

Technical Article

电源设计小贴士：计算负载瞬态的电容



John Betten

降压转换器中的输出电容通常会根据所需的输出纹波电压电平来选择。在许多情况下，计算出的电容值可能会相当小，故而只需使用单个陶瓷电容器即可。此外，由于陶瓷电容器具有极低的等效串联电阻 (ESR)，它们对输出纹波的影响将微乎其微。这是一个绝佳方案，因为它可以保持较低成本，因此电容越小越好。

但是，如果在推进设计后，您在测试期间发现负载瞬态导致输出电压降至无法接受的低电平，该怎么办？在这种情况下，唯一的解决方案是针对输出使用更大的电容，而这会迫使您采用新的印刷电路板 (PCB) 布局。

我有一种简单的计算方法可以用来防止这种灾难。

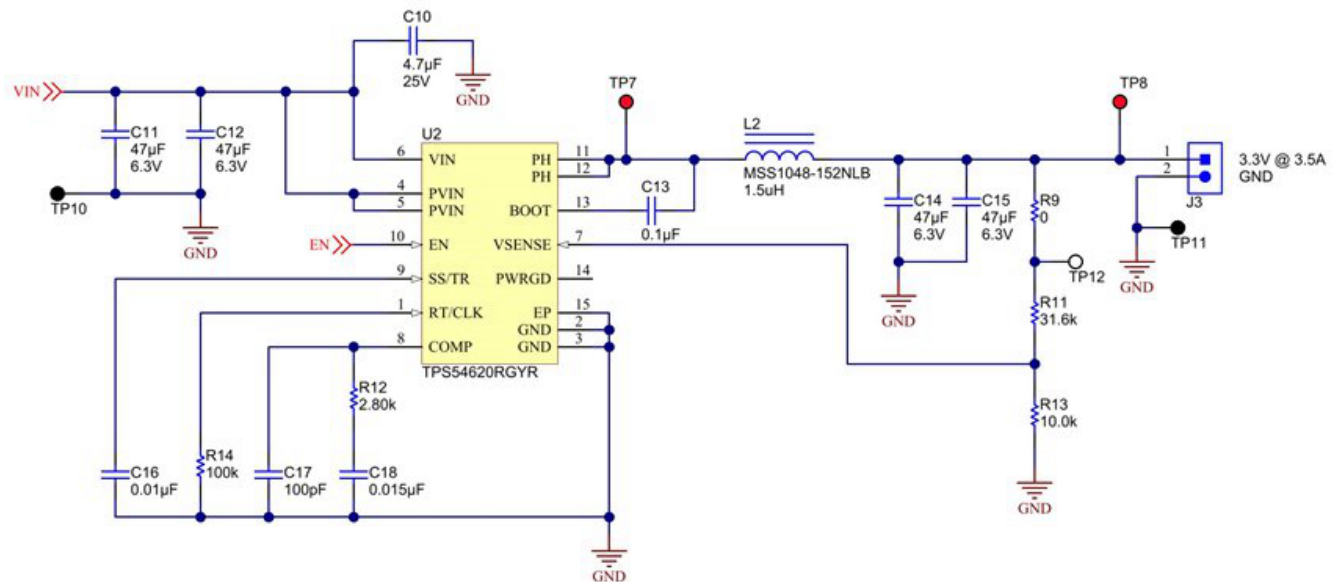


图 1. 采用陶瓷输出电容器的 TPS54620 同步降压转换器

图 1 详细介绍了一款输出电容显著增加的最新设计。为了真正了解负载瞬态性能的情况，我创建了图 2 中所示的仿真模型。我使用该模型绘制了开环和闭环输出阻抗图，以及环路增益图（或转换器带宽图）。开环输出阻抗就是转换器输出端在反馈禁用时的阻抗。此设计采用电流模式控制，因此电感器充当恒定电流源，并且不会在阻抗图中显示。然而，如果此设计采用电压模式控制，则开环输出阻抗图将在 L-C 谐振频率处出现一个峰值。

该电感器的影响不容忽视。较小的电感值使转换器能在瞬态期间更快地提升其输出电流，因此电感值不应调整至过大，以免响应速度慢于带宽。图 2 中的开环输出阻抗图建模为单个 58µF 输出电容器，且与小型 ESR 和引线电感串联。两个具有 3.3VDC 偏置的 47µF 6.3V 电容器的有效输出电容为 58µF。此图在频率低于 500kHz 时表现为电容性，斜率为 -1，在频率高于 500kHz 后则变为电感性。

