号的电流。如果使能引脚的额定电压未达到整个输入电压范围，必须使用齐纳二极管将使能引脚钳制在其最大电压以下。即使没有控制信号，也需要正确配置使能引脚，可以参考降压转换器数据表了解 EN 引脚的正确连接方法。

使能信号被拉低时，NMOS 开关将被关闭，将 PMOS 的栅极拉至 V_{IN} 。然后 PMOS 将关闭，将使能引脚拉至高电平阈值以下。

当使能信号被拉高时，NMOS 开关将打开，将 PMOS 的栅极拉低。然后 PMOS 会打开，将使能引脚从 V_{IN} 拉至高于高电平阈值。



-VOUT 是反相降压/升压转换器的负输出电压

图 4-1. EN 引脚电平转换器

4.2 电源正常 (PG) 引脚

与 EN 类似，如果电源正常标志用于反相降压/升压应用，需要进行电平转换。图 4-2 中所示的电路可用于对 PGOOD 逻辑进行电平转换，使其成为摆动至零伏的信号。使用该电路时，PGOOD 引脚的额定电压为 $|V_{OUT}|$ 。

当内部 PGOOD 开关断开时，第一个外部 MOSFET 的栅极被拉至接地，使 MOSFET 导通。在第一个 MOSFET 导通的情况下，第二个 MOSFET 的栅极被拉至 $-V_{OUT}$ ，将第二个 MOSFET 关闭。在第二个开关关闭的情况下，PGOOD 节点被拉至逻辑电压。

当内部 PGOOD 开关打开时，第一个外部 MOSFET 的栅极被拉至 $-V_{OUT}$ ，从而关闭此 MOSFET。在第一个外部 MOSFET 关闭的情况下，第二个外部 MOSFET 的栅极被拉至控制器的逻辑电压。这会导致第二个外部 MOSFET 导通，并将 PGOOD 节点拉至接地。

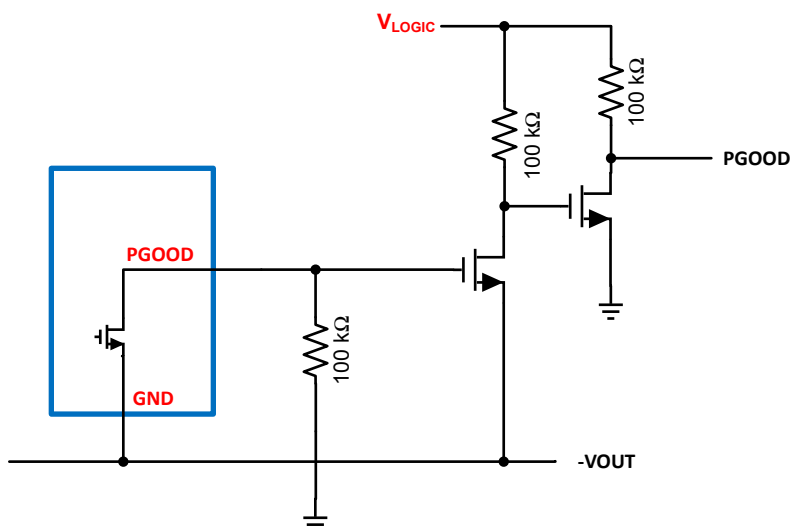


图 4-2. PG 引脚电平转换器

5 典型性能

5.1 $V_{OUT} = -3.3V$, 2.1MHz 典型性能

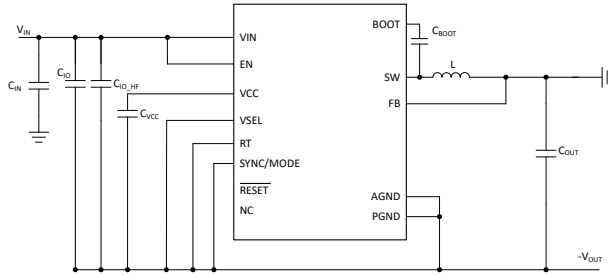


图 5-1. 原理图

COMPONENT VALUES FOR $V_{OUT} = -3.3V$			
C_{IN}	2 x 4.7 μ F	50V	X7R or X5R
C_{OUT}	3 x 22 μ F	16V	X7R or X5R
C_{IO}	2x 22 μ F	50V	X7R or X5R
C_{IO_HF}	220nF	50V	X7R or X5R
C_{VCC}	1 μ F	16V	X7R or X5R
C_{BOOT}	0.22 μ F	16V	X7R or X5R
L	4.7 μ H		

