

解决方案

MAXQ™ Power转换器架构实现性能零浪费

摘要

越来越多的边缘智能技术应用进入大众视野，它们要求供电电压轨越来越低，可以实时的在本地处理数据，比如汽车电子应用中的ADAS、信息娱乐和车身电子系统等应用广泛采用边缘智能技术。针对这种应用，它们对电源系统提出的要求越来越高，设计人员正面临下一代系统的开发挑战。

为了支持新的市场应用和新兴需求，ADI研发了MAXQ™ Power架构实现性能最大化，大幅减小系统中单位增益带宽(UGBW)的工艺和温度变化而导致的性能下降，满足了严格的负载瞬态容差要求。相比于标准架构，该架构能将输出电容降低多达75%，从而提升每 μF 输出电容的负载瞬态性能，进而缩小了系统尺寸、减少了材料需求并降低了成本。

本文剖析了MAXQ™ Power架构的核心概念，阐述了如何解决关键系统设计问题，全面分析了负载点电压转换器的最差情况的重要性，并对实际案例进行了分析。

智能边缘的兴起及应用需求

对于智能边缘的规模化应用，比如汽车解决方案中的传感器阵列快速增加，这些系统以前使用一、两个摄像头，现在有可能会用到多达16个摄像头，而有些自动驾驶汽车需部署多达96个摄像头。在车辆的多个区域使用多个传感器和摄像头的分区架构越来越受到汽车制造商和OEM的青睐，同时这些传感器和摄像头的分辨率也在不断提高。这些密集传感器阵列给系统设计人员带来了多重挑战，其中很多都需要高完整性电源、数据在本地处理并要求低延迟、小尺寸。一般而言，传统解决方案通常成本高昂，尤其是注重安全的应用，因此当务之急是能够获得成本认可的解决方案。

车载系统中使用边缘或本地处理的功能包括自动紧急制动(AEB)和行人制动、摄像头/雷达融合、3D环视、驾驶员监控、车内监控以及电子后视镜。这些功能以前可能仅常见于高端车辆，但随着时代发展在消费类车辆上也越来越普遍。本地数据处理需求的增加导致传感器模块内部需使用低压核心处理器轨。

在高压摆率的重负载瞬变下，处理器核心轨对电压容差有非常严格的要求，因为它们要为数字处理器供电。这就需要高完整性的电源，也就是对于给定的负载瞬变应尽量减小电压偏移，而且需要在宽温度范围内保持可靠性。

图1为核心轨供电的高完整性电压源的负载瞬态响应，图中叠加显示了最小值和最大值。此图显示在任何负载或温度条件下，电压都没超过最小和最大容差。

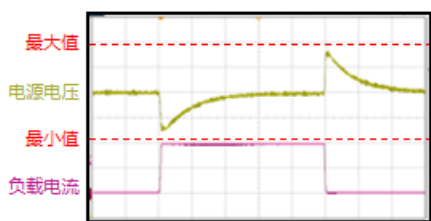


图1. 高完整性的电源示例

系统设计人员在为系统选择电压转换器时必须考虑的一些因素：直流精度、负载瞬态响应、效率、整体解决方案尺寸、物料清单和最终解决方案成本，MAXQ™ Power可以解决80%的需求。

MAXQ™ Power降压转换器与标准降压转换器

什么是MAXQ™ Power？本质上，MAXQ™ Power是一种设计和测试流程，旨在尽量减小影响电压转换器解决单位增益带宽的IC参数变化，控制关键参数比率，同时有效减小工艺和温度范围内的参数变化。受益于MAXQ™ Power，目标单位增益带宽得到大幅提高，使得系统可以在更苛刻的极端情况下运行。与标准架构相比，MAXQ™ Power转换器能够在更低的输出电容下保证性能。

1. 单位增益带宽(UGBW)概述

通常大家认为单位增益带宽是一个特定的点，或在特定电容或负载的不同工作条件下的一个特定点，但实际上存在一个概率分布函数，这个概率密度函数会随着IC参数以及外部元件参数的改变而变化。IC控制环路的参数会随着内部和外部的因素进行变化，朝任意方向的变化或偏离目标都会对系统产生负面影响。

系统设计人员必须考虑单位增益带宽的概率分布，确保其设计系统在最差情况下的性能。单位增益带宽过高时，系统会变得不稳定；单位增益带宽过低时，环路无法及时响应而造成电压的偏移。

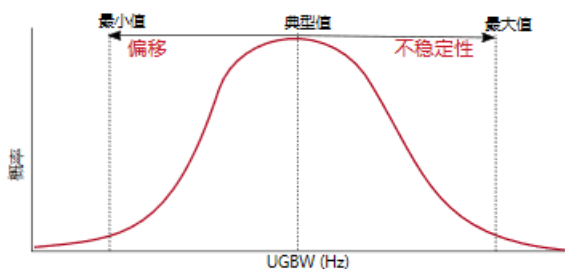


图2. 单位增益带宽(UGBW)分布

ADI通过迭代设计和测试程序有效的减小影响单位增益带宽的关键参数比率的变化，并将相关内容作为测量计算数据进行记录。这些测量计算考虑了不同温度的影响，且通过外推法对影响UGBW的组合IC因素设定严格的限制。于是，对于任何给定IC，单位增

