

Application Note

借助 **TPS546x24y** 系列将输出电压扩展到 **5.5V** 以上



Caleb Perez

摘要

TPS546x24y 系列使用 VOSNS 引脚来检测输出电压，以进行闭环调节。由于 VOSNS 引脚限制为 5.5V，因此需要更高输出电压的应用必须使用外部电阻分压器来调节反馈信号。本应用手册介绍了如何在输出电压超过 5.5V 的情况下设计 VOSNS 电阻分压器，以及对遥测、故障管理和设计限制的影响。

内容

1 简介.....	2
2 原理.....	2
3 设计示例.....	3
3.1 设计要求.....	3
3.2 原理图.....	4
3.3 性能图.....	4
4 遥测.....	12
5 过压和欠压保护.....	13
6 局限性.....	14
7 总结.....	14
8 参考资料.....	15

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

TPS546x24y 系列同步降压转换器使用 VOSNS 引脚来检测输出电压，以进行闭环调节。输出电压可通过调整内部反馈分压器进行数字设置，无需外部反馈电阻器。VOSNS 引脚的绝对最大额定值为 5.5V，并且该器件不允许将输出电压编程为高于此限值。对于需要高于 5.5V 输出电压的应用，必须在 V_{OUT} 网络和 VOSNS 引脚之间使用外部电阻分压器来将检测到的电压调节到引脚的工作范围内，从而使内部反馈比较器能够正确调节更高的输出电压。本应用手册介绍了如何在输出电压超过 5.5V 的情况下设计 VOSNS 电阻分压器，以及分压器对调节精度、遥测、故障处理和实际布局注意事项的影响。表 1-1 列出了本应用手册适用的所有器件型号。

表 1-1. 适用的器件型号

器件型号
SN546D24A
TPS546A24A
TPS546A24S
TPS546B24A
TPS546B24S
TPS546D24A
TPS546D24S
TPS546D24Z
TPSM8D6B24
TPSM8D6C24
TPSM8S6B24S
TPSM8S6C24S

2 原理

当所需的输出电压超过 5.5V 时，必须在 V_{OUT} 网络和 VOSNS 引脚之间放置一个外部电阻分压器，以在引脚的工作范围内调节反馈信号。分压器遵循标准分压器公式：

$$V_{\text{VOSNS}} = V_{\text{OUT}} \times \frac{R_{\text{BOTTOM}}}{R_{\text{TOP}} + R_{\text{BOTTOM}}} \quad (1)$$

其中 R_{TOP} 从 V_{OUT} 连接到 VOSNS 引脚，R_{BOTTOM} 从 VOSNS 引脚连接到 GND。

TPS546x24y 包含一个从 VOSNS 到 GOSNS 的内部电阻分压器，该分压器具有 130kΩ 的标称电阻 (85kΩ - 165kΩ)，可加载任何外部电阻分压器。因此，反馈分压电阻器需要具有小于 1kΩ 的电阻，以避免预期 V_{OUT} 出现较大偏差。节 3 中的示例设计使用 255Ω 的电阻作为 R_{TOP}，并使用 1.02kΩ 的电阻作为 R_{BOTTOM}。由于该电路的敏感性，在任何于 VOSNS 引脚上使用电阻分压器的设计中，均推荐使用公差小于 ±0.5% 的电阻。

选择 R_{TOP} 和 R_{BOTTOM} 后，请验证在整个预期输出电压范围内，调整后的 VOSNS 引脚电压是否会保持在器件的 0.25V 至 5.5V 可编程输出电压范围内。在最大编程输出电压下，V_{VOSNS} 不得超过 5.5V。在最小编程输出电压下，V_{VOSNS} 不得低于 0.25V。

要在给定目标 V_{OUT(max)} 和所选 R_{BOTTOM} 的情况下求解 R_{TOP}：

$$V_{\text{VOSNS}} = V_{\text{OUT}} \times \frac{R_{\text{BOTTOM}}}{R_{\text{TOP}} + R_{\text{BOTTOM}}} \quad (2)$$

其中 V_{VOSNS(max)} = 5.5V

反之，在给定的 V_{VOSNS} 下，计算 V_{OUT} 的公式为：

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{VOSNS}} \times \left(\frac{R_{\text{TOP}}}{R_{\text{BOTTOM}}} + 1 \right) \quad (3)$$

其中 V_{VOSNS} 等于 VOUT_COMMAND 加上 VOUT_TRIM (如果有)。

3 设计示例

3.1 设计要求

此设计使用下表列出的参数。

表 3-1. 设计参数

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IN}	输入电压		11	12	13	V
I_{IN}	输入电流	$V_{IN} = 12V$, $I_{OUT} = 25A$		13		A
V_{OUT}	输出电压	$V_{OUT_COMMAND} = 4.8V$ (由 VSEL 选择), 通过外部电阻分压器衰减至 6V。		6.02		V
I_{OUT}	输出电流范围	$11V \leq V_{IN} \leq 13V$	0		25	A
$\eta_{HALF\ LOAD}$	半负载效率	$V_{IN} = 12V$, $I_{OUT} = 12.5A$		97.1		%
$\eta_{FULL\ LOAD}$	满负载效率	$V_{IN} = 12V$, $I_{OUT} = 25A$		96.2		%
$\Delta V_{TRANSIENT}$	负载瞬态响应	$\Delta I_{OUT} = 10A$, I_{OUT} 转换率 = $1A/\mu s$, $V_{IN} = 12V$		323.9		mV
$\Delta V_{STEADY-STATE\ NO\ LOAD}$	空载稳态输出纹波电压	$I_{OUT} = 0A$		3.45		mV
$\Delta V_{STEADY-STATE\ FULL\ LOAD}$	满负载稳态输出纹波电压	$I_{OUT} = 25A$		3.30		mV
F_{SW}	开关频率	$V_{IN} = 12V$		650		kHz
T_{CASE}	工作外壳温度	$I_{OUT} = 25A$, 浸泡 30 分钟		69.2		°C
$T_{INDUCTOR}$	工作电感器温度	$I_{OUT} = 25A$, 浸泡 30 分钟		67.7		°C