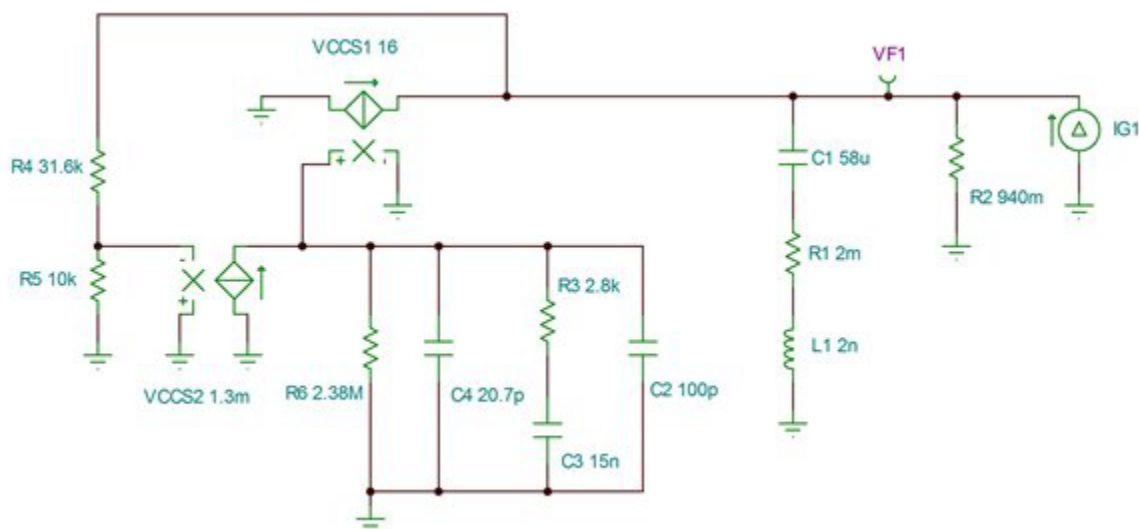


图 2. 显示闭环输出阻抗的 TPS54260 仿真模型

闭环输出阻抗为开环阻抗除以 $(1 + \text{环路增益})$ 。转换器的带宽即为环路增益等于 1 时的频率。在高于此频率时，反馈对输出阻抗几乎无益，原因是开环图和闭环图在此处趋于重合。在低于转换器的带宽时，反馈环路中的高增益会降低有效输出阻抗。闭环阻抗的峰值与环路带宽密切相关。这一点很重要，因为负载瞬态引起的输出电压变化等于该阻抗乘以负载阶跃。由于该阻抗与输出电容器在转换器带宽下的阻抗几乎相同，因此可以使用此值来近似估算负载阶跃响应。