图 5-2. 物料清单

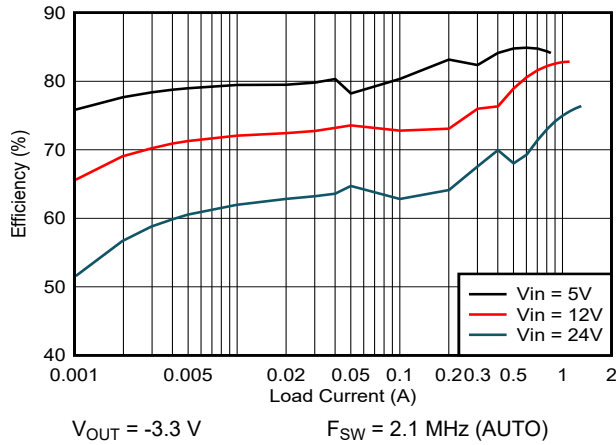


图 5-3. 效率与负载电流之间的关系

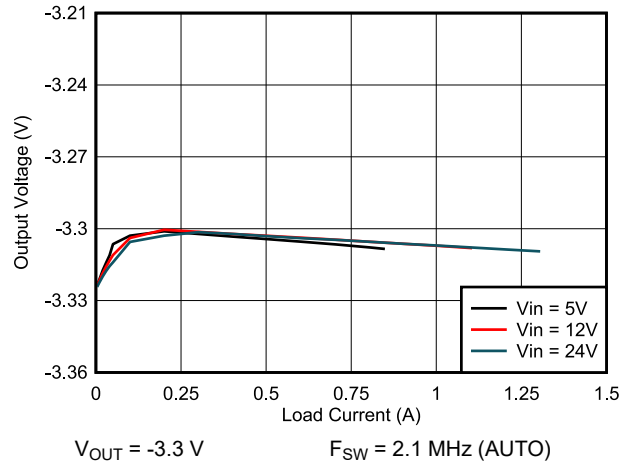


图 5-4. 负载调节与负载电流间的关系

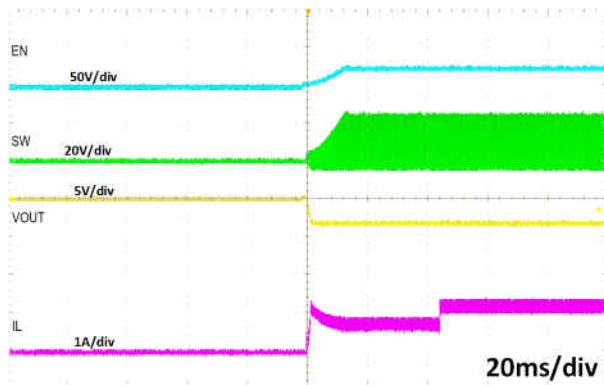


图 5-5. 在 $V_{IN} = 24V$ 时启动

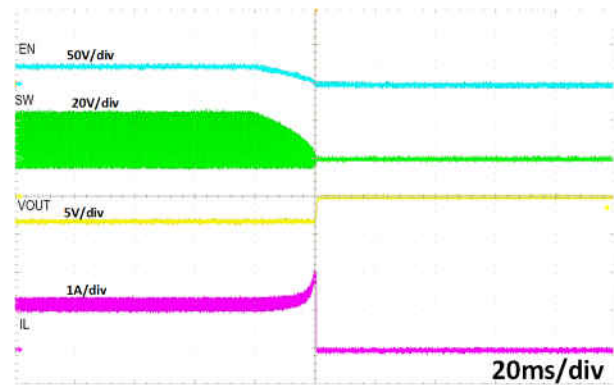
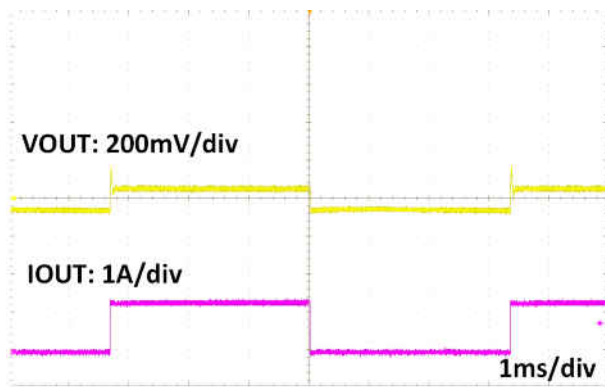