备注

TPS546x24A 补偿和 Pin-Strap 电阻计算器支持计算电压大于 5.5V 时的补偿设置。首先, 将 Pin-Strap 设置设为预衰减的 V_{OUT} , 然后更改 V_{OUT} 单元格以反映实际 V_{OUT} 。当 V_{OUT} 设置为高于推荐最大值时, V_{REF} 单元格会显示警告信息; 但在设计计算表后续的计算过程中, 并不会使用 V_{REF} 的数值, 因此不会影响计算结果。

备注

V_{OUT} 精度取决于外部电阻分压器的精度, 以及器件数据表中列出的指定精度。若要微调 V_{OUT} 精度, 建议更改 $V_{OUT_COMMAND}$ 或 V_{OUT_TRIM} 。

3.2 原理图

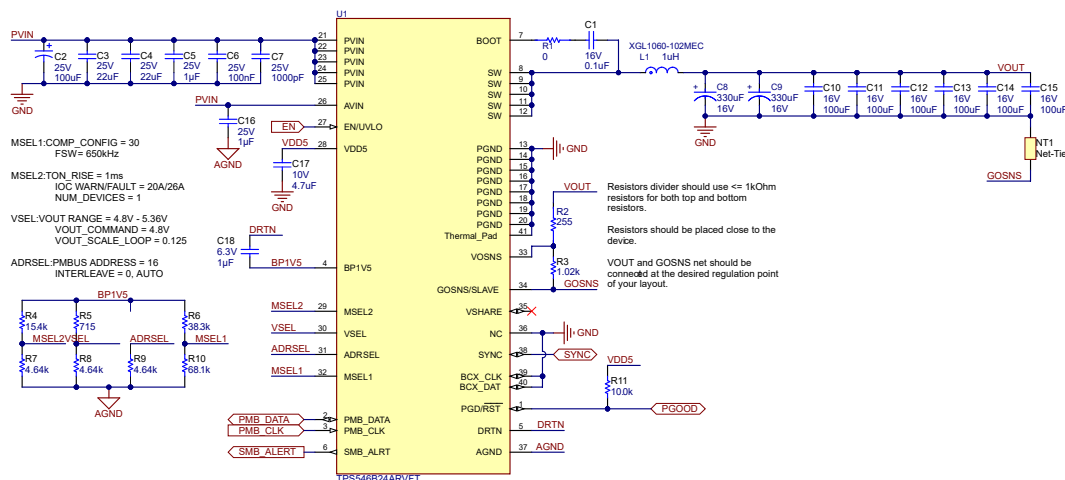
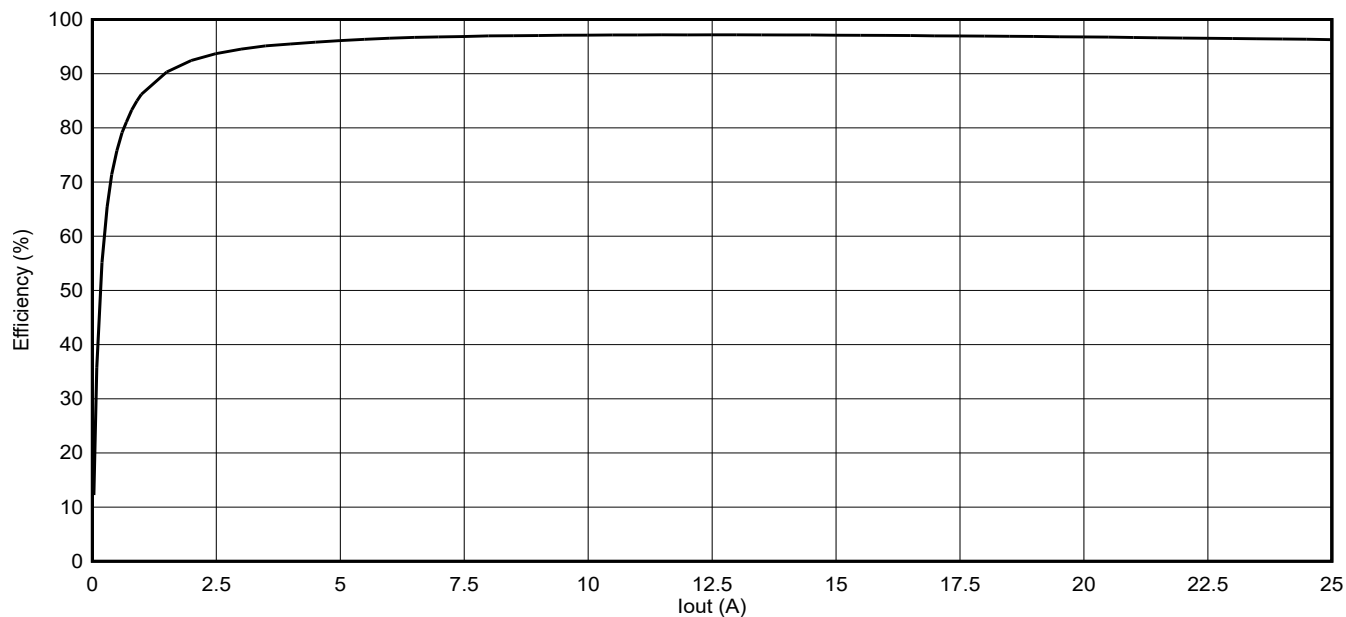


