



**表1. VCCIO电源选项**

VCCIO组	3.3 V	2.5 V	1.8 V	1.5 V	1.2 V	V-ADJ
VCCIO0	可选		默认值			
VCCIO1	固定					
VCCIO2	默认值	可选	可选			
VCCIO3						
VCCIO4			可选		可选	默认值
VCCIO5						
VCCIO6	默认值	可选	可选			
VCCIO7	固定					

FPGA的VCCIO引脚使用的各个电压轨均由各种片上稳压器产生。主电源通过外部12 V直流电源提供，这在**CertusPro-NX评估板用户指南**的第14节中进行了讨论。图2显示了由外部12 V直流电源供电的片上稳压器所产生的不同电压输出轨。LDO稳压器也用于后调节，以产生较低的电压，同时降低输出处的噪声。

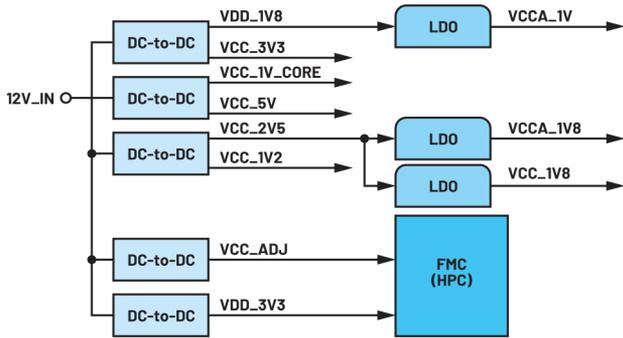


图2. CertusPro-NX评估板电源方案

### 推荐电源解决方案架构

稳压12 V壁式适配器用作评估板的输入电压。给定此输入源和评估板上所需的电压电平，可以使用单次降压法直接从12 V生成所有必要的电压轨。如果用户需要更宽的输入电压范围，或使用更高的输入电压（例如24 V），则可以考虑采用两次降压法：首先生成一个中间电压轨（例如5.0 V或3.3 V），然后使用中间电压轨为后续稳压器供电以产生更低电压，如图3所示。

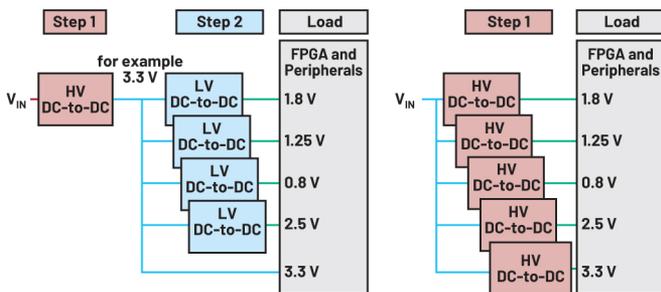


图3. 两次降压法与单次降压法

拓扑的选择将影响效率、各转换器的开关频率和解决方案总体尺寸等参数。在每个新的实施方案中都需要仔细考虑这些因素，以优化每个新产品设计的电源架构。此外，可能还需要适当的输入保护和滤波电路。

CertusPro-NX评估板的两种电源解决方案在设计时考虑了不同的优先事项，二者均使用前文所述的单次降压法。第一种是分立解决方案，它使用单体式DC-DC稳压器，提供外围电路，并允许用户对针对每个电源轨单独优化器件以获得最优性能。第二种是采用ADI  $\mu$ Module技术的全集成解决方案，尽最大可能为应用提供更紧凑、更简单的布局方案，同时还能提供出色的电源方案性能。

LTpowerPlanner<sup>®</sup>是一种支持优化系统级电源树的工具，其中提供了CertusPro-NX评估板的新型电源解决方案架构。LTpowerCAD<sup>®</sup>可用于为每个选定的DC-DC IC提供详细的电路方案，包括根据输入的IC使用情况和周围无源元件估算电路性能。这些程序是适用于Windows的工具套件的一部分，可从[LTpowerCAD网页](#)下载。此网页还提供了入门文档、培训材料和视频。