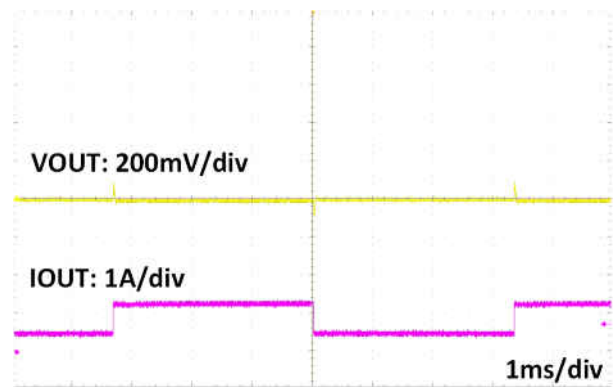


图 5-6. 在 $V_{IN} = 24V$ 时关断



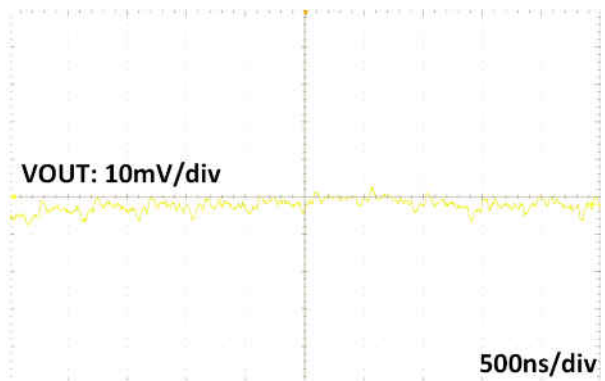
$V_{OUT} = -3.3\text{ V}$ $I_{LOAD} = 0\text{ A 至 } 1.3\text{ A}$

图 5-7. $V_{IN} = 24\text{ V}$ 时的满载瞬态



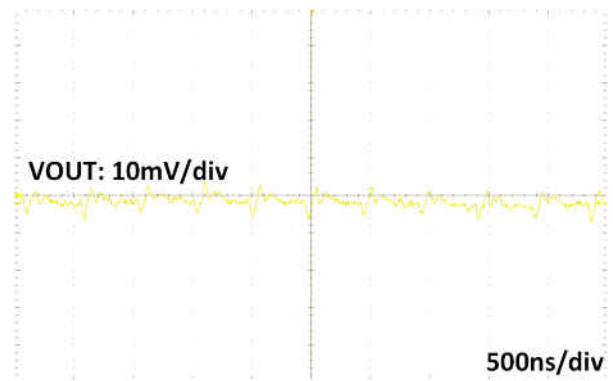
$V_{OUT} = -3.3\text{ V}$ $I_{LOAD} = 500\text{ mA 至 } 1.3\text{ A}$

