

## Application Note

利用具备 I<sup>2</sup>C 通信接口的降压转换器获益

Dorian Brillet de Candé

## 摘要

本应用报告展示了使用具备 I<sup>2</sup>C 通信接口的降压转换器所带来的好处。电源管理器件的控制功能和状态信息读取惠及若干应用。TI 提供了具备 I<sup>2</sup>C 通信接口的降压转换器，该接口注重设计灵活性，同时保持较小的解决方案尺寸。

## 内容

1 引言.....	2
2 智能路由和微型 IC 封装.....	2
3 可选强制 PWM/PSM 运行.....	3
4 运行期间动态输出电压调整.....	4
5 散热注意事项.....	5
6 压降补偿.....	7
7 具备 I <sup>2</sup> C 接口的降压转换器选择表.....	8
8 结论.....	10
9 参考文献.....	10
10 修订历史记录.....	10

## 插图清单

图 2-1. TPS62861 无通孔连接所有引脚的布局.....	2
图 3-1. TPS62866 节能模式和强制 PWM 模式下效率与负载电流间的关系.....	3
图 3-2. TPS62866 采用节能模式 (左) 和采用强制 PWM 模式 (右) 时的输出电压纹波.....	3
图 4-1. TPS62869 为 LPDDR5 DRAM 上的所有电源轨供电, 并在 VDDQ 电源轨上进行动态输出电压调整.....	4
图 4-2. 20mV/us 压摆率下的 0.5V 至 0.3V 输出转换, IOU <sub>T</sub> = 100mA, 在启用更改期间不采用 FPWM 模式 (左) 和采用 FPWM 模式 (右).....	5
图 5-1. 堆叠配置中的两个 TPS62873-Q1 器件.....	6
图 6-1. TPS62876-Q1 在禁用 (左) 和启用 (右) 压降补偿情况下的负载瞬态响应.....	7

## 表格清单

表 4-1. DVFSQ 转换的最大 VDDQ 斜坡速率.....	4
表 6-1. 20A/us 负载变化的负载瞬态响应, 峰峰值.....	7
表 7-1. 使用 I <sup>2</sup> C 通信接口的直流/直流转换器建议.....	8

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

谈到电源管理，许多系统受益于已具有内置功能的降压转换器。然而，要添加更多功能，需要更多的引脚来实现。提供更多功能可能与提高功率密度的需求相矛盾。为了同时实现这两个目标，一些降压转换器使用 I<sup>2</sup>C 接口，该接口使数字通信能够控制此类功能、读取状态信息或根据系统工作条件调整降压转换器控制模式。

## 2 智能路由和微型 IC 封装

正确的引脚分配对于确保元件便于放置和设计尺寸较小至关重要。同样重要的是，要能够轻松地接触到器件封装上提供的所有引脚。要集成 I<sup>2</sup>C 通信接口，需要添加两个额外的逻辑引脚 SDA 和 SCL。为便于布线而无需昂贵的微型通孔，应在器件外部添加 I<sup>2</sup>C 引脚。

TPS62861 将灵活的设计和较小的设计尺寸融为一体。TPS62861 封装在 8 引脚微型 0.7mm x 1.4mm 晶圆级芯片封装 (WCSP) 中。图 2-1 显示了 TPS62861 的 PCB 布局，该布局针对 12mm<sup>2</sup> 的设计尺寸进行了优化，并且所有引脚都可以从封装外部触及。连接到 IC 不需要通孔。