### 分立电源解决方案

分立电源解决方案支持设计人员针对特定解决方案优化外部电路元件，从而为每个电压轨提供更优的独立DC-DC稳压器性能。与现有电源解决方案相比，新推荐的分立电源解决方案实现了显著的性能改进。所有DC-DC稳压器都使用同步内部开关来最大限度地提高效率，同时仍保持紧凑的设计和出色的EMI性能。图4为CertusPro-NX评估板的分立解决方案电源树。

### 开关稳压器

#### LT8653S

LT8653S采用第二代Silent Switcher<sup>®</sup>架构，更大限度地降低了EMI辐射，同时可在高开关频率下实现高效率。具有宽 $V_{in}$ 范围和双通道2 A输出，是一款理想的候选器件。

#### ADP2387

需要两个电压分别为1.8 V和3.3 V的电压轨，以提供高于LT8653S所能提供的输出电流，具体分别为4 A和3 A。根据这些要求，ADP2387被确定为该应用的理想候选器件。

## 线性稳压器

### MAX38903C

MAX38903C在CertusPro-NX评估板的1V电压轨上用作后置稳压器，以抑制高噪声。该器件是一款低噪声线性稳压器，可提供高达1A的输出电流，在10 Hz至100 kHz范围内的输出噪声仅为5.5  $\mu\text{V rms}$ 。MAX38903C具有低输出噪声和高噪声抑制特性，是用于CertusPro-NX评估板电源解决方案的明智选择。

### ADP1707

ADP1707-1.8是一款CMOS低压差线性稳压器，输出电压为1.8 V，输出电流高达1 A，采用3 mm  $\times$  3 mm裸露焊盘LFCSP封装。因此，解决方案非常紧凑，并能为输出电流需高达1 A的小巧外形应用提供出色的热性能，因而也十分适用于CertusPro-NX评估板的电源解决方案。

## $\mu\text{Module}$ 电源解决方案

另一方面，利用ADI公司的 $\mu\text{Module}$ 技术，可以进一步缩小并简化模块相关解决方案，并且还不会牺牲性能质量。ADI公司的 $\mu\text{Module}$ 稳压器和DC-DC电源产品是完整的系统级封装(SiP)电源管理解决方案，在紧凑的表面贴装BGA或LGA封装中集成了DC-DC控制器、功率晶体管、输入和输出电容、补偿元件以及电感。 $\mu\text{Module}$ 电源产品支持降压、降压-升压、电池充电器、隔离式转换器和LED驱动器等功能。

图5为使用 $\mu\text{Module}$ 器件的CertusPro-NX评估板的电源解决方案树。外部12 V输入电源之后的第一级是 $\mu\text{Module}$  DC-DC稳压器阵列。下一级由线性稳压器组成。 $\mu\text{Module}$ 设计(图5)和分立解决方案(图4)选择了相同的线性稳压器。