图 5-8. $V_{IN} = 24\text{ V}$ 时的负载瞬态



$V_{OUT} = -3.3\text{ V}$ $I_{LOAD} = 1.13\text{ A}$

图 5-9. $V_{IN} = 12\text{ V}$ 时的满载输出纹波



$V_{OUT} = -3.3\text{ V}$ $I_{LOAD} = 1.3\text{ A}$

图 5-10. $V_{IN} = 24\text{ V}$ 时的满载输出纹波

5.2 $V_{OUT} = -3.3V$, 400kHz 典型性能

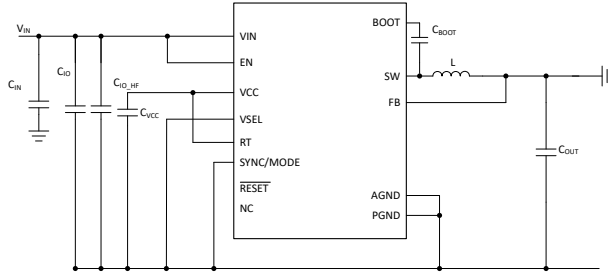


图 5-11. 原理图

COMPONENT VALUES FOR $V_{OUT} = -3.3V$			
C_{IN}	2 x 4.7µF	50V	X7R or X5R
C_{OUT}	3 x 22µF	16V	X7R or X5R
C_{IO}	2x 22µF	50V	X7R or X5R
C_{IO_HF}	220nF	50V	X7R or X5R
C_{VCC}	1µF	16V	X7R or X5R
C_{BOOT}	0.22µF	16V	X7R or X5R
L	10µH		

图 5-12. 物料清单

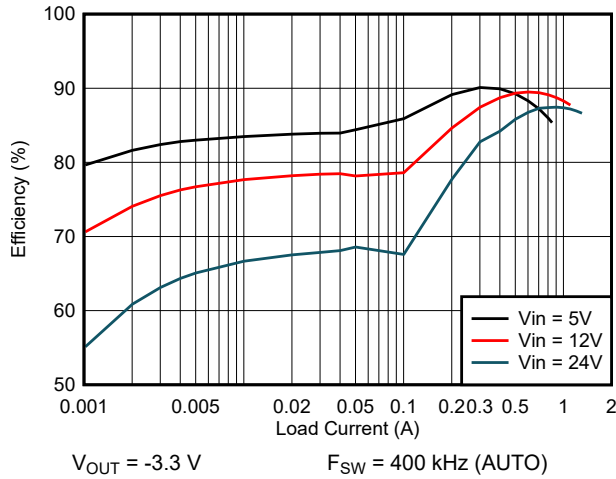


图 5-13. 效率与负载电流之间的关系

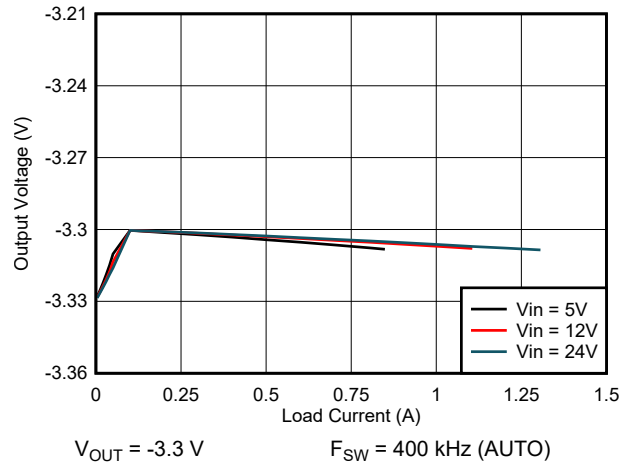


图 5-14. 负载调节与负载电流间的关系

5.3 $V_{OUT} = -5V$, 2.1MHz 典型性能

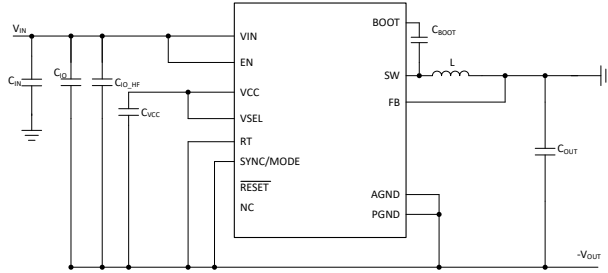
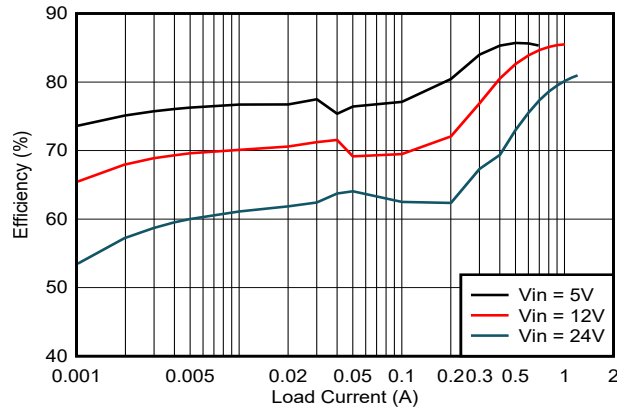