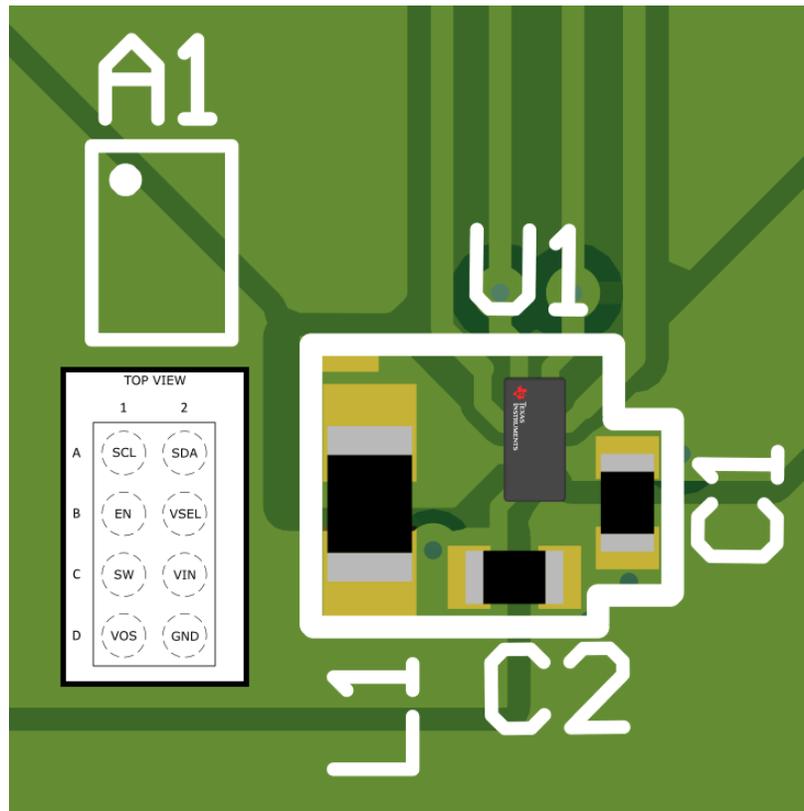


图 2-1. TPS62861 无通孔连接所有引脚的布局

**布局至关重要：解决 WCSP 封装中直流/直流转换器的引脚分配问题** 是一篇技术文章，旨在介绍良好的引脚分配如何有助于实现小型且简单的具备 I<sup>2</sup>C 通信接口的直流/直流转换器。

### 3 可选强制 PWM/PSM 运行

电池供电的应用需要降压转换器以在轻负载条件下提供高效率，从而降低功耗并确保电池长时间运行。因此，许多降压转换器实施节能模式 (PSM) 运行，这种运行方式可在轻负载条件下自动降低开关频率。然而，开关频率降低会增加输出电压纹波。对于某些敏感负载，较高的输出电压纹波幅度以及较低的开关频率可能是不可接受的。

TPS62866 的控制寄存器中提供了一个启用 *FPWM* 模式位。启用该位将强制进入 PWM 模式运行，以实现更小的输出电压纹波。图 3-1 显示了 TPS62866 效率曲线差异，而图 3-1 显示了输出纹波差异。TPS62866 的  $4\mu\text{A } I_Q$  为许多便携式应用提供了较高的轻负载效率。