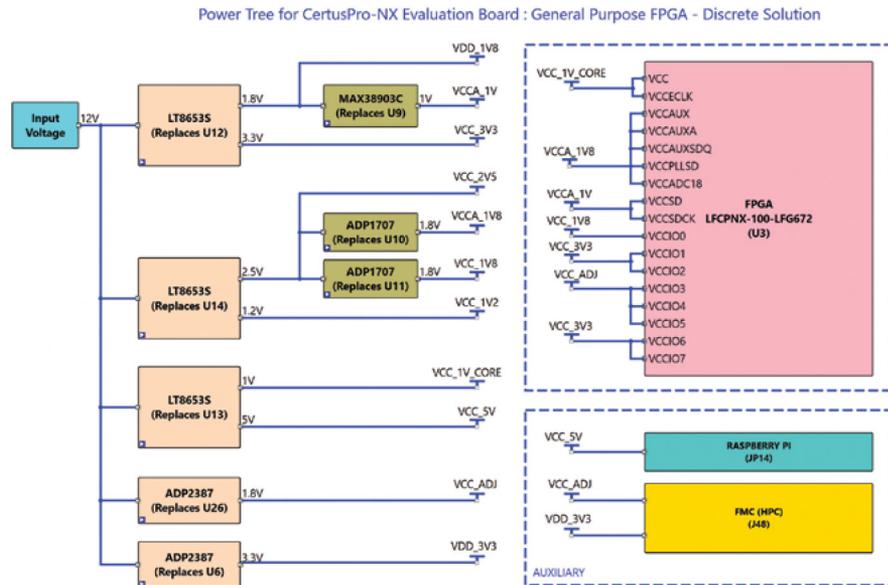


图4. 使用LTPowerPlanner工具建模的分立解决方案电源树

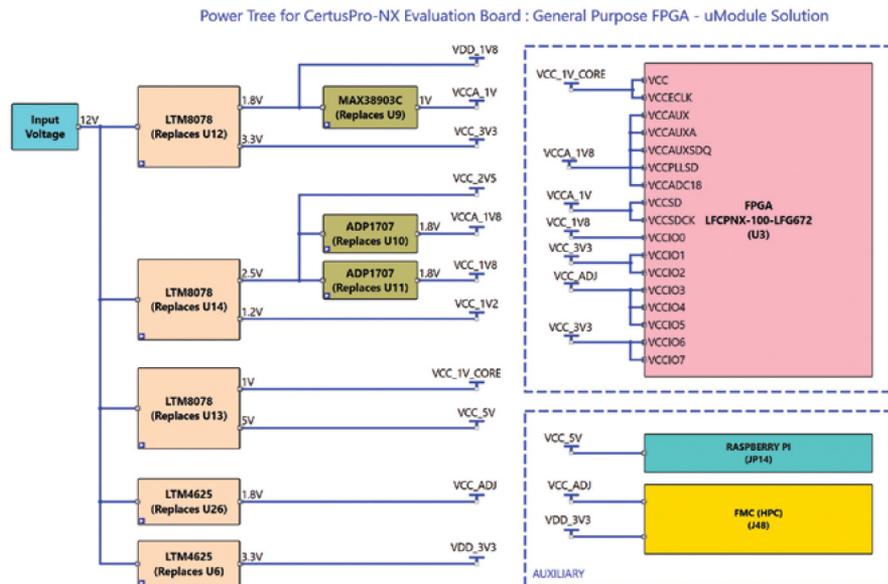


图5.  $\mu\text{Module}$ 解决方案电源树

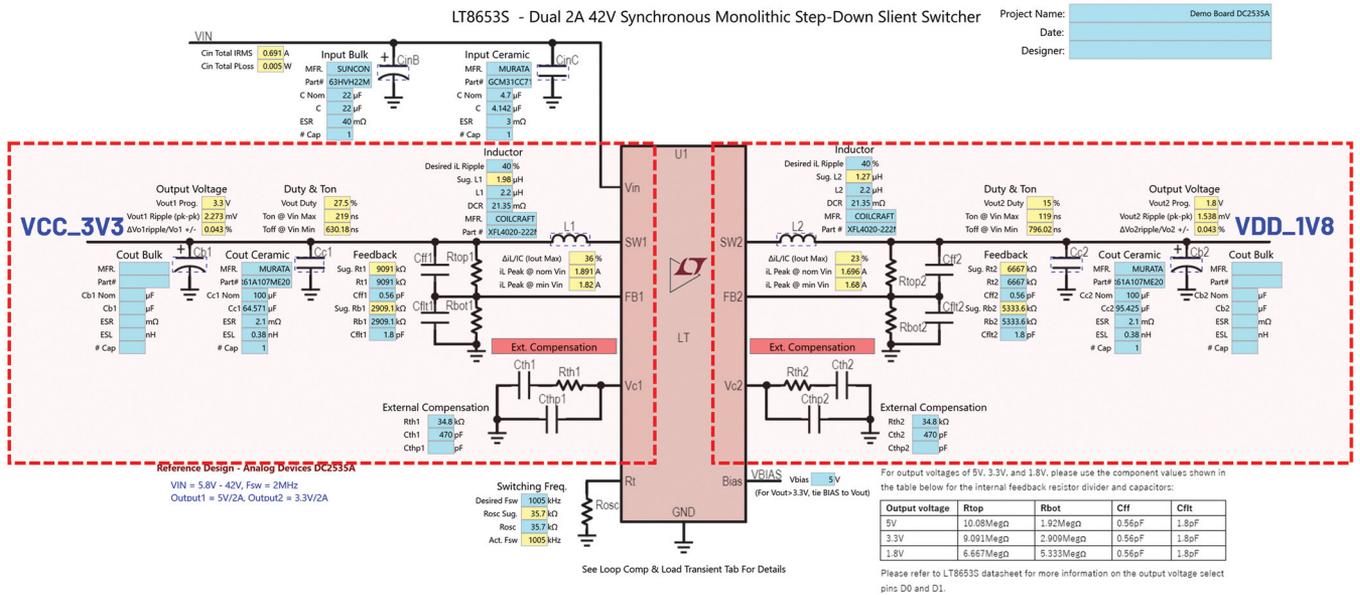


图6. 分立解决方案的VDD\_1V8和VCC\_3V3电压轨原理图

## 开关稳压器模块

### LTM8078

LTM8078是一款40  $V_{IN}$ 、双通道1.4 A/单通道2.8 A、降压型Silent Switcher  $\mu$ Module稳压器。Silent Switcher架构可进一步降低EMI，同时在高达3 MHz的频率下实现高效率运行。封装中内置控制器、功率开关、电感和其他相关元件。器件的输入电压工作范围较宽，开关频率范围为300 kHz至3 MHz（由单个电阻设置），只需使用输入和输出滤波器电容就可以完成设计。因此，该器件也是CertusPro-NX评估板电源解决方案的理想选择。

### LTM4625

LTM4625是一款完整的5 A降压型开关模式 $\mu$ Module稳压器，采用小型6.25 mm  $\times$  6.25 mm  $\times$  5.01 mm BGA封装。其高效率设计提供高达5 A的连续输出电流。仅需要大容量输入和输出电容。该器件提供高开关频率和电流模式控制，可以对线路和负载变化作出快速瞬态响应，而不会降低稳定性。