图 5-15. 原理图

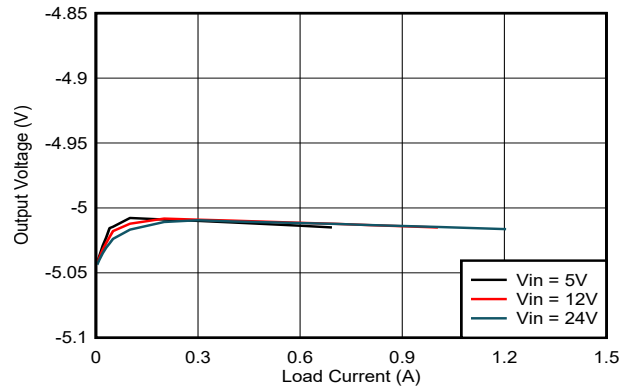
COMPONENT VALUES FOR $V_{OUT} = -5V$			
C_{IN}	2 x 4.7 μ F	50V	X7R or X5R
C_{OUT}	3 x 22 μ F	16V	X7R or X5R
C_{IO}	2x 22 μ F	50V	X7R or X5R
C_{IO_HF}	220nF	50V	X7R or X5R
C_{VCC}	1 μ F	16V	X7R or X5R
C_{BOOT}	0.22 μ F	16V	X7R or X5R
L	4.7 μ H		

图 5-16. 物料清单



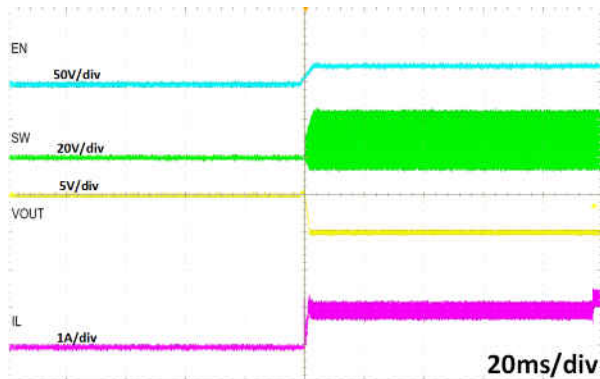
$V_{OUT} = -5V$ $F_{SW} = 2.1MHz (AUTO)$

图 5-17. 效率与负载电流之间的关系



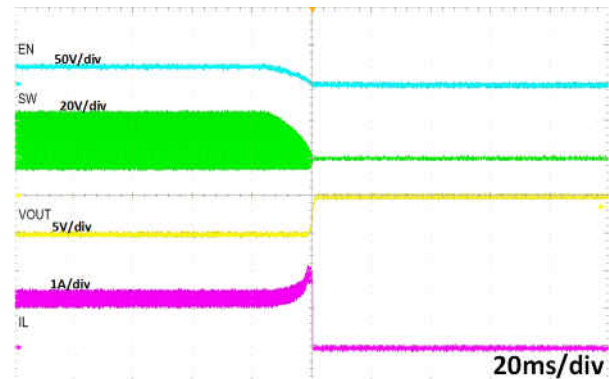
$V_{OUT} = -5V$ $F_{SW} = 2.1MHz (AUTO)$