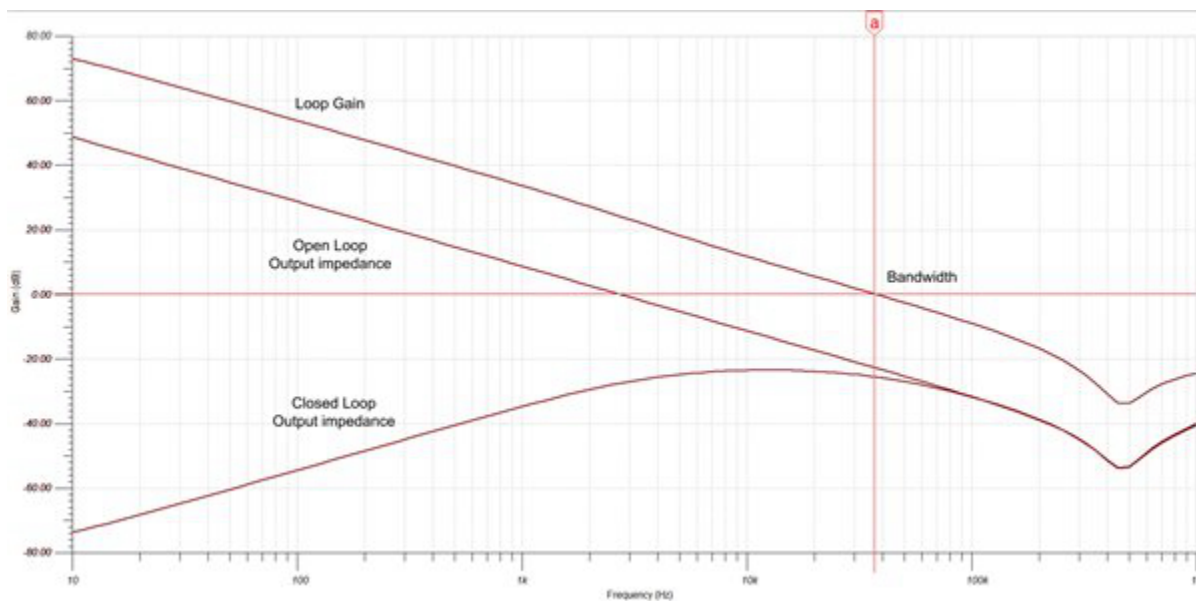


图 3. 仿真测试表明，闭环输出阻抗在环路带宽频率附近达到最大值

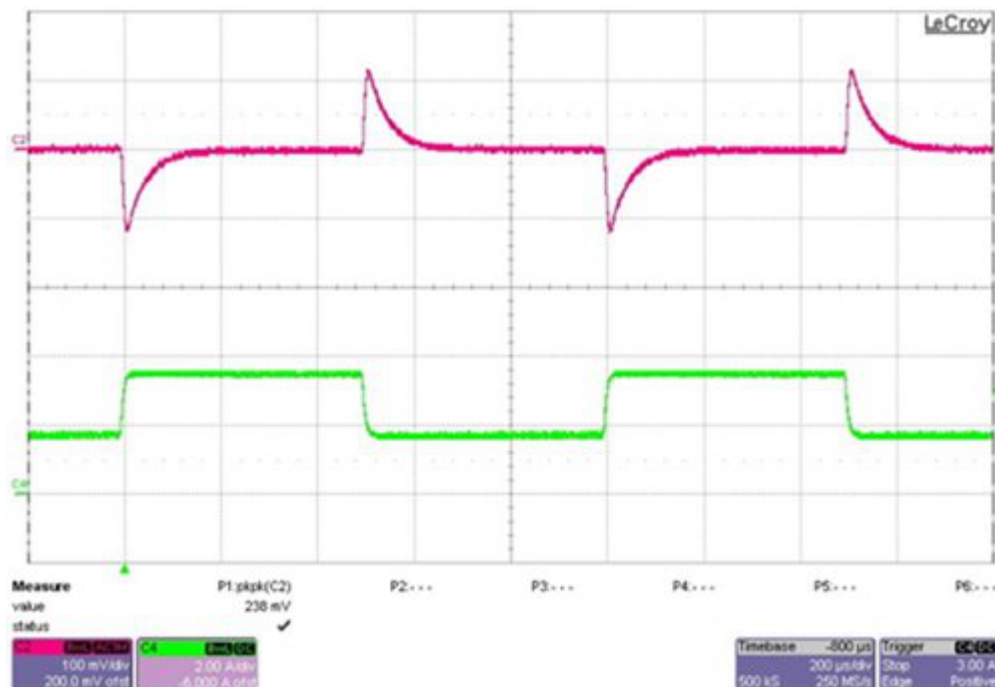


图 4. 1.75A 负载瞬态阶跃导致 115mV 输出电压变化的电路测试

电容器的阻抗为 $Z = 1 / (2\pi \times f \times C)$ ，因此如果将其设置为 $\Delta V_{out} / \Delta I_{tran}$ ，就可以得到公式 图 5 中所示的负载阶跃近似值：

$$\Delta V_{out} = \frac{\Delta I_{tran}}{2\pi f_{BW} C_{out}}$$

图 5. (1)

图 4 展示的是一项实验室测试。在测试中，1.75A 的负载阶跃带来 115mV 的输出压降。公式 图 5 使用测得的 38KHz 带宽进行计算，估算结果为 126mV。

公式 图 5 可对负载电流瞬态所需的陶瓷输出电容进行合理估算。在许多情况下，此计算得出的电容值可能会明显大于低稳态纹波电压所需的值。您只需要对转换器的带宽进行合理估算即可。请记住，具有高 ESR 的电容器（或使用混合电容器类型）可能会提升预期电压，因此可能需要格外谨慎（或进行仿真）。

其他资源

- 了解最新的[电源设计小贴士视频系列](#)
- 查看《[电源设计小贴士集锦](#)》电子书

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