图 3-1. 6V_{out} 应用电路图

备注

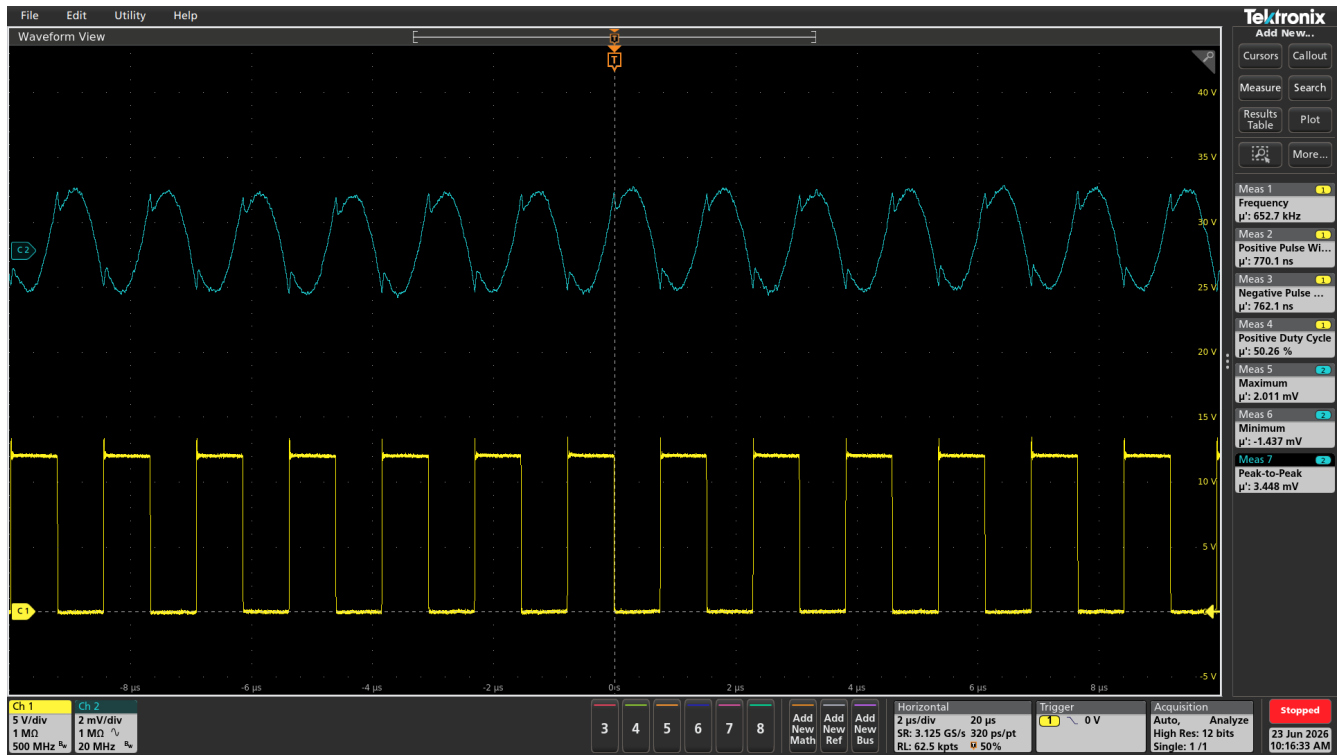
与 VOSNS 引脚上没有电阻分压器的设计类似，必须使用开尔文布线将反馈分压器网络的输入连接到所需的 V_{OUT} 平面调节点。

3.3 性能图



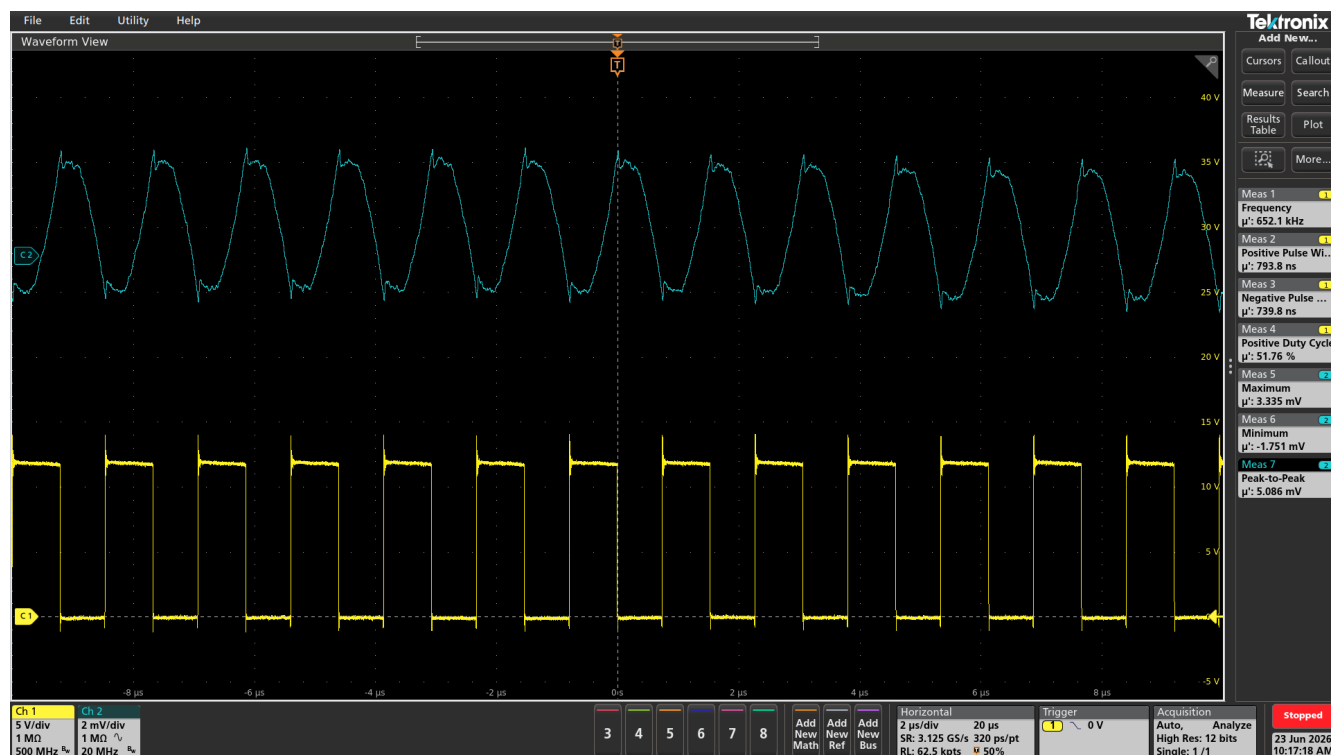
$L = 1 \mu H$	$V_{OUT} = 6V$	$C_{OUT} = 6 \times 100 \mu F$ 陶瓷, $2 \times 330 \mu F$ 聚合物
$V_{IN} = 12V$	$F_{sw} = 650kHz$	内部偏置