图 5-18. 负载调节与负载电流间的关系



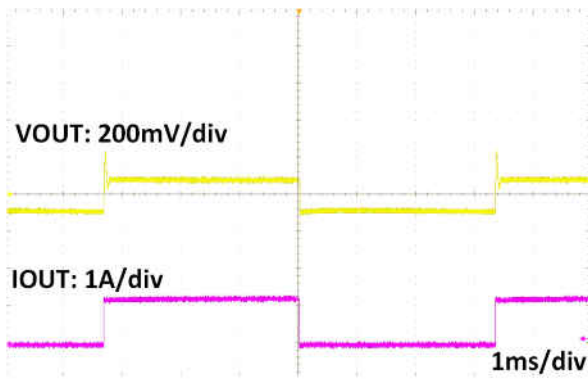
$V_{OUT} = -5V$ $I_{LOAD} = 1A$

图 5-19. 在 $V_{IN} = 24V$ 时启动



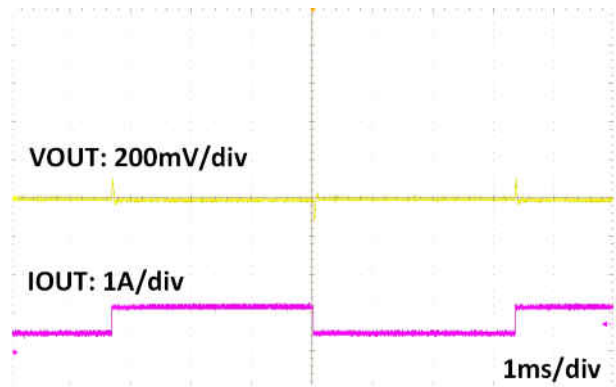
$V_{OUT} = -5V$ $I_{LOAD} = 1A$

图 5-20. 在 $V_{IN} = 24V$ 时关断



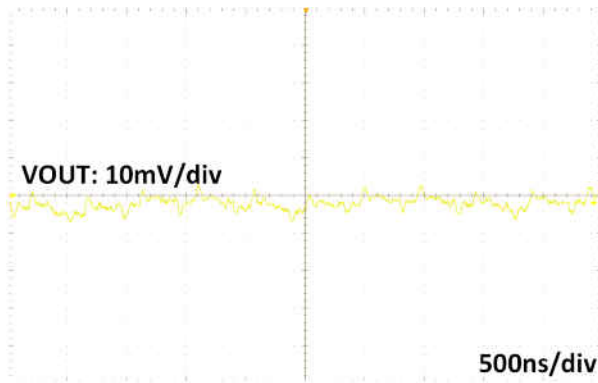
$V_{OUT} = -5\text{ V}$ $I_{LOAD} = 0\text{ A 至 } 1.2\text{ A}$

图 5-21. $V_{IN} = 24\text{ V}$ 时的满载瞬态



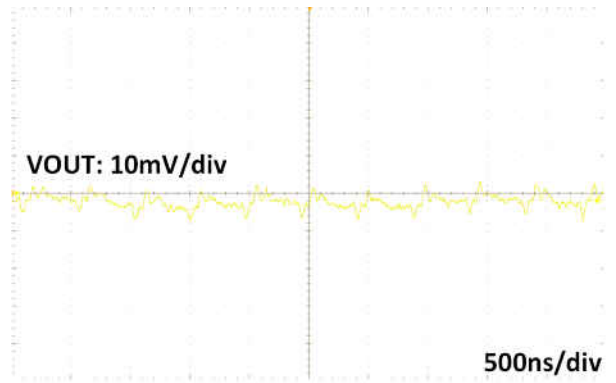
$V_{OUT} = -5\text{ V}$ $I_{LOAD} = 500\text{ mA 至 } 1.2\text{ A}$

