

## Application Note

## 采用 LMR51610 的 SOT236 IBB 应用设计



Elena Gao

## 摘要

反相降压/升压 (IBB) 电路结构广泛用于需要负电压电源的系统。SOT 封装是一种具有成本效益的成熟封装。本应用手册提供了 IBB 配置中 LMR51610/06 的详细设计过程。新发布的 SOT23-6 封装产品 LMR51610/06 是一款具有内部环路补偿的 65V 1A/0.6A 降压转换器，可以很好地开始验证运算放大器电路的典型 -5V 和 -12V 输出。LMR51610 的最大输入电压高达 65V，这可以为 12V/24V 系统提供更宽范围和更安全的电源轨。TI 还提供了 LMR51610 的演示硬件，这将便于在具有相同引脚排列的 SOT236 器件上开发 IBB 应用。

节 1 中介绍了 LMR51610。降压转换器 IC 配置为降压/升压拓扑时的输入电压和输出电流范围在节 2 中进行了详细说明。节 3 提供了选择外部元件的方法。节 4 中提供了测试台的性能测试结果。

## 内容

1 简介.....	1
2 规格.....	2
2.1 输入电压范围.....	2
2.2 输出电流范围.....	2
3 外部元件选型.....	3
3.1 占空比计算.....	3
3.2 输出电压计算.....	4
3.3 电感器选型.....	4
3.4 输入和输出电容器.....	4
3.5 启用电平转换.....	4
3.6 输出钳位二极管.....	5
4 评估结果.....	6
4.1 典型性能.....	6
4.2 测试台环路响应验证.....	9
5 结语.....	10
6 参考资料.....	10
7 LMR50410 设计示例.....	11
7.1 LMR50410 输出电流范围.....	11
7.2 LMR50410 效率.....	11

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

LMR51610 稳压器是一款简单易用的同步直流/直流降压转换器，工作电源电压为 4.5V 至 65V。该稳压器能够以非常小的设计尺寸提供高达 1A 的直流负载电流。该系列提供适用于不同应用的不同版本，具有 400KHz 和 1.1MHz 开关频率、PFM 和 FPWM 模式以及可调和固定输出电压版本。LMR51610 采用带有内部环路补偿的峰值电流模式控制，不仅可减少设计时间，而且需要很少的外部元件。该系列包括 LMR51606，其最大输出电流更低。

要将降压转换器转换为 IBB，请使用 LMR51610EVM 作为示例。将  $V_{out}$  更改为 GND 并将 GND 更改为  $-V_{out}$ ，请注意器件 GND 是负输出，但输入侧系统 GND IN 不变，需要连接到电感输出侧，如图 1-1 所示。

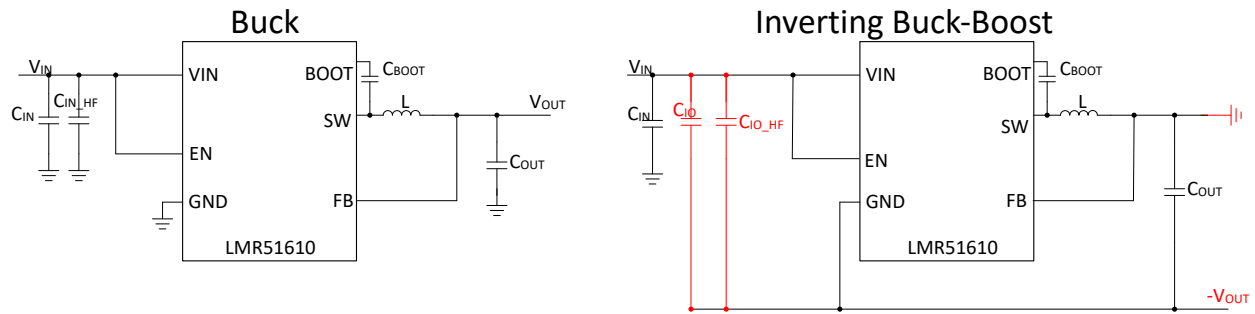


图 1-1. 采用相同 IC 的降压转换器和反相降压/升压拓扑的比较

## 2 规格

当降压转换器 IC 配置为反相降压/升压拓扑时，最大输入电压和输出电流会减小。需要选择降压 IC 以满足应用要求。以本文档中的 LMR51610 1A 器件为例。

### 2.1 输入电压范围

LMR51610 IC 可以承受 65V  $V_{in}$  最大电压，但是在 IBB 电路中，输入电压能力不仅受器件限制，而且与  $-V_{out}$  有关，可以使用方程式 1 来计算输入电压。

$$V_{IN\_max} \leq V_{IC\_max} + V_O \quad (1)$$

反相电源的最低工作输入电压是器件的最低工作电压，请参阅方程式 2。对于 LMR51610，最小输入电压为 4V，因此反相电源输入电压必须高于 4V。

$$V_{IN\_min} \geq V_{IC\_min} \quad (2)$$

### 2.2 输出电流范围

IBB 拓扑中的输出电流能力小于降压配置。这是因为电感器平均电流不同于降压技术，在降压电路中，电感器电流与  $I_{out}$  电流相同。因此，请参阅以下公式来选择器件，以涵盖 IBB 使用中的电感器最大电流。