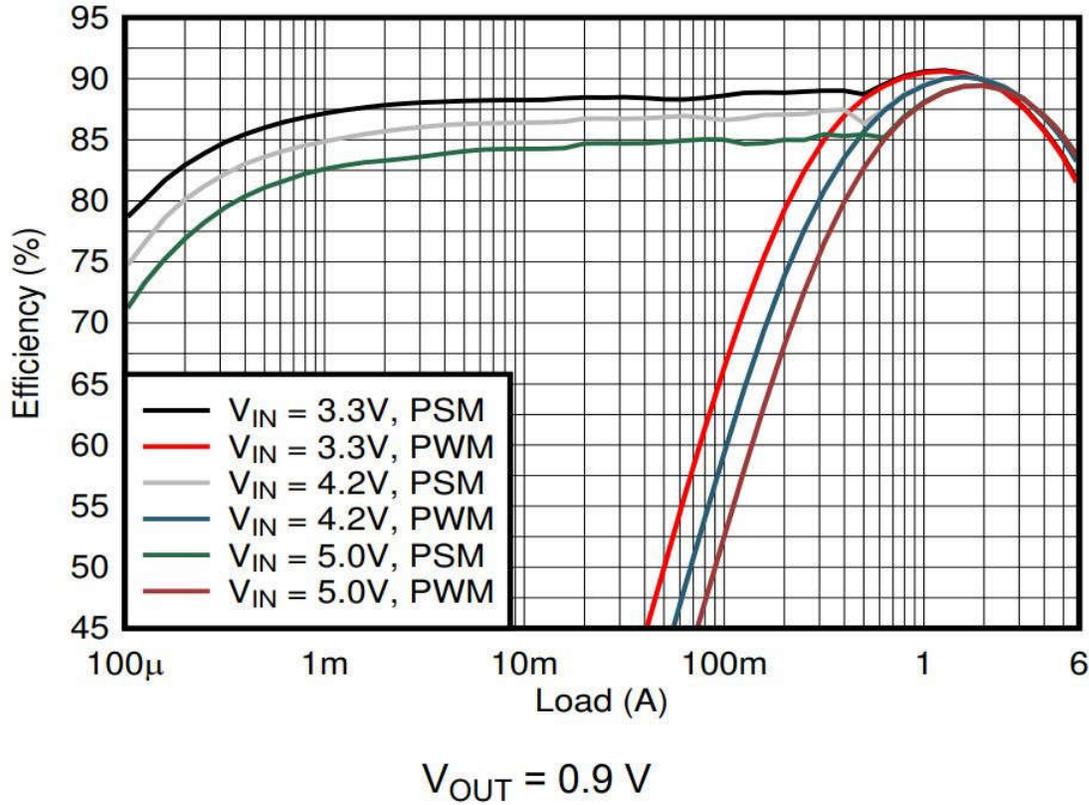


图 3-1. TPS62866 节能模式和强制 PWM 模式下效率与负载电流间的关系

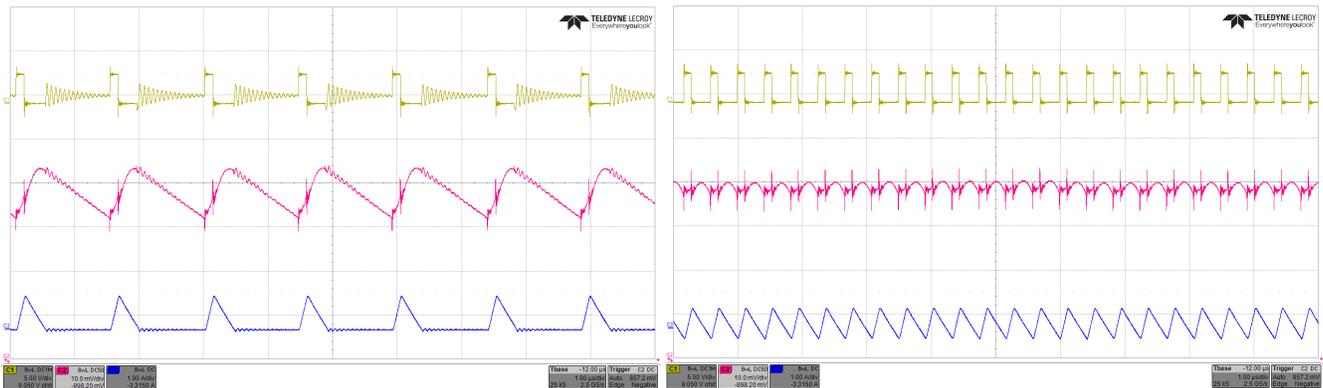


图 3-2. TPS62866 采用节能模式 (左) 和采用强制 PWM 模式 (右) 时的输出电压纹波

运行条件： $V_{IN}=3.3V$ ， $V_{out}=0.9V$  且  $I_{out}=100mA$

## 4 运行期间动态输出电压调整

I<sup>2</sup>C 接口支持在运行期间调整输出电压。通常采用一个或多个 I<sup>2</sup>C 寄存器设置输出电压，并且可以在运行期间直接重新写入这些寄存器。一些器件还包含 VID 或 VSEL 引脚，用于在两个或更多输出电压之间切换。在这种情况下，仍可以在运行期间根据需要重新写入这些寄存器，也可以对这些寄存器一次写入至特定的工作电压。

例如，LPDDR5 DRAM VDDQ 电源轨可以设置为 0.5V 或 0.3V。通过重写 I<sup>2</sup>C 寄存器以更改输出电压，或使用 VID 引脚更改为具有不同输出电压的不同 I<sup>2</sup>C 寄存器，可以实现此电压更改。LPDDR5 DRAM 与前几代相比，提供了额外的节能效果。在空闲状态下，此时 LPDDR5 DRAM 处于低功耗工作状态下，存储器控制器可以使用 LPDDR5 DRAM 的动态电压和频率缩放 VDDQ (DVFSQ) 功能同时降低电源电压和工作频率。