图 5-22. $V_{IN} = 24\text{ V}$ 时的负载瞬态



$V_{OUT} = -5\text{ V}$ $I_{LOAD} = 1\text{ A}$

图 5-23. $V_{IN} = 12\text{ V}$ 时的满载输出纹波



$V_{OUT} = -5\text{ V}$ $I_{LOAD} = 1.2\text{ A}$

图 5-24. $V_{IN} = 24\text{ V}$ 时的满载输出纹波

5.4 $V_{OUT} = -5V$, 400kHz 典型性能

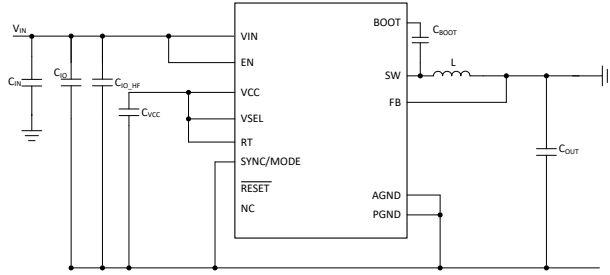


图 5-25. 原理图

COMPONENT VALUES FOR $V_{OUT} = -5V$			
C_{IN}	2 x 4.7 μ F	50V	X7R or X5R
C_{OUT}	3 x 22 μ F	16V	X7R or X5R
C_{IO}	2x 22 μ F	50V	X7R or X5R
C_{IO_HF}	220nF	50V	X7R or X5R
C_{VCC}	1 μ F	16V	X7R or X5R
C_{BOOT}	0.22 μ F	16V	X7R or X5R
L	10 μ H		

图 5-26. 物料清单

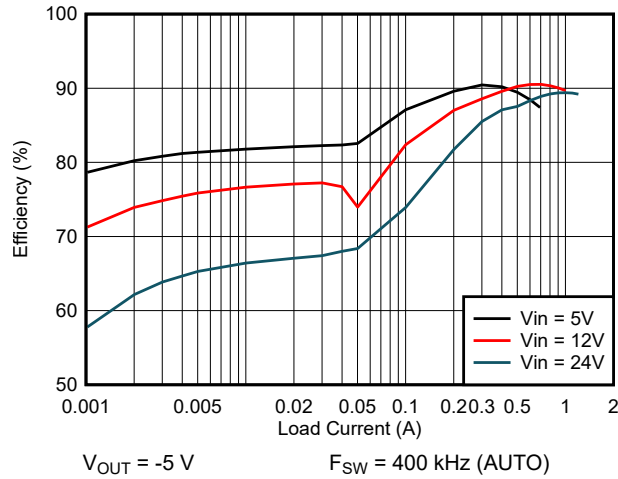


图 5-27. 效率与负载电流之间的关系

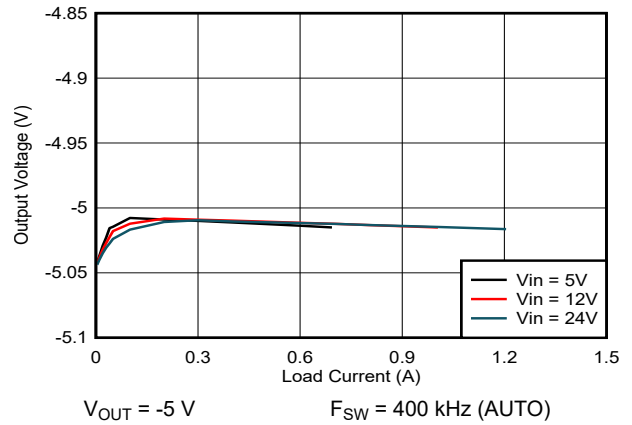


图 5-28. 负载调节与负载电流间的关系

6 结论

LM63615-Q1 是一款降压转换器，可通过更改输出电压和接地连接配置为反相降压/升压 (IBB) 拓扑。由于 IBB 以 $-V_{OUT}$ 为基准，而不是以接地为基准，因此 LM63615-Q1 的输入电压范围会受到限制，具体取决于 $-V_{OUT}$ 的大小。可以达到的最大输出电流也会受到限制，因为电感器最大电流始终大于最大输出电流。本报告介绍了 IBB 拓扑以及如何为设计选择外部元件。数据由测试电路提供。有关反相降压/升压拓扑的更多信息，请参阅 [使用反相降压/升压转换器](#) 应用手册。

7 参考文献

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), [LM636x5-Q1 3.5V 至 36V、1.5A 和 2.5A 汽车降压转换器](#) 数据表。
3. 德州仪器 (TI), [LM63635-Q1 3.5V 至 36V、3.25A 汽车降压转换器](#) 数据表。
4. 德州仪器 (TI), [LM63610-Q1 3.5V 至 36V、1A 汽车降压转换器](#) 数据表。
5. 德州仪器 (TI), [LMZM23601 和 LMZM23600 的反向应用](#) 应用手册。
6. 德州仪器 (TI), [使用 TPSM5601R5H-IBB-EVM](#) 用户指南。

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