在方程式 4 中， $I_{OUT}$  是器件的最大输出电流 ( $I_{OUT} = 1A$ )。反相电源输出电流限值的计算方式如图 2-1 所示。在方程式 3 中， $D$  是 IBB 的占空比，并考虑  $\eta = 80\%$  来计算效率。

$$D = \frac{V_{out}}{V_{out} - V_{in} * \eta} \quad (3)$$

$$I_{OUT}(IBB) = I_{OUT\_Buck} * (1 - D) \quad (4)$$

表 2-1. LMR51610 的最大输出电流计算

$V_O$ (V)	$V_{IN}$ (V)	$\eta$	$D$	$I_{OUT}$ (A)
-12	24	0.8	0.38	0.61
-5	24	0.8	0.20	0.79
-15	24	0.8	0.43	0.56

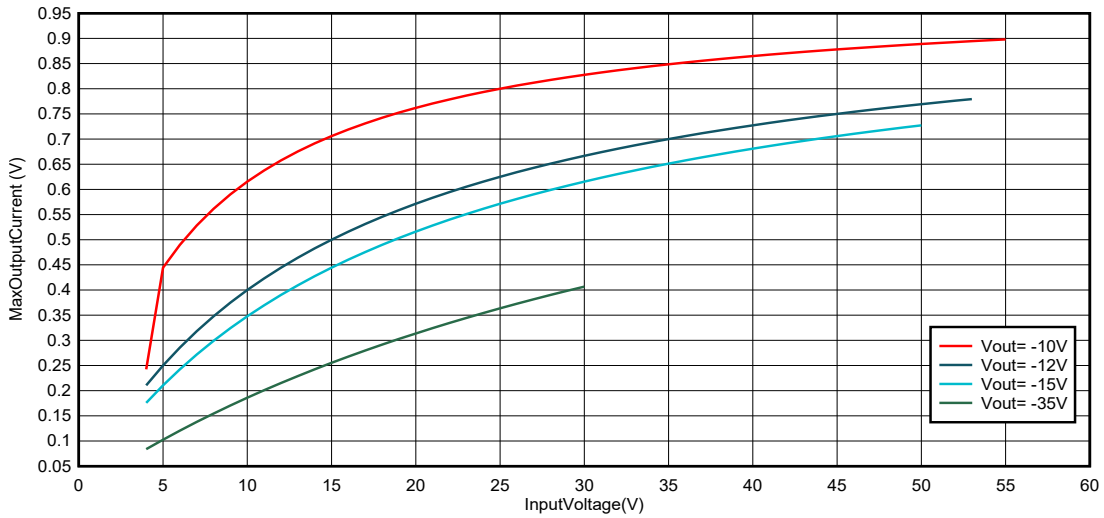


图 2-1. 反相电源的最大输出电流

### 3 外部元件选型

本部分在实际应用中进行了电感器和输出电容器设计。在此过程中，考虑了环路响应。请注意，所有公式中的  $V_O$  为负。

下文基于设计示例给出了详细的设计步骤。在此设计示例中，400kHz 工作频率 LMR51610X 与表 3-1 中所示的设计规格配合使用。图 3-1 显示了参考设计电路。

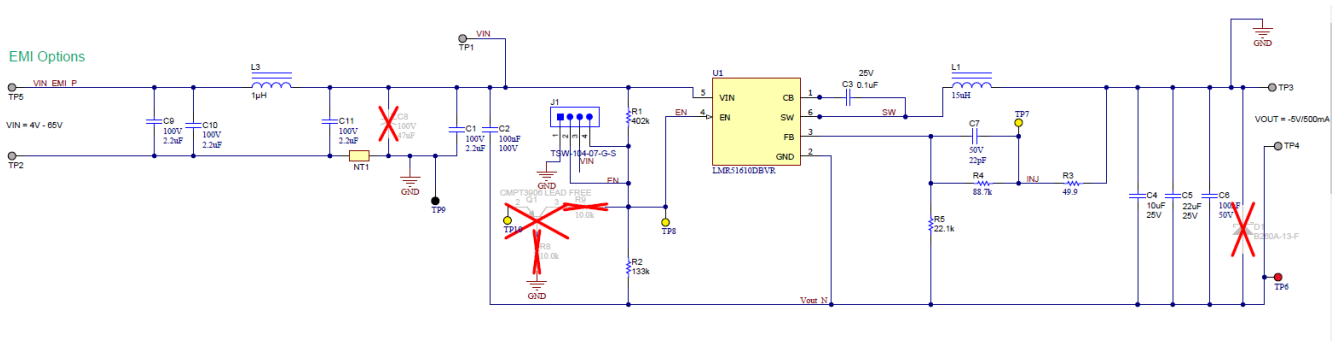


图 3-1. 设计示例电路

表 3-1. 设计示例规格

$V_O$ (V)	$V_{IN}$ (V)			$I_O$ (A)	$f_{sw}$ (kHz)	输出电压纹波 $\Delta V_O$
	$V_{IN\_min}$	$V_{IN\_norm}$	$V_{IN\_max}$			
-12	12	24	48	0.4	400	$0.5\% \cdot  V_O  = 60\text{mV}$