图 3-2. 效率



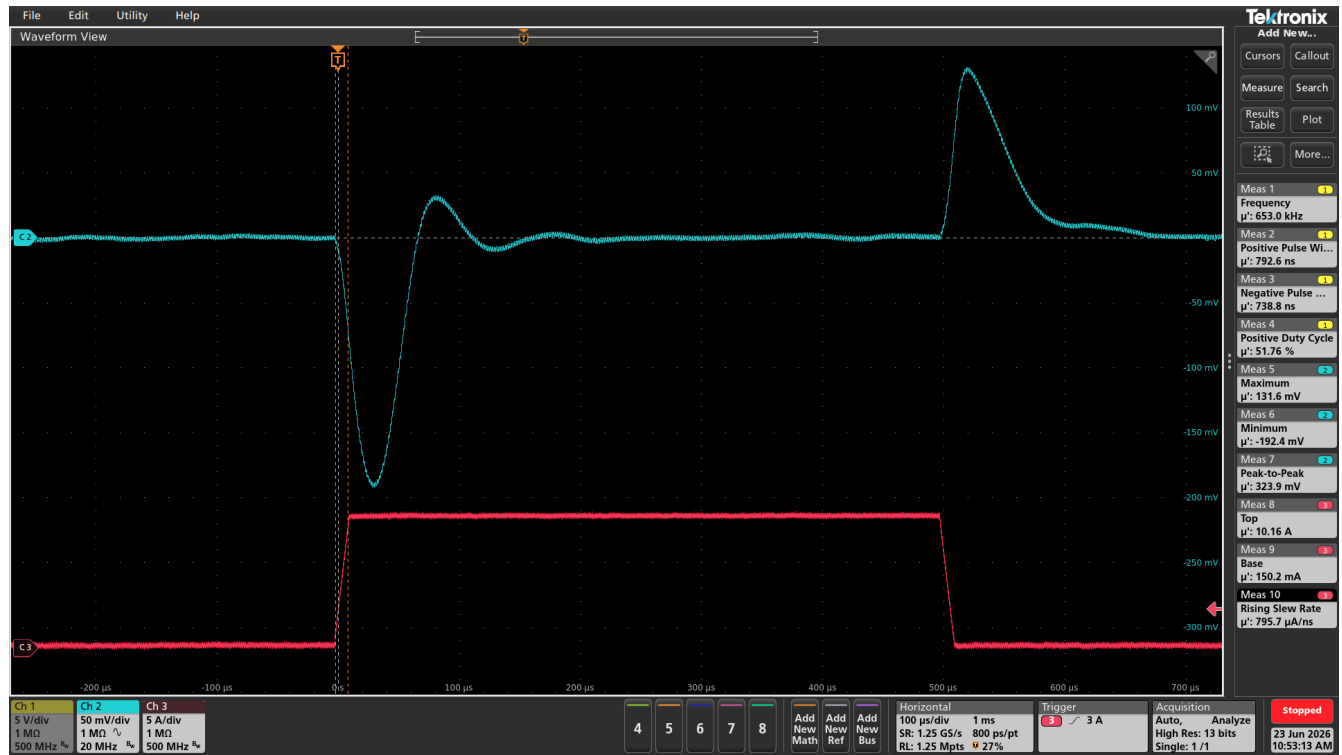
$L = 1 \mu H$	$V_{OUT} = 6V$	$C_{OUT} = 6 \times 100 \mu F$ 陶瓷, $2 \times 330 \mu F$ 聚合物
$V_{IN} = 12V$	$F_{sw} = 650kHz$	内部偏置
CH1 = SW	CH2 = V_{OUT}	

图 3-3. 输出电压纹波 - 0A



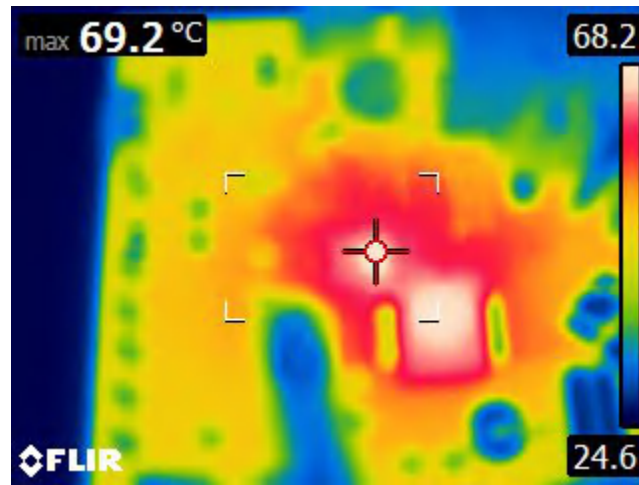
$L = 1 \mu H$	$V_{OUT} = 6V$	$C_{OUT} = 6 \times 100 \mu F$ 陶瓷, $2 \times 330 \mu F$ 聚合物
$V_{IN} = 12V$	$F_{sw} = 650kHz$	内部偏置
CH1 = SW	CH2 = V_{OUT}	