LTM8078和LTM4625  $\mu$ Module开关稳压器提供了更简单的优质解决方案，消除了复杂性并避免了空间限制。

## CertusPro-NX评估板电源解决方案设计详细说明

### 分立解决方案设计

根据CertusPro-NX FPGA 数据手册所述的推荐工作条件，电源电压应在典型值的 $\pm 5\%$ 以内。在设计中，由反馈电阻和稳压器 $V_{REF}$ 电压的容差带来的直流输出误差、输出电压纹波和负载瞬态响应已经考虑在该5%的容差中。在存在这些误差的情况下，该器件仍处于FPGA推荐工作条件的5%允许值范围内。

可从ADI客户办公室解决方案部门获取所有电压轨的完整数据，但表2中选定的一些电压轨显示了1.35 A LT8653S和3 A/4 A ADP2387输出的典型代表性能。

表2. 分立设计效率和纹波性能数据

电压轨	器件	$V_{OUT}$ (V)	负载(A)	功效比(%)	纹波p-p(%)
VDD_1V8	LT8653S	1.8	1.35	86.20	0.91
VCC_3V3	LT8653S	3.3	1.35	90.65	0.42
VCC_ADJ	ADP2387	1.8	4.00	90.92	0.67
VDD_3V3	ADP2387	3.3	3.00	94.31	0.72

### 电压轨1: VDD\_1V8

此电压轨需要1.8 V输出电压，并且应能提供高达1.35 A的输出电流。使用LT8653S的一个通道可以满足这一要求。设计中严格遵循了应用输出负载电流的 $\pm 5\%$ 总输出电压误差，以确保符合推荐的工作条件。