#### 3.1 占空比计算

使用方程 5 计算占空比。在最小输入电压下需要最大占空比。例如， $V_{IN\_min} = 12\text{V}$  时， $V_O = -12\text{V}$ 、 $D_{max} = 0.55$ ， $D_{min} = 0$ 。23 ( $V_{IN\_max} = 48\text{V}$  时)， $V_{IN\_norm} = 24\text{V}$  时  $D_{norm} = 0.38$ 。

$$D = \frac{-V_O}{V_{IN} - V_O} \quad (5)$$

### 3.2 输出电压计算

LMR51610 器件的输出电压与降压设计相同，[方程式 6](#) 用于确定转换器的输出电压。将  $R_{FBB}$  值选定为  $22.1k\Omega$ 。当预期的输出电压设置为  $-12V$  并且  $V_{REF} = 0.8V$  时， $R_{FBT}$  的值可通过公式[方程式 6](#) 计算得出。通过该公式可得出该值为  $309k\Omega$ 。

$$R_{FBT} = \frac{V_{OUT} - V_{REF}}{V_{REF}} \times R_{FBB} \quad (6)$$

表 3-2. 输出电压设置表

$V_o$ (V)	$R_{FBT}$ (k $\Omega$ )	$R_{FBB}$ (k $\Omega$ )
-3.3	69.8	22.1
-5	118	22.1
-12	309	22.1
-15	392	22.1

### 3.3 电感器选型

以轻负载应用为重点，设计的电感器电流纹波是电感器平均电流的 20% 到 40%，以 100mA 总负载为例，SCH 如下所述。

请注意，LMR51610 的电流限制为 1.6A。最大  $I_{out}$  可支持 IBB 使用[方程式 7](#)。 $K_{IND}$  是一个系数，表示电感纹波电流与器件的最大输出电流之比，通常是  $K=0.2 - 0.4$ 。对于 LMR51610， $I_{OUT\_IC} = 1A$ 。 $V_{IN\_norm} = 24V$ 、 $K=0.4$ 、 $f_{sw} = 400kHz$  时， $D_{norm} = 0.38$ ，结果  $L=56\mu H$ 。

$$L_{min} = \frac{V_{IN\_max} \times D_{min}}{f_{SW} \times I_{O\_IC\_max} \times K_{IND}} \quad (7)$$

LMR51610 可通过逐周期电流限制获得过流保护。为防止短路时电感器饱和，电感器饱和电流需要大于器件的峰值电流限值。

### 3.4 输入和输出电容器

输入侧与降压电路级相同，因此输入电容器设计可以重复使用正应用。为了实现低输出电压纹波，首选具有低 ESR 的 2.2 $\mu F$  陶瓷电容器，最好将 X7R 用作输入和输出侧，同时考虑电容器的温度特性和直流偏置。此外，建议将高频电容器 0.1 $\mu F$  与 2.2 $\mu F$  100V 输入电容搭配使用，使其非常靠近引脚。

从  $V_{in}$  到降压  $V_{out}$  的高频旁路电容器，例如 0.1 $\mu F$ ，可提高稳定性并减少  $V_{out}$  纹波。由于器件 GND 是电源输出电压，因此电容器的额定电压必须大于电源最大输入和输出电压的差值。此处选择了 0.1  $\mu F$ 、100V 陶瓷电容器进行高频滤波，并将其放置在尽可能靠近器件引脚的位置。

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。请参阅表 3-3 中的不同输出电压，该表给出的是最小值，例如 22  $\mu F$ 、25V。

表 3-3. LC 表

$V_o$ (V)	输入电容器 ( $\mu F$ )	$C_{IO}$ ( $\mu F$ )	电感器 ( $\mu H$ )	输出电容器 ( $\mu F$ )
-12	2.2+0.1 $\mu F$ /100V	0.1 $\mu F$ /100V	68 $\mu H$	22 $\times$ 2+0.1 $\mu F$ /25V
-15	2.2+0.1 $\mu F$ /100V	0.1 $\mu F$ /100V	100 $\mu H$	22 $\times$ 3+0.1 $\mu F$ /25V

### 3.5 启用电平转换

LMR51610 具有用于打开和关闭输出的 EN 引脚。LMR51610 数据表中指定的 EN 引脚典型阈值电压约为 1.27V (上升) 和 1V (下降)。但在反相降压/升压配置中，EN 基准点从器件 GND 更改为  $-V_{OUT}$  电压。因此，EN 引脚的上升阈值更改为  $1.27V + -V_{OUT}$ ，下降阈值为  $1V + -V_{OUT}$ 。例如，如果  $-V_{OUT} = -12V$ ，EN 在高于

- 12V-1.27V=-10.73V 的电压下视为高电平，在低于 - 12V+1V=-11V 的电压下视为低电平。因此，在负电压应用中，需要至少 1V + - VOUT 的电压来关断器件。

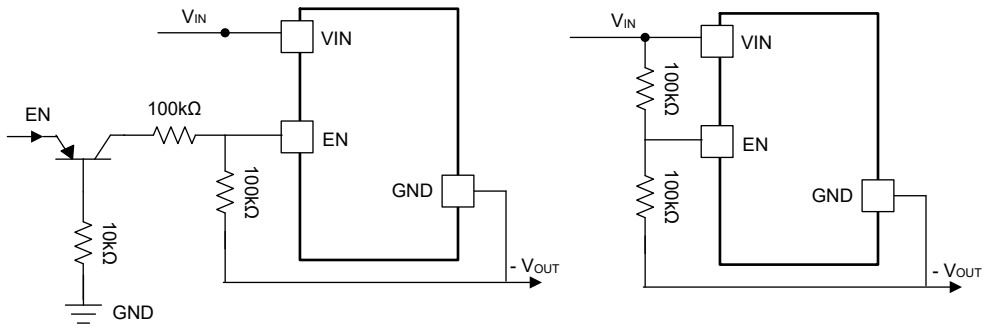


图 3-2. 通过 Vin 实现 EN 外部控制和 EN 控制

### 3.6 输出钳位二极管

为了防止负输出变得太正，需要在负输出电源上使用二极管。由于在 Vin 与负输出之间有一个电容，如果线路瞬变较大，电流可从输入电容流过 LS，然后电感器返回到 GND，因此负侧会出现更大的尖峰。添加二极管有助于防止 LS 因输出端的正电压而损坏。增大输出电容也有助于解决这个问题。请参阅图 3-3。