图 3-4. 输出电压纹波 - 25A

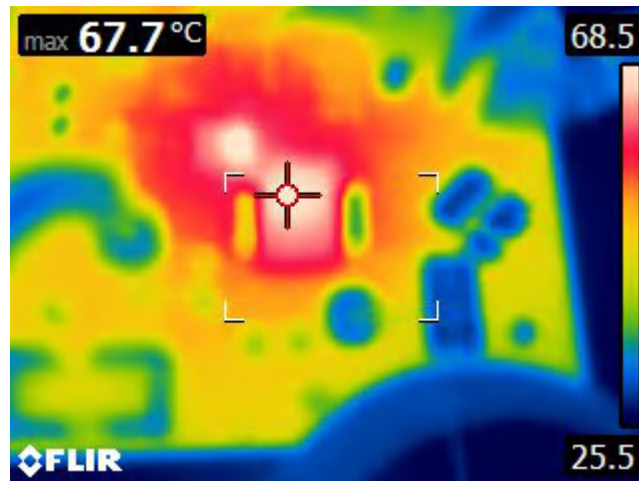


$L = 1 \mu H$	$V_{OUT} = 6V$	$C_{OUT} = 6 \times 100 \mu F$ 陶瓷, $2 \times 330 \mu F$ 聚合物
$V_{IN} = 12V$	$F_{sw} = 650kHz$	内部偏置
$CH2 = V_{OUT}$	$CH3 = I_{LOAD}$	外部直流负载灌入 5A。

图 3-5. 瞬态负载 - 在 $1A/\mu s$ 下为 5A 至 15A

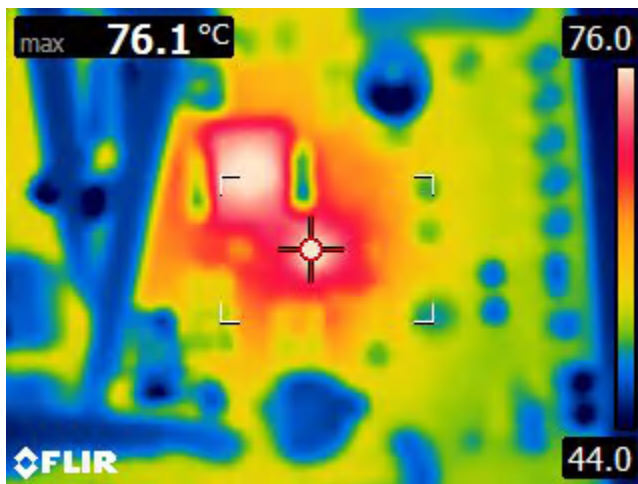


$L = 1\ \mu\text{H}$	$V_{\text{OUT}} = 6\text{V}$	$C_{\text{OUT}} = 6 \times 100\ \mu\text{F}$ 陶瓷, $2 \times 330\ \mu\text{F}$ 聚合物
$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$	$F_{\text{sw}} = 650\text{kHz}$	内部偏置
$I_{\text{OUT}} = 25\text{A}$	空气速度 = 0LFM	

图 3-6. IC 热性能 - $T_{\text{AMBIENT}} = 25^\circ\text{C}$ 

$L = 1\ \mu\text{H}$	$V_{\text{OUT}} = 6\text{V}$	$C_{\text{OUT}} = 6 \times 100\ \mu\text{F}$ 陶瓷, $2 \times 330\ \mu\text{F}$ 聚合物
$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$	$F_{\text{sw}} = 650\text{kHz}$	内部偏置
$I_{\text{OUT}} = 25\text{A}$	空气速度 = 0LFM	

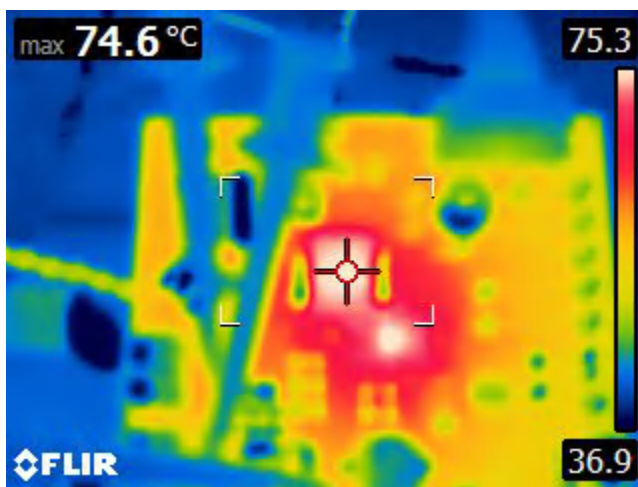
图 3-7. 电感器热性能 - $T_{\text{AMBIENT}} = 25^\circ\text{C}$



备注

$L = 1 \mu H$	$V_{OUT} = 6V$	$C_{OUT} = 6 \times 100 \mu F$ 陶瓷, $2 \times 330 \mu F$ 聚合物
$V_{IN} = 12V$	$F_{sw} = 650kHz$	内部偏置
$I_{OUT} = 25A$	空气速度 = 0LFM	