图 4-1 显示了为 LPDDR5 存储器供电的典型方框图，在 VDDQ 电源轨上进行了动态输出电压调整。

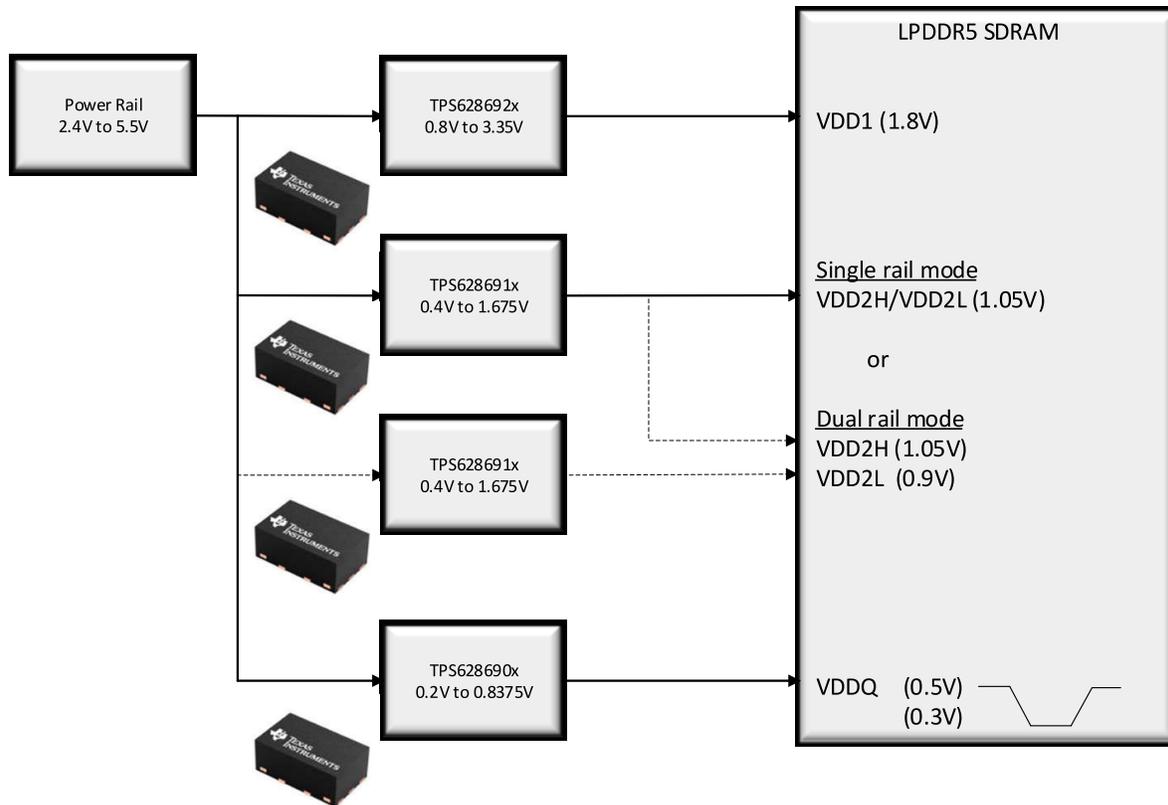


图 4-1. TPS62869 为 LPDDR5 DRAM 上的所有电源轨供电，并在 VDDQ 电源轨上进行动态输出电压调整

系统设计确定是否将使用双电源轨模式来实现额外的节能。与 VDDQ 电源轨 (可动态更改) 不同，VDD2H/L 始终在固定电压下运行，无论是使用单电源轨还是双电源轨模式。

TPS62869 提供不同的电压斜坡速度，使系统工程师能够为 DVFSQ 由低电平到高电平转换选择正确的条件。例如，如果在 VDDQ 恢复到 0.5V 标称水平，以进行高速运行时需要快速响应，TPS62869 可以将其电压斜坡速度从 1mV/us 调整到 20mV/us。