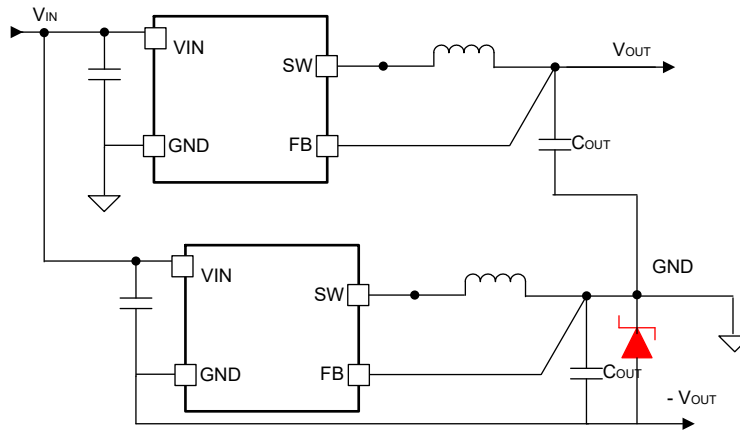


图 3-3. 在一个系统电路中设计负输出和正输出

## 4 评估结果

### 4.1 典型性能

图 4-1 至图 4-13 显示了图 3-1 设计的实验测试结果。除非另有说明，否则以下条件适用： $V_{IN} = 24V$ ， $V_O = -12V$ ， $I_O = 0.4A$ ， $T_A = 25^\circ C$ 。

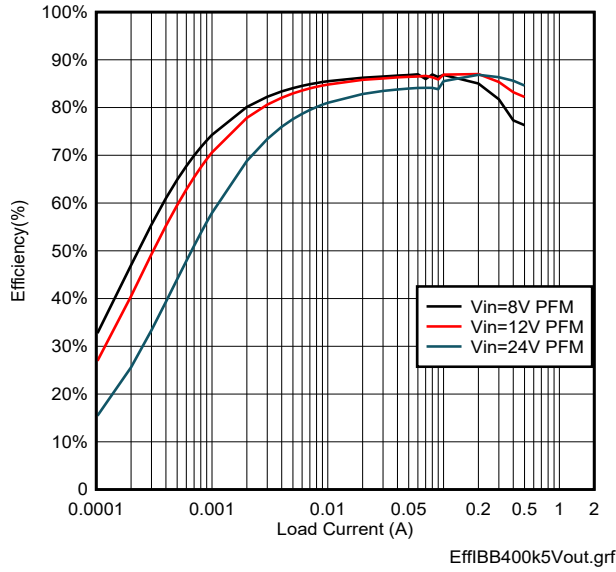


图 4-1. 效率与负载电流间的关系 ( $V_{out}=-5V$ )

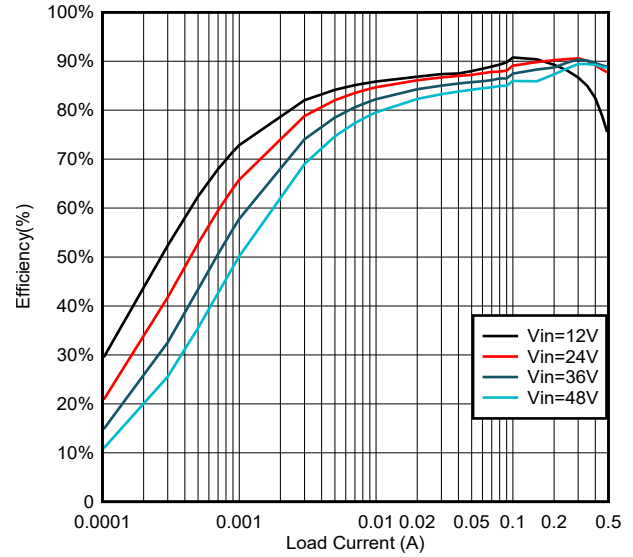


图 4-2. 效率与负载电流间的关系 ( $V_{out}=-12V$ )