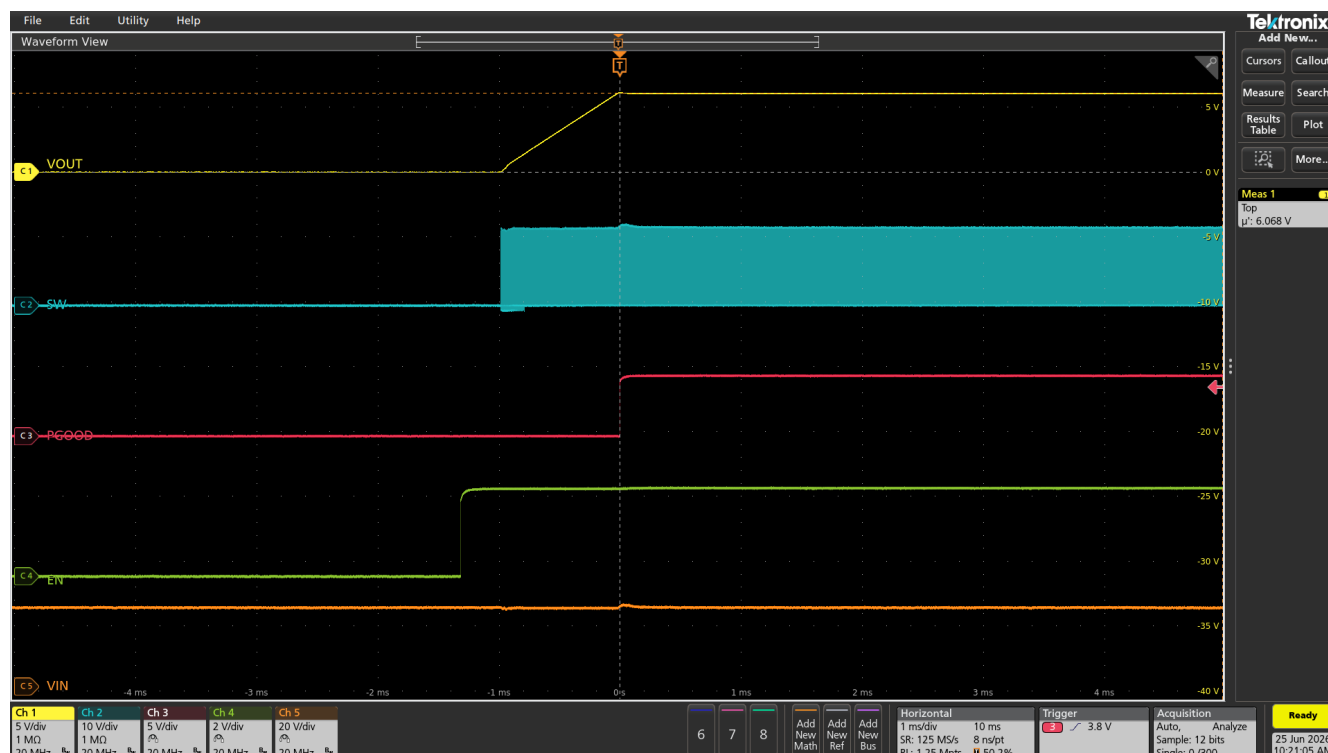
图 3-8. IC 热性能 - $T_{AMBIENT} = 45^{\circ}C$



备注

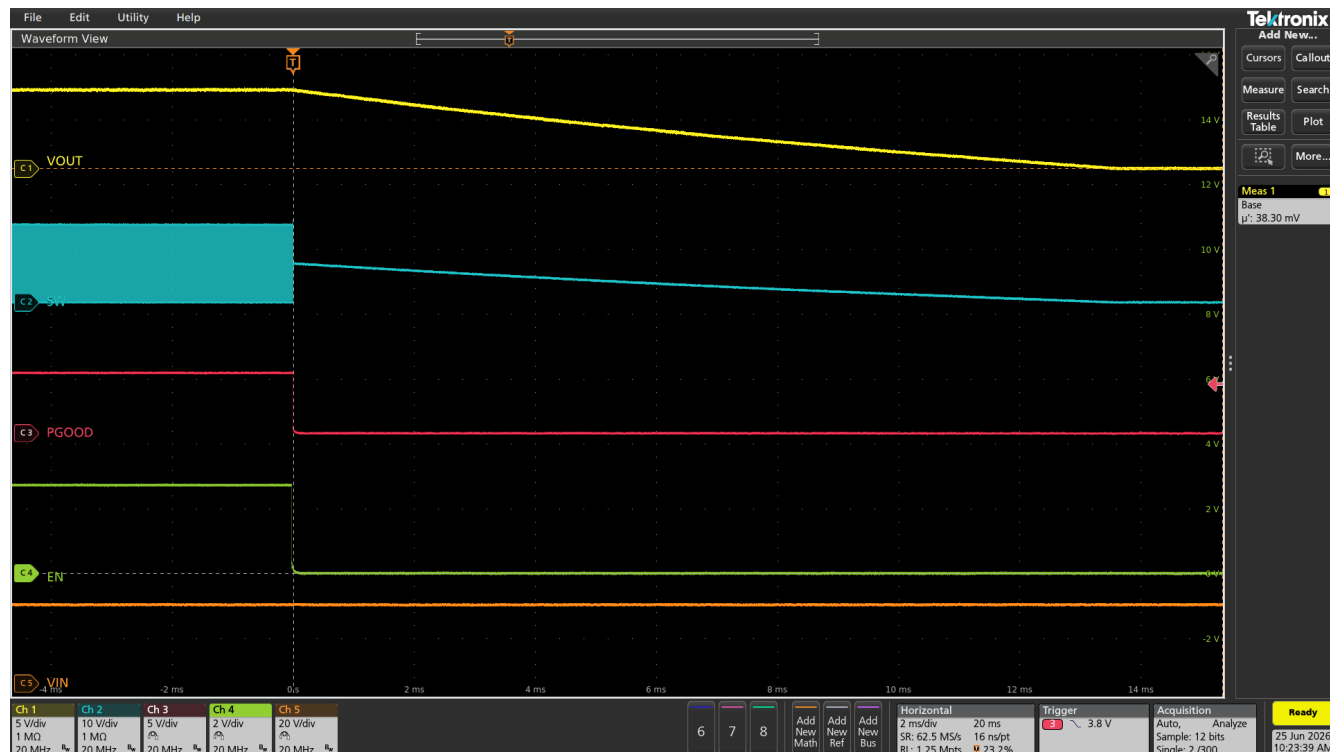
$L = 1 \mu H$	$V_{OUT} = 6V$	$C_{OUT} = 6 \times 100 \mu F$ 陶瓷, $2 \times 330 \mu F$ 聚合物
$V_{IN} = 12V$	$F_{sw} = 650kHz$	内部偏置
$I_{OUT} = 25A$	空气速度 = 0LFM	