为实现高直流精度，使用了内部基准电压源。该器件的通道配置为1.8 V反馈基准电压，从而消除电阻值和容差引起的误差。图6显示了LTPowerCAD生成的VDD\_1V8和VCC\_3V3原理图。

在评估电压轨以确保输出处于推荐工作条件范围内的过程中，以非常快速且非常高的负载阶跃作为激励来评估负载瞬态响应。阶跃负载设置为0 A至1 A阶跃，摆率为10 A/ $\mu$ s，脉冲持续时间为150  $\mu$ s。图7显示了VDD\_1V8电压轨的瞬态负载响应。上方波形CH2显示输出响应，下方波形CH4显示输出负载电流。



图7. VDD\_1V8瞬态负载响应

表3. VDD\_1V8电压轨瞬态负载数据

参数	电压(V)	百分比(%)	目标限值(%)
过冲	0.057	3.2	4.0
欠冲	0.055	3.2	4.0

从结果来看，综合考虑负载瞬态期间的过冲、欠冲以及输出纹波后，电压仍处于±5%的推荐工作条件内。

### 电压轨2: VCC\_3V3

VCC\_3V3电压轨与VDD\_1V8一起使用LT8653S的第二个通道。就像VDD\_1V8一样，VCC\_3V3电压轨必须能够提供1.35 A输出电流，作为CertusPro-NX FPGA的VCCIO引脚上的电源。还有一个固定3.3 V输出的IC选项，该选项带有一个内部微调反馈分压器，因此可实现高直流精度。图6中还显示了原理图和电路元件值，图8中显示了瞬态响应。上方波形CH2显示输出响应，下方波形CH4显示输出负载电流。表4显示了瞬态负载响应结果，综合考虑过冲、欠冲以及输出纹波情况后，电压仍保持在±5%的推荐工作条件内。

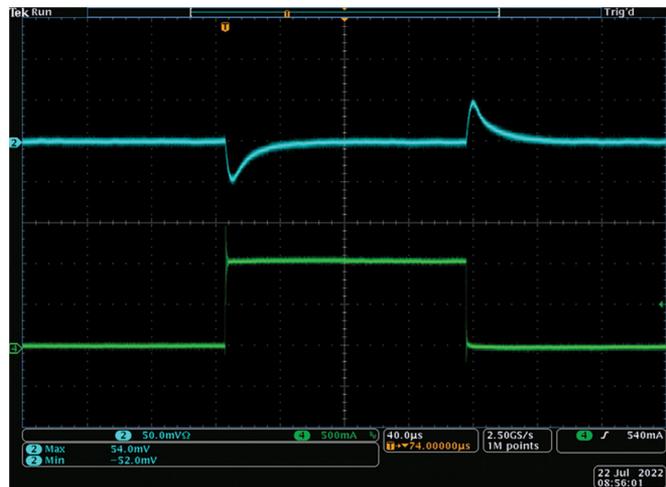


图8. VCC\_3V3电压轨负载瞬态响应

表4. VCC\_3V3电压轨瞬态负载数据

参数	电压(V)	百分比(%)	目标限值(%)
过冲	0.054	1.6	4.0
欠冲	0.052	1.6	4.0

### 电压轨7: VCC\_ADJ

VCC\_ADJ电压轨需要1.8 V输出电压，并且应向VCCIO和FMC连接器提供最高4 A的输出电流。设计中严格遵循了应用输出负载电流的±3%总输出电压误差，以确保符合推荐的工作条件。

为实现高直流精度，使用了内部基准电压源。该器件的误差放大器配置1.8 V反馈基准电压，以补偿电阻值和容差。

使用高摆率电流阶跃评估电压轨瞬态响应，以确保运行期间的输出电压始终保持在容差限值范围内。阶跃负载设置为0 A至1 A阶跃，摆率为10 A/μs，脉冲持续时间为150 μs。图9显示了VCC\_ADJ电压轨的瞬态负载响应。上方波形CH2显示输出响应，下方波形CH4显示输出负载电流。