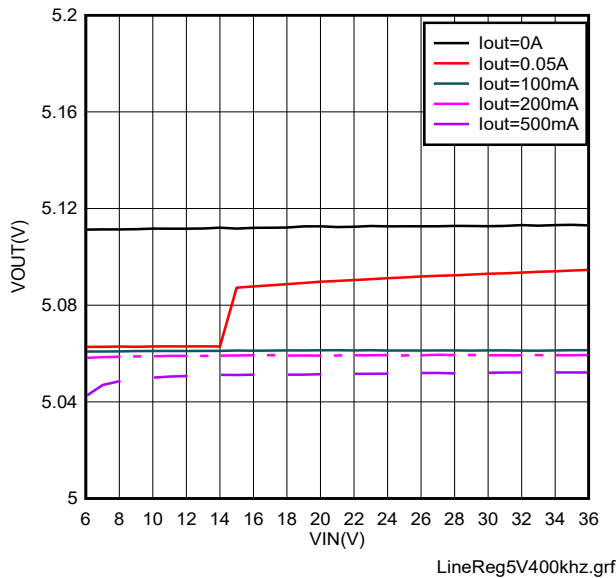


图 4-3. 线性调整率  $V_{out}=-5V$

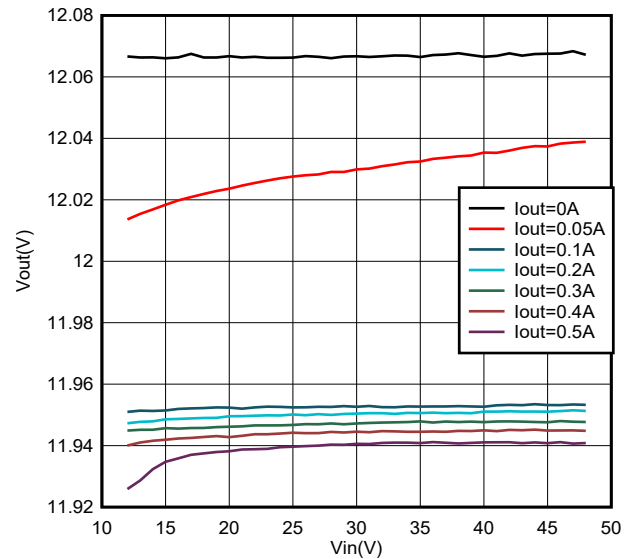


图 4-4. 线性调整率  $V_{out}=-12V$

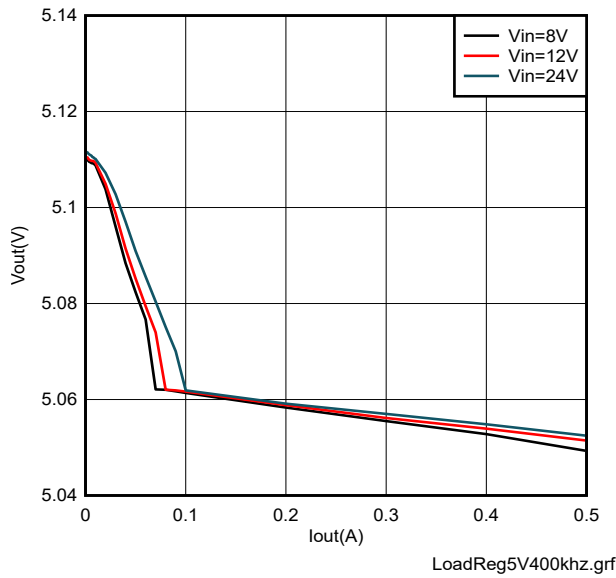


图 4-5. 负载调整率  $V_{out} = -5V$

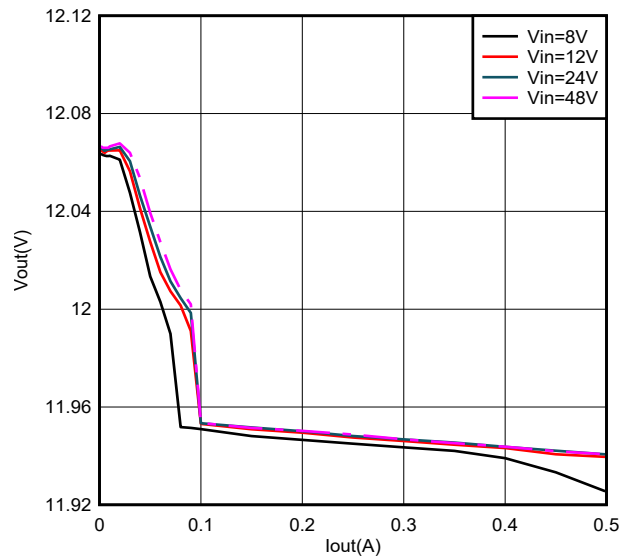


图 4-6. 负载调整率  $V_{out} = -12V$

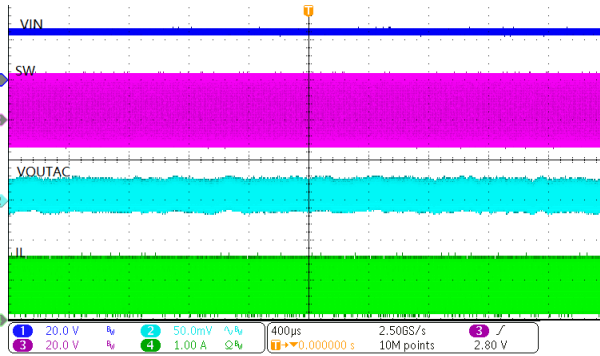


图 4-7. 空载条件下的输出电压纹波

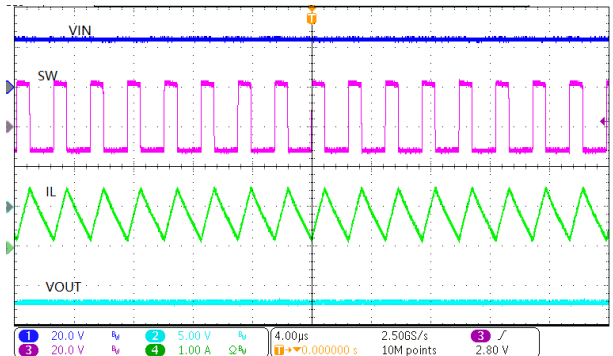


图 4-8. 满载 500mA 时的稳态

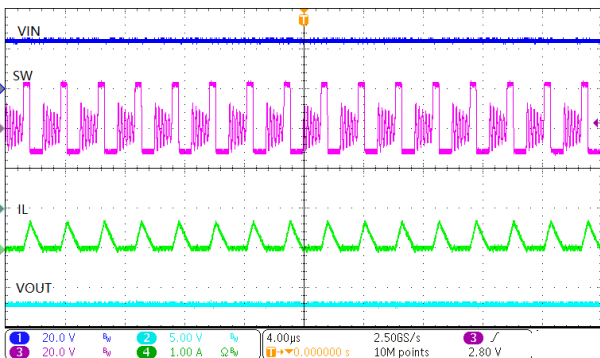


图 4-9. 轻负载 100mA 时的稳态

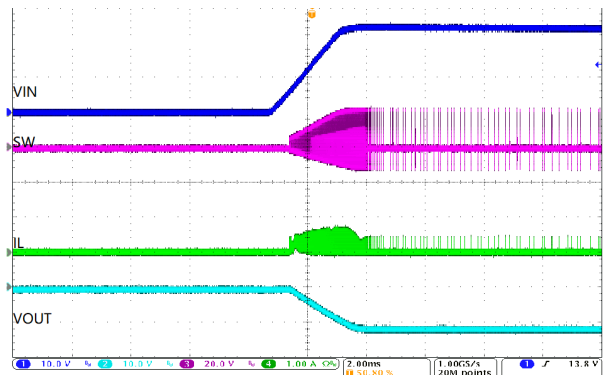


图 4-10. 通过  $V_{in}$  空载启动

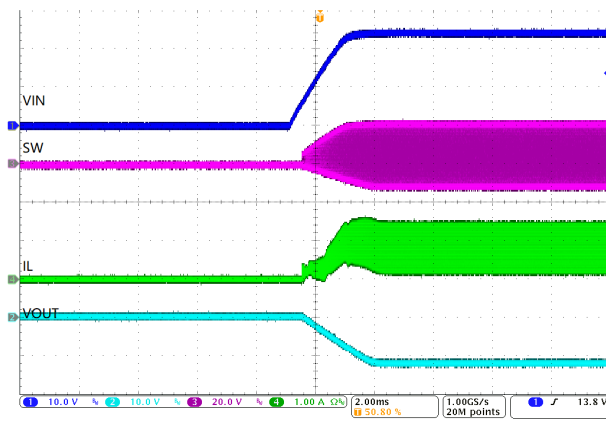