图 3-9. 电感器热性能 - $T_{AMBIENT} = 45^{\circ}C$



$L = 1 \mu H$	$V_{OUT} = 6V$	$C_{OUT} = 6 \times 100 \mu F$ 陶瓷, $2 \times 330 \mu F$ 聚合物
$V_{IN} = 12V$	$F_{sw} = 650kHz$	内部偏置

图 3-10. 使用使能信号启动



$L = 1 \mu H$	$V_{OUT} = 6V$	$C_{OUT} = 6 \times 100 \mu F$ 陶瓷, $2 \times 330 \mu F$ 聚合物
$V_{IN} = 12V$	$F_{sw} = 650kHz$	内部偏置

图 3-11. 通过使能信号关断

4 遥测

TPS546x24y 系列器件的输出电压遥测数据是在 VOSNS 引脚上测得的。由于本应用需要在 VOSNS 引脚上连接一个外部分压器，因此报告的电压并非器件的实际输出电压。相反，遥测报告的电压是 VOSNS 引脚上的分压电压。在此设计示例中，遥测寄存器报告为 4.79V。

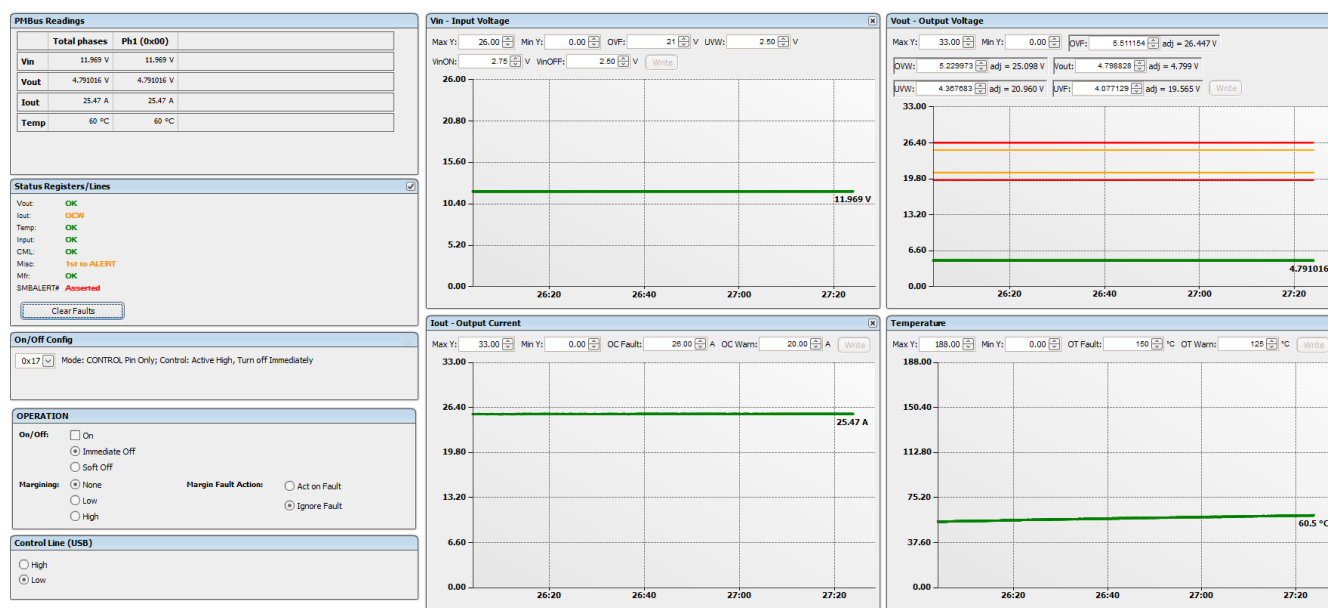


图 4-1. Fusion Digital Power Designer GUI 的 TPS546x24y 遥测页面

要计算实际输出电压，您必须将遥测寄存器报告的值乘以分压比，该分压比可通过[方程式 9](#) 计算。

使用[图 4-1](#) 中的 4.79V 报告值：

$$V_{OUT_ACTUAL} = V_{OUT_TELEMETRY} \times \left(\frac{R_{TOP}}{R_{BOTTOM}} + 1 \right) = 4.79V \times \left(\frac{255\Omega}{1020\Omega} + 1 \right) = 5.99V \quad (4)$$

即使在 VOSNS 引脚上使用了外部分压器，所有其他遥测值也保持不变。

5 过压和欠压保护

TPS546x24y 系列分别通过 PMBus™ 寄存器 (40h)VOUT_OV_FAULT_LIMIT 和 (44h)VOUT_UV_FAULT_LIMIT 利用可编程的过压和欠压保护。VOSNS 引脚上的电压受到监控，以提供过压 (OV) 和欠压 (UV) 保护。

(40h)VOUT_OV_FAULT_LIMIT 的电路实现形式为当前输出电压目标的固定百分比。电路支持的值范围是 VOUT_COMMAND 的 105% 至 140%，步长为 2.5%。禁用输出转换后，电路支持的值范围是 VOUT_COMMAND 的 110% 至 140%，步长为 10%。

(44h)VOUT_UV_FAULT_LIMIT 的电路实现形式为相对于当前输出电压目标的固定百分比。电路支持的值范围是 VOUT_COMMAND 的 60% 至 95%，步长为 2.5%。

为过压和欠压故障限制编程的百分比限制仍适用于本应用，在此应用中，VOSNS 引脚上的电压通过分压器进行降压。TPS546x24y 的默认编程过压和欠压限制分别为 115% 和 85%。