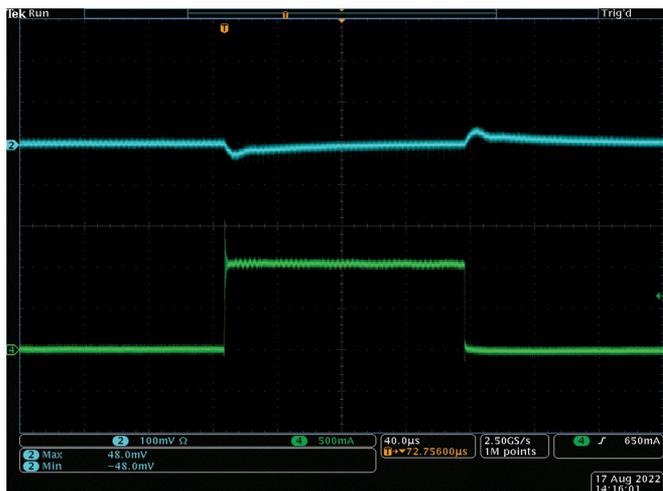


图9. VCC\_ADJ瞬态负载响应

表5. VDD\_1V8电压轨瞬态负载数据

参数	电压(V)	百分比(%)	目标限值(%)
过冲	0.048	2.7	3.0
欠冲	0.048	2.7	3.0

从结果来看，综合考虑负载瞬态期间的过冲、欠冲以及输出纹波后，电压仍处于±5%的推荐工作条件内，优于目标值3%。

### 电压轨8: VDD\_3V3

VDD\_3V3电压轨必须能够提供3 A输出电流，作为CertusPro-NX FPGA板的FMC连接器引脚的电源。瞬态响应如图10所示。上方波形CH2显示输出响应，下方波形CH4显示输出负载电流。表6显示了瞬态负载响应结果，综合考虑过冲、欠冲以及输出纹波情况后，电压仍保持在±3%的推荐工作条件内。



图10. VDD\_3V3电压轨负载瞬态响应

表6. VDD\_3V3电压轨瞬态负载数据

参数	电压(V)	百分比(%)	目标限值(%)
过冲	0.09	2.7	3.0
欠冲	0.082	2.5	3.0

## μModule解决方案设计

与上文中分立设计的相同规范也适用于μModule建议方案，因此这里不再详细讨论。μModule解决方案通过牺牲一些性能来换取更小的布局尺寸。下表显示了相同的样本点以做比较。

可从ADI公司客户办公室解决方案部门获取所有电压轨的完整数据，表7中选定的某些电压轨显示了1.35 A LTM8078和3 A/4 A LTM4625输出的典型代表性能。

表7. μModule设计效率和纹波性能数据

电压轨	器件	V <sub>OUT</sub> (V)	负载(A)	能效比(%)	纹波p-p(%)
VDD_1V8	LTM8078	1.8	1.35	83.38	0.25
VCC_3V3	LTM8078	3.3	1.35	88.88	0.19
VCC_ADJ	LTM4625	1.8	4.00	83.02	0.11
VDD_3V3	LTM4625	3.3	3.00	89.60	0.11