图 4-11. 通过 Vin 500mA 负载启动

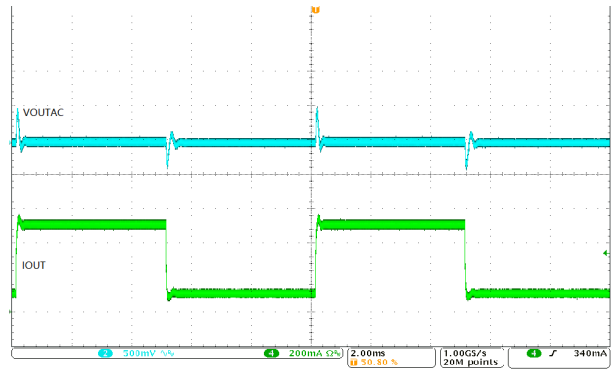


图 4-12. 负载瞬态, 100mA 至 500mA

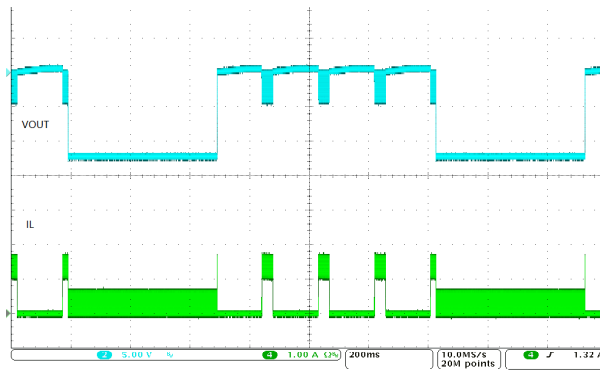


图 4-13. 过流保护



## 4.2 测试台环路响应验证

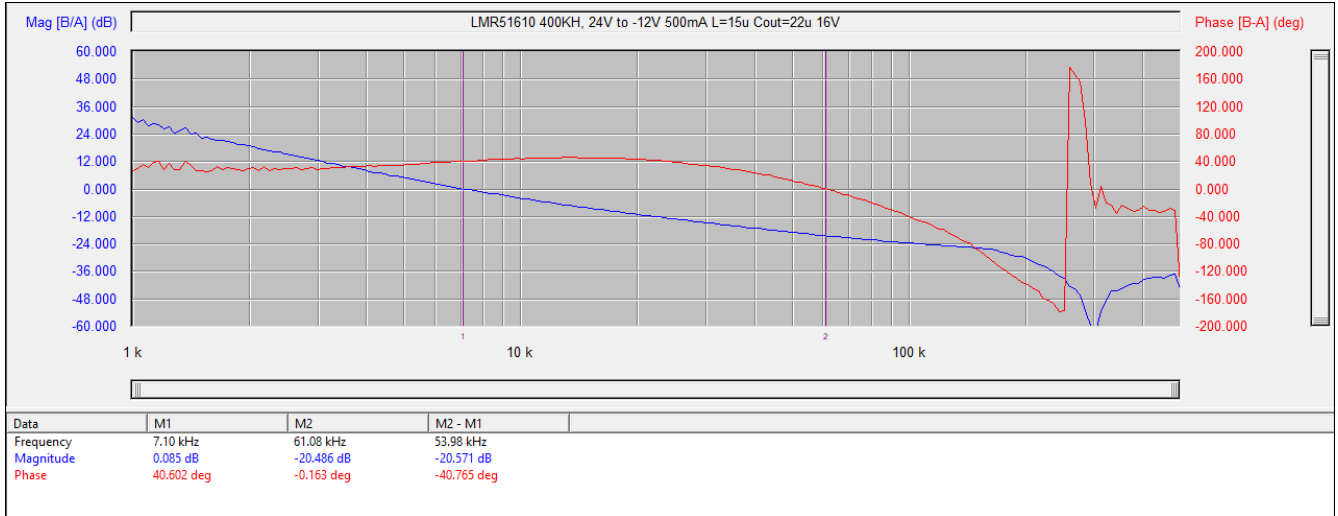


图 4-14.  $V_{IN} = 24V$ 、 $V_O = -12V$ 、 $I_O = 0.5A$  时的波特图测试结果

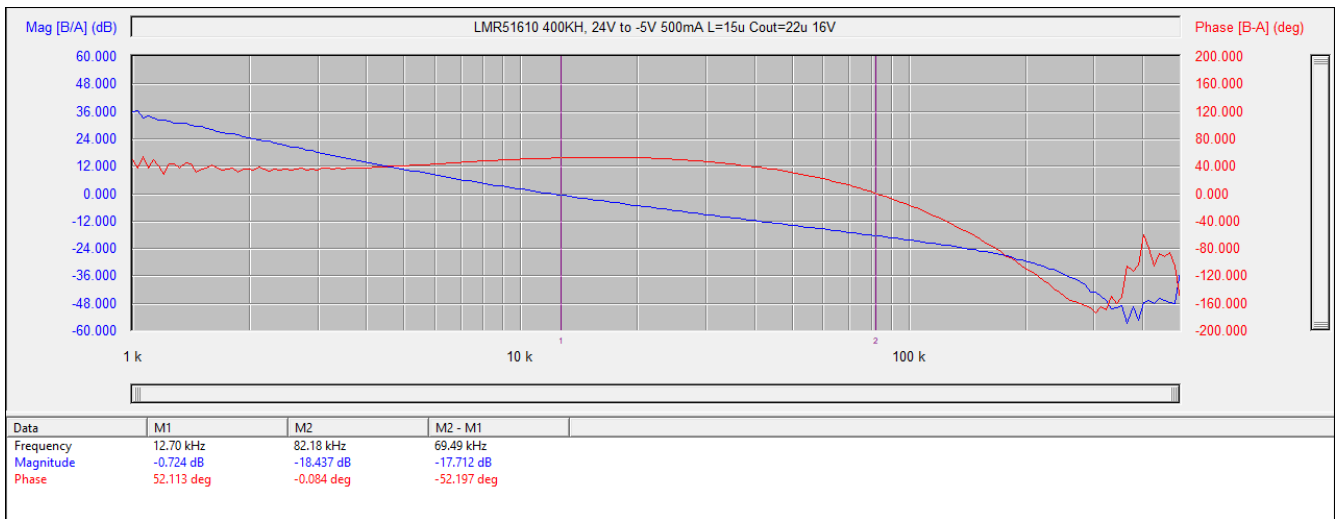


图 4-15.  $V_{IN} = 24V$ 、 $V_O = -5V$ 、 $I_O = 0.5A$  时的波特图测试结果

表 4-1. 测试台环路测试测量结果总结

$V_{IN}$ (V)	$V_O$ (V)	$I_O$ (A)	测量结果		
			$f_c$ (kHz)	增益裕度 (dB)	相位裕度 (°)
24	-12	0.5	7.1	-20.4	40.9
48	12	0.5	8.44	-21.2	45
24	-5	0.5	12.7	-18.4	52.13
48	-5	0.5	12.7	-18	52.5

## 5 结语

LMR51610 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  $-V_{OUT}$  (而不是地) 为基准，因此 LMR51610 的输入电压范围取决于输入电压和  $-V_{OUT}$ 。最大可能输出电流也会受到输入电流和输出电流限制，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 拓扑以及如何选择外部元件的设计示例。数据由测试电路提供。有关该操作的更多信息，请参阅下一页参考中的应用手册。

## 6 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [LMR51610 4V 至 65V、1A 同步降压转换器](#) 数据表。
2. 德州仪器 (TI), [LMR50410 4V 至 36V、1A 同步降压转换器](#) 数据表。
3. 德州仪器 (TI), [LMR51610EVM 用户指南](#)。
4. 德州仪器 (TI), [LMR50410EVM 用户指南](#)。
5. 德州仪器 (TI), [使用反相降压/升压转换器](#) 应用手册。
6. 德州仪器 (TI), [使用同步降压稳压器创建反相电源](#) 应用手册。
7. 德州仪器 (TI), [LM63615-Q1 的反相降压/升压应用](#) 应用手册。