表 4-1 显示 DVFSQ 转换的最大 VDDQ 斜坡速率。

表 4-1. DVFSQ 转换的最大 VDDQ 斜坡速率

VDDQ 压摆率	最大值	单位
快速响应模式 (大电流)	20	mV/us
正常运行 (默认)	4.8	mV/us

此外，可以启用操作参数（例如输出电压变化期间的强制 PWM 模式），以满足 VDDQ 由低电平到高电平转换期间的严格定时要求。这样可在较低的工作状态下进行快速转换，并可防止输出级的缓慢放电，以限制低负载条件下的电压斜坡速度。

图 4-2 显示了在 100mA 负载条件下输出电压变化期间，采用和不采用强制 PWM 模式时的 0.5V 至 0.3V 转换示例。

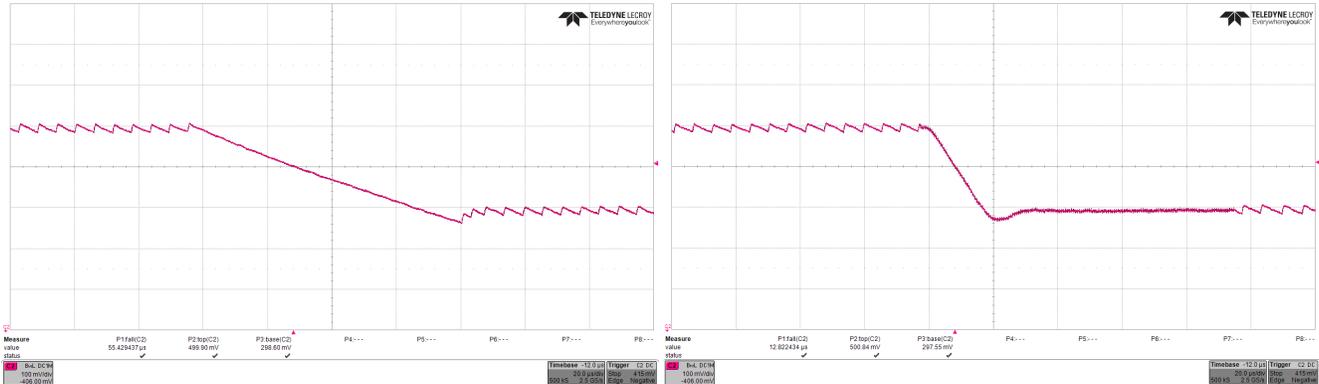


图 4-2. 20mV/us 压摆率下的 0.5V 至 0.3V 输出转换， $I_{OUT} = 100\text{mA}$ ，在启用更改期间不采用 FPWM 模式（左）和采用 FPWM 模式（右）

## 5 散热注意事项

在一些空间受限的应用中，电源管理器件的热性能受到密切关注。动态控制输出电压和运行参数以影响散热是一项非常有价值的功能。在运行过程中，可以通过调整输出电压以及负载电流来实现热调节。将存储器控制器置于较低功耗运行状态可显著节能，继而降低系统温度。

热调节的另一个好处是确定设计中的热裕度。一些 I<sup>2</sup>C 器件（如 [TPS62873-Q1](#)）包含一个热警告位，该位用作上限，以便采取预防措施并避免过热甚至热关断。只要器件的结温低于热警告阈值，状态寄存器中的热警告位就会为低电平。如果结温超过该温度，则热警告位变为高电平。

此外，[TPS62873-Q1](#) 可在堆叠模式下工作，以将功耗分散在 PCB 的多个点上，并将单个器件结温降至更低。请参阅[堆叠配置中的 TPS6287X-Q1 器件运行](#)，以并联 [TPS6287x-Q1](#) 来提供相同的负载。