## 电压轨1: VDD\_1V8

通道1电压轨使用0.1%电阻来确保符合应用的直流和瞬态总容差裕量要求。图11显示了最坏情况负载阶跃下捕获的波形数据，表8汇总了所捕获的游标数据。

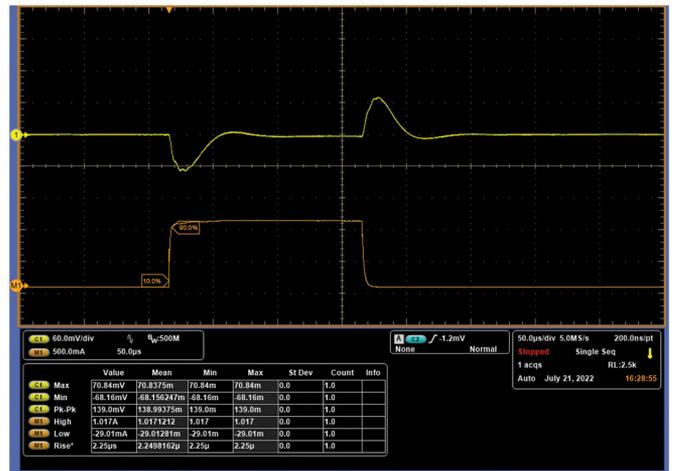


图11. VDD\_1V8瞬态负载响应

表8. VDD\_1V8电压轨瞬态负载数据

参数	电压(V)	百分比(%)	目标限值(%)
过冲	0.0708	3.9	4.0
欠冲	0.0682	3.8	4.0

## 电压轨2: VCC\_3V3

VCC\_3V3电压轨 (LTM8078的通道2) 也使用了0.1%电阻来确保符合应用的电压裕量要求。图12显示了最坏情况负载阶跃下捕获的波形数据，表9汇总了所捕获的游标数据。

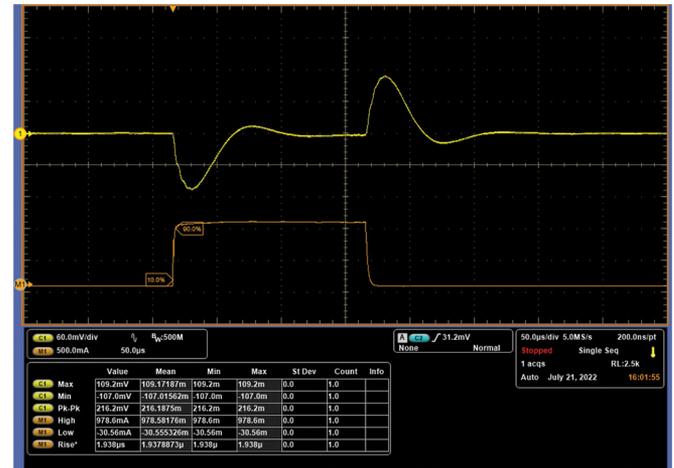


图12. VCC\_3V3瞬态负载响应

表9. VCC\_3V3电压轨瞬态负载数据

参数	电压(V)	百分比(%)	目标限值(%)
过冲	0.109	3.3	4.0
欠冲	0.107	3.2	4.0

## 电压轨7: VCC\_ADJ

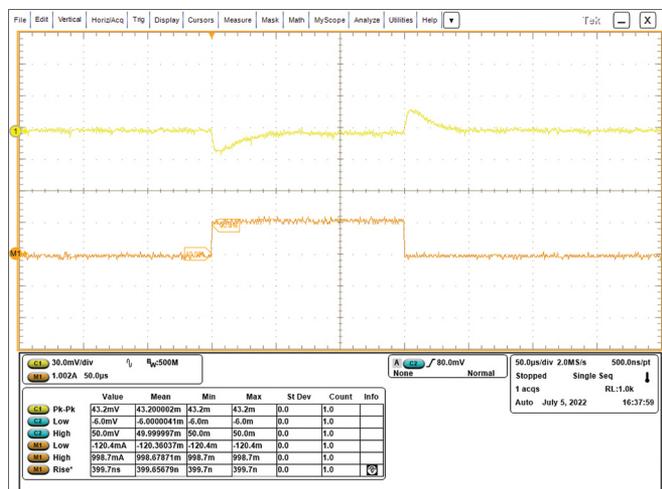


图13. VCC\_ADJ瞬态负载响应

LTM4625通道1电压轨使用标准1%电阻来确保符合应用的直流要求和瞬态总容差裕量要求。图13显示了最坏情况负载阶跃下捕获的波形数据，表10汇总了所捕获的游标数据。