在示例应用中，我们在启动时使用 VSEL 引脚上的 Pin-Strap 网络，将 VOUT_COMMAND 设置为 4.8V。使用我们的默认编程 OV/UV 限制，触发过压保护 (OVP) 所需的 VOSNS 引脚计算电压为：

$$V_{\text{VOSNS_OVP}} = \text{VOUT_COMMAND} \times \text{PROGRAMMED OVP THRESHOLD} \quad (5)$$

$$V_{\text{VOSNS_OVP}} = 4.8\text{V} \times 115\% = 5.52\text{V} \quad (6)$$

以及触发欠压保护 (UVP) 所需的 VOSNS 引脚计算电压为：

$$V_{\text{VOSNS_UVP}} = \text{VOUT_COMMAND} \times \text{PROGRAMMED UVP THRESHOLD} \quad (7)$$

$$V_{\text{VOSNS_UVP}} = 4.8\text{V} \times 85\% = 4.08\text{V} \quad (8)$$

我们现在可以应用位于 VOSNS 引脚上的外部反馈分压器的分压因子：

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{VOSNS}} \times \left(\frac{R_{\text{TOP}}}{R_{\text{BOTTOM}}} + 1 \right) \quad (9)$$

将计算出的 $V_{\text{VOSNS_OVP}}$ 代入 [方程式 9](#) 的 V_{VOSNS} 项中，我们可以求解出触发 OVP 所需的 V_{OUT} 电压：

$$V_{\text{OUT_OVP}} = V_{\text{VOSNS_OVP}} \times \left(\frac{R_{\text{TOP}}}{R_{\text{BOTTOM}}} + 1 \right) = 5.52\text{V} \times \left(\frac{255\Omega}{1020\Omega} + 1 \right) = 6.9\text{V} \quad (10)$$

触发 UVP 所需的 V_{OUT} 为：

$$V_{\text{OUT_UVP}} = V_{\text{VOSNS_UVP}} \times \left(\frac{R_{\text{TOP}}}{R_{\text{BOTTOM}}} + 1 \right) = 4.08\text{V} \times \left(\frac{255\Omega}{1020\Omega} + 1 \right) = 5.1\text{V} \quad (11)$$

为了简化此计算，我们可以观察到计算出的 $V_{\text{OUT_OVP}}$ 是设定的 $V_{\text{OUT}} = 6\text{V}$ 的 115%。计算出的 $V_{\text{OUT_UVP}}$ 是设定的 $V_{\text{OUT}} = 6\text{V}$ 的 85%。

由此，我们可以得出结论：即使在 VOSNS 引脚上连接了电阻分压器，为 OVP/UVP 设定的百分比限制也会等比例对应到 V_{OUT} 电压。

备注

尽管 VOSNS 引脚的绝对最大额定值为 5.5V，但 VOSNS 引脚具有足够的裕度，可以在不使用任何外部分压器的情况下，通过 VOUT_COMMAND 更改支持高达 $6V_{\text{OUT}}$ 的电压。此方法的注意事项是存在延迟，因为必须先将系统启动至 5.5V，然后在系统初始化后使用 VOUT_COMMAND 将 V_{OUT} 编程设定为 6V。

6 局限性

只要 V_{VOSNS} 保持低于其 5.5V 的绝对最大额定值，并且 V_{in} 与 V_{out} 之间具有足够的电压裕量以补偿转换效率带来的损耗，同时不违反控制高侧 FET 和低侧 FET 的 PWM 控制器的最小 T_{on} 和最小 T_{off} 限制，器件即可调节至设定的 V_{out} 。以下公式可用于确定设计的限制：

$$f_{SW(MAX)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)} \times t_{OFF(MIN)} \times \eta} \quad (12)$$

$$V_{OUT(MAX)} = V_{IN(MAX)} \times (1 - f_{sw} \times t_{OFF(MIN)}) \times \eta \quad (13)$$

其中，TPS546x24y 的 $t_{OFF(MIN)}$ 为 400ns 标称值和 500ns 最大值。我们建议读者在任何最大 V_{OUT} 和 f_{sw} 计算中使用 500ns 的最大 $t_{OFF(MIN)}$ 。

对于更高的 V_{OUT} 值，在假设采用低 DCR 电感器的情况下，对效率的保守假设为大于等于 90%。在大规模生产之前，必须在评估板上验证正确的转换。

7 总结

通过在 V_{OUT} 和 VOSNS 引脚之间放置一个外部电阻分压器，TPS546x24y 系列可支持高于 5.5V 的输出电压，并在引脚的 0.25V – 5.5V 工作范围内调节反馈信号。

分压电阻必须为 1k Ω 或更低，以避免 TPS546D24A 内部 VOSNS 至 GOSNS 电阻产生负载误差。

如果设计人员选择使用 VOUT_TRIM 对 V_{OUT} 进行微调，则可以将写入 VOUT_TRIM 的值添加到[方程式 3](#)中的 V_{OUT} ，以计算新的 V_{OUT} 。

在使用 TPS546B24A (12V 输入、25A、650kHz)、 $R_{TOP} = 255\Omega$ 、 $R_{BOTTOM} = 1.02k\Omega$ 的 6V 输出设计中，可实现 96.2% 的满负载效率、满负载条件下 3.30mV 的输出纹波，以及在 10A 阶跃、转换率为 1A/ μ s 时，实现了 323.9mV 的瞬态电压偏移。

遥测报告衰减的 VOSNS 电压，而不是实际输出电压；使用[方程式 4](#) 计算实际的 V_{OUT} 。

过压和欠压故障阈值（默认分别为 VOUT_COMMAND 的 115% 和 85%）作用于 VOSNS 引脚电压，并且即使使用了外部分压器，也能正确调节至 V_{OUT} 。

最大输出电压和开关频率受 PWM 控制器 500ns 最小 t_{OFF} 的限制；在生产前，应使用[节 6](#) 中提供的公式验证余量。

对于 5.5V 或略高于 5.5V 的输出电压，另一种方法是将器件启动至 5.5V，然后通过 PMBus 写入 VOUT_COMMAND 对 V_{OUT} 进行设置，从而完全无需使用外部分压器。

即使输入高于 5.5V 的 V_{OUT} 值，设计人员仍可使用 [TPS546x24A 补偿与 Pin-Strap 电阻计算器](#) 来确定补偿设置。

8 参考资料

- 德州仪器 (TI) , [TPS546B24A 2.95V 至 18V、20A、高达 4× 可堆叠、PMBus® 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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月