在堆叠配置中，输出电流能力增加。双 [TPS62873-Q1](#) 堆叠如[图 5-1](#) 所示，此配置可提供高达 30A 的更高电流。

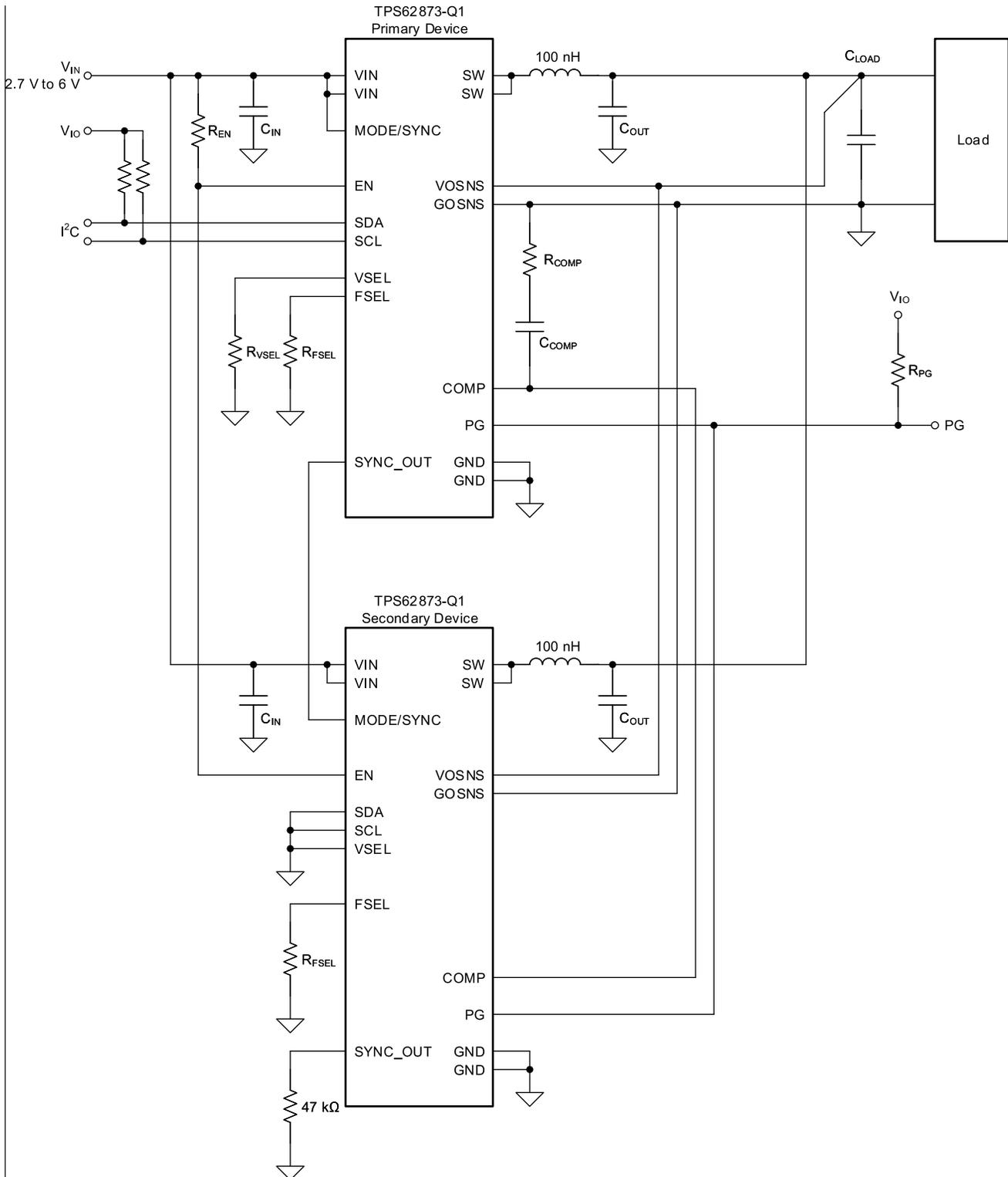


图 5-1. 堆叠配置中的两个 TPS62873-Q1 器件

## 6 压降补偿

随着人们对可靠、快速计算数据的需求不断增加，直流/直流转换器的输出电压继续降低，内核电源轨交流和直流调节规格更加严格。为了能够在很短的时间窗口内提供大量的电流，压降补偿等功能有助于在负载变化期间减少内核电压的过冲和下冲。

SoC 和 FPGA 内核轨等一些电源轨具有严格的负载要求。通过 I<sup>2</sup>C 启用压降补偿设置，TPS62876-Q1/TPS6287B25 有助于增加电源轨上的电压裕度，从而本质上允许降低实现定义的负载瞬态峰峰值目标所需的输出电容。图 6-1 显示了针对快速负载变化的比较。