表10. VCC\_ADJ电压轨瞬态负载数据

参数	电压(V)	百分比(%)	目标限值(%)
过冲	0.019	1.1	3.0
欠冲	0.024	1.3	3.0

## 电压轨8: VDD\_3V3

VDD\_3V3电压轨 (LTM3625的通道2) 也使用了1%电阻来确保符合应用的电压裕量要求。图14显示了最坏情况负载阶跃下捕获的波形数据，表11汇总了所捕获的游标数据。

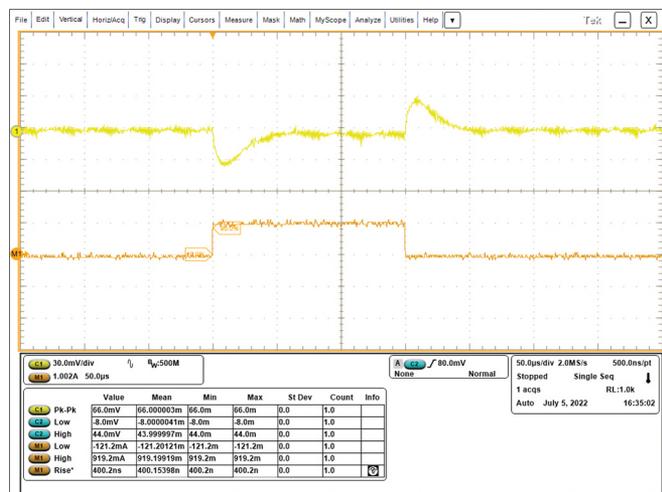


图14. VDD\_3V3瞬态负载响应

表11. VDD\_3V3电压轨瞬态负载数据

参数	电压(V)	百分比(%)	目标限值(%)
过冲	0.03	1.7	3.0
欠冲	0.036	2.0	3.0

## 结论

在设计健全的电源架构时，需要谨慎平衡尺寸、性能和成本这三方面要素。任何的CertusPro-NX平台都可以从两种设计方案中挑选到更适合的选项。如前所述，两种设计方案中所有电压轨的效率、纹波和瞬态等完整数据均可应要求提供。结果表明，分立式设计或模块式设计方法都能够满足CertusPro-NX对性能参数的要求，并且还留有裕量。任何用于未来的设计都应该采用更适合目标市场的方法。本文对数据集和设计理念进行了仔细分析，作者希望能由此帮助设计人员更有把握地实现Lattice FPGA电源集成，也希望设计工程师、系统架构师和项目经理等相关人员都可以对与电源器件和拓扑选择相关的权衡产生共同的理解。无论具体设计规范要求优先考虑什么，ADI都可以针对特定标准，定制出更合适的电源解决方案。

## 作者简介

James R. Staley是ADI公司的工业电源系统工程经理。他毕业于北卡罗来纳州立大学，为Eta Kappa Nu荣誉学会会员，拥有纳米技术电子工程学士学位，已在半导体行业工作超过20年。他曾在凌力尔特公司和ADI公司担任应用工程、销售应用工程和系统工程等多个职位。他目前主要负责工业和精密仪器电源系统相关工作。James及其家人居住在北卡罗来纳州罗利市。

Matthias Bust于2007年加入ADI公司，目前在客户办公室解决方案团队中担任电源产品专家。Matthias此前也曾是ADI的汽车电源产品系统经理，还曾作为现场应用工程师为所有市场领域的客户提供过服务。他拥有超过30年的行业经验，曾在电信和激光行业的硬件/软件设计、系统工程和供应链管理领域担任过多个职位。Matthias毕业于德国伊尔梅瑙工业大学，拥有电子工程和信息技术专业的毕业证书。

## 在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛

与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问 [ez.analog.com/cn](http://ez.analog.com/cn)



如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客服和技术支持，请访问 [analog.com/cn/contact](http://analog.com/cn/contact)。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。请访问 [ez.analog.com/cn](http://ez.analog.com/cn)。

©2023 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。

TA24528sc-4/23



请访问 [analog.com/cn](http://analog.com/cn)