## 7 LMR50410 设计示例

使用相同的引脚排列，可以像本设计中的 IBB 应用那样使用 LMR50410，请注意不同的是开关频率，我们可以用相同的计算方法进行设计并得到结果。

### 7.1 LMR50410 输出电流范围

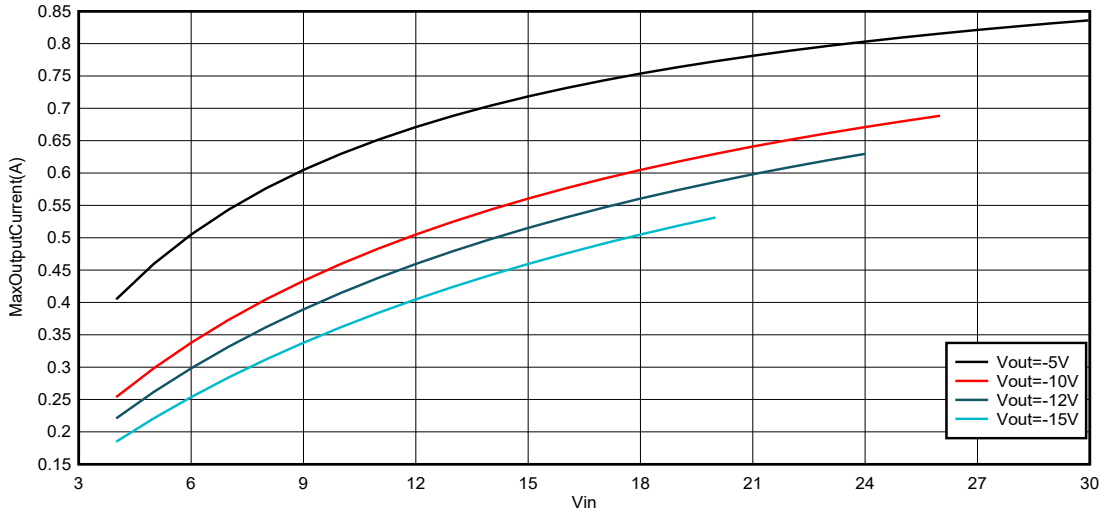


图 7-1. 反相电源的最大输出电流

### 7.2 LMR50410 效率

图 7-2 至图 7-4 显示了图 3-1 设计的实验测试结果。除非另有说明，否则以下条件适用： $V_{IN} = 12V$ ， $I_O = 0.4A$ ， $T_A = 25^\circ C$ 。

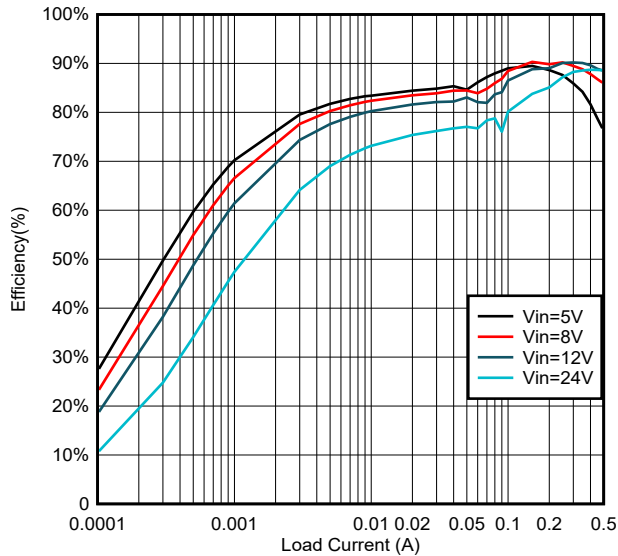


图 7-2. 效率与负载电流间的关系 (Vout=-5V)

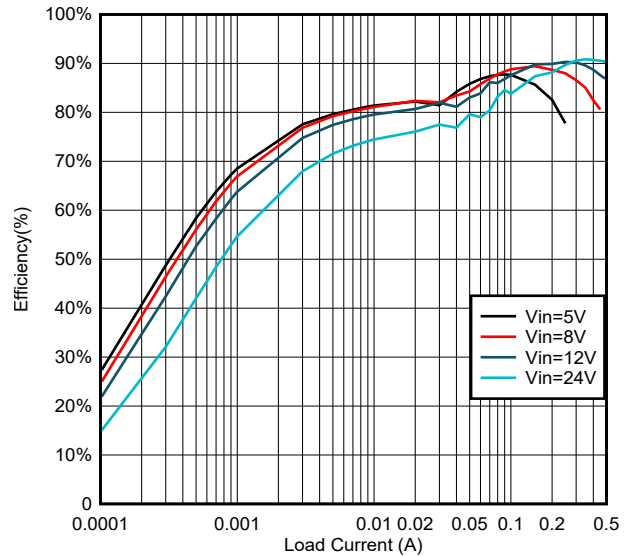


图 7-3. 效率与负载电流间的关系 (Vout=-12V)

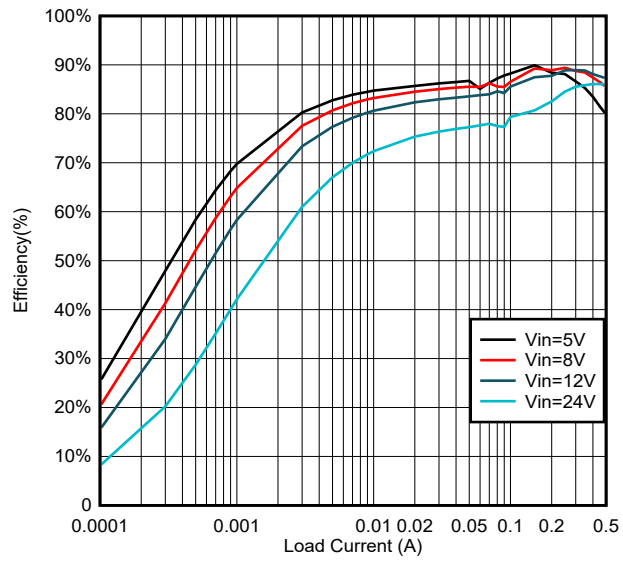


图 7-4. 效率与负载电流间的关系 ( $V_{out}=-3.3V$ )

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司