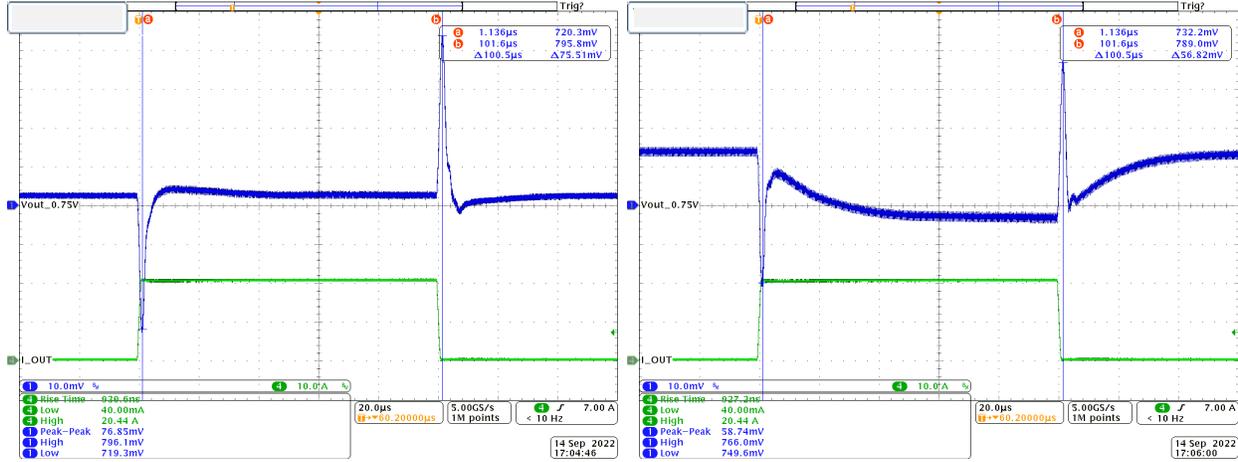


图 6-1. TPS62876-Q1 在禁用 (左) 和启用 (右) 压降补偿情况下的负载瞬态响应

表 6-1. 20A/us 负载变化的负载瞬态响应，峰峰值

禁用压降	启用压降
76.85mV	58.74mV

在该特定情况下可以观察到大约 25% 的改善。根据压降补偿功能的性质，当出现输出电流等级从 10% 到 90% 的快速负载变化时，最好使用此功能。

## 7 具备 I<sup>2</sup>C 接口的降压转换器选择表

表 7-1 着重介绍了具备 I<sup>2</sup>C 通信接口的新型低输入电压 (< 7V) 直流/直流转换器。这些器件以宽广范围的输出电流提供不同的工作模式和功能。

表 7-1. 使用 I<sup>2</sup>C 通信接口的直流/直流转换器建议

OPN	电流额定值	开关频率 (典型值)	特性	I <sup>2</sup> C 可寻址参数	IC 尺寸 x/y/z
TPS62860 TPS62861	0.6A 1A	1.5MHz 4MHz	0.35mm 间距 WCSP 封装, VSEL 引脚选项,	输出放电, 软件启用, PSM/FPWM 模式, 电压斜坡速度	0.7mm x 1.4mm 高 0.4mm
TPS62864 TPS62866	4A 6A	2.4MHz	0.35mm 间距 WCSP 封装, 可选 启动电压, VID 引脚, /PG 引脚,	输出放电, 软件启用, PSM/FPWM 模式, HICCUP 短路保护, 电压斜坡速度, 在输出电压变化期间启用 FPWM 模式, 热警告	1.05mm x 1.78mm 高 0.5mm
TPS62868 TPS62869	4A 6A	2.4MHz	QFN 封装, 可选 启动电压, 输出电压范围选项, VID 引脚, PG 引脚,	输出放电, 软件启用, PSM/FPWM 模式, HICCUP 短路保护, 电压斜坡速度, 在输出电压变化期间启用 FPWM 模式, 热警告	1.5mm x 2.5mm 高 1.0mm
TPS62870-Q1 /TPS62870 TPS62871-Q1 /TPS62871 TPS62872-Q1 /TPS62872 TPS62873-Q1 /TPS62873	6A 9A 12A 15A	1.5MHz/ 2.25MHz/ 2.5MHz/3MHz 电阻可选	QFN 封装, 差分遥感, 堆叠运行, 可选 启动电压, PG 引脚, 外部补偿, 时钟同步	输出放电, 软件启用, PSM/FPWM 模式, HICCUP 短路保护, 电压斜坡速度, 展频时钟, 输出电压范围选项, 软启动斜坡时间, 在输出电压变化期间启用 FPWM 模式, 热警告, 电源不良过压/欠压	2.55mm x 3.55mm 厚度为 1.0mm
TPSM8287A06 TPSM8287A10 TPSM8287A12 TPSM8287A15	6A 10A 12A 15A	1.5MHz/ 2.25MHz	QFN 封装, 差分遥感, 堆叠运行, 可选 启动电压, PG 引脚, 外部补偿, 时钟同步	输出放电, 软件启用, PSM/FPWM 模式, HICCUP 短路保护, 电压斜坡速度, 展频时钟, 输出电压范围选项, 软启动斜坡时间, 在输出电压变化期间启用 FPWM 模式, 热警告 电源不良过压/欠压	4.5 x 6.8mm 1.8mm 高 ( 6A 和 12A ) 4.0mm 高 ( 10A 和 15A )

表 7-1. 使用 I<sup>2</sup>C 通信接口的直流/直流转换器建议 (续)

OPN	电流额定值	开关频率 (典型值)	特性	I <sup>2</sup> C 可寻址参数	IC 尺寸 x/y/z
<a href="#">TPS6287B10</a> <a href="#">TPS62874-Q1/</a> <a href="#">TPS6287B15</a> <a href="#">TPS62875-Q1/</a> <a href="#">TPS6287B20</a> <a href="#">TPS62876-Q1/</a> <a href="#">TPS6287B25</a> <a href="#">TPS62877-Q1</a>	10A 15A 20A 25A 30A	1.5MHz/ 2.25MHz/ 2.5MHz/3MHz 电阻可选	QFN 封装, 差分遥感, 堆叠运行, 可选 启动电压, PG 引脚, 外部补偿, 时钟同步	输出放电, 软件启用, PSM/FPWM 模式, HICCUP 短路保护, 电压斜坡速度, 展频时钟, 输出电压范围选项, 软启动斜坡时间, 在输出电压变化期间启用 FPWM 模式, 热警告, 电源不良过压/欠压, 压降补偿	4.05mm x 3.05mm 0.65mm 高

## 8 结论

TI 提供具有 I<sup>2</sup>C 接口的高性能、布局简单的降压转换器，更易于对设计灵活性和更高的功率密度进行权衡。通过 I<sup>2</sup>C 接口可集成更多的功能，这样就可减少外部元件的数量，同时降低系统 BOM 成本，减少引脚数。更灵活的设计可以解决系统中电源轨数量增多所带来的问题，因此，由于规模效益提供了更大的定价优势，可以降低开发工作量。

## 9 参考文献

- 德州仪器 (TI), [适用于直流/直流转换器的输出电压调节方法](#) 模拟设计期刊。
- 德州仪器 (TI), [采用小巧高效的电源和数据转换器解决方案实现更高的光学模块数据速率](#) 技术白皮书。
- 德州仪器 (TI), [高功率密度降压转换器的热性能优化](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [布局至关重要：解决 WCSP 封装中直流/直流转换器的引脚分配问题](#)。
- 德州仪器 (TI), [固定输出电压直流/直流转换器的输出电压调节](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [堆叠配置中的 TPS6287X-Q1 器件运行](#) 应用手册。

## 10 修订历史记录

---

### Changes from Revision A (May 2021) to Revision B (November 2023) Page

- 新增了“压降补偿”主题.....7
  - 更新了使用 I<sup>2</sup>C 通信接口的直流/直流转换器建议表.....8
  - 添加了其他参考文献.....10
- 

### Changes from Revision \* (May 2021) to Revision A (April 2022) Page

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....1
  - 更新了使用 I<sup>2</sup>C 通信接口的直流/直流转换器建议表.....8
-

## 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