益带宽的概率分布范围得到了减小，使得可用带宽的上限得到充分利用，同时避免概率分布较宽给传统架构带来的不稳定性问题。图3示例了如何有效缩小UGBW的分布范围并突破极限。

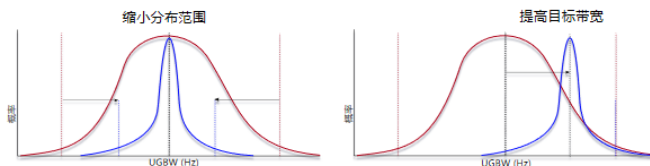
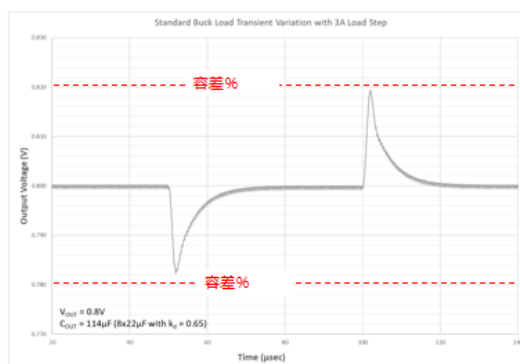


图3. 有效缩小UGBW的分布范围示例

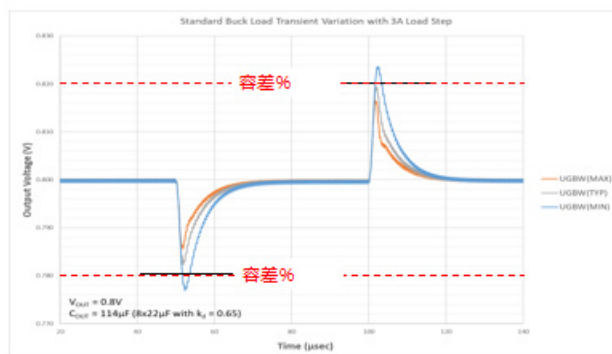
2. 标准降压转换器的时域表现

以具有典型单位增益带宽的标准转换器为例，在典型工作条件下进行瞬态响应评估。图4左部分是典型单位增益下的瞬态响应，假设系统就是在降额的最低 C_{OUT} 下运行，图中叠加了容差，显示了给定负载瞬变下的电压偏移响应，电压变化保持在系统所需的频带内。

图4右部分是在典型测试基础上改变系统的单位增益带宽分布后再一次进行的测试，修改补偿而让单位增益带宽的波动范围保持在30%。这种情况下纹波开始形成，相位裕量较差，降压转换器处于不稳定的边缘，单位增益带宽较低的一端电压超出了电源电压容差，这有可能已违反系统的运行要求且造成故障。



典型



改变UGBW

图4. 标准降压转换器瞬态响应示例

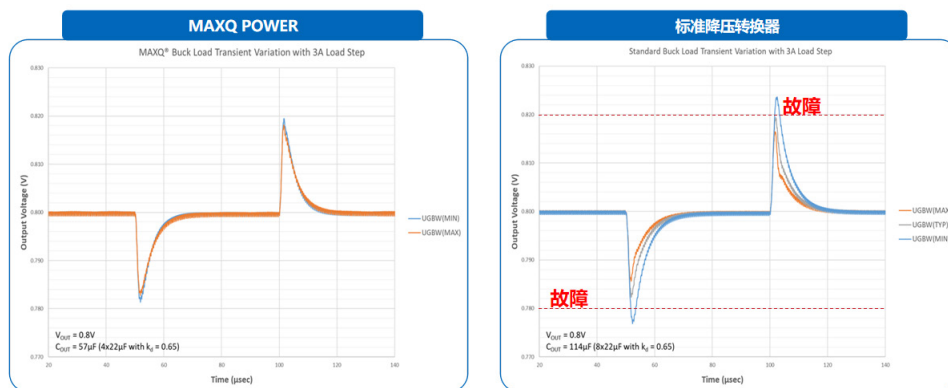


图5. 增益改变对两种转换器的瞬态影响

3. MAXQ™ Power降压转换器与标准降压转换器性能对比

以时域瞬态响应为例，将MAXQ™ Power降压转换器与标准降压转换器进行比较，两者测试条件相同： $V_{OUT} = 0.8V$ ， $I_{OUT} = 3A$ ，单位增益带宽推至最小值和最大值。图5左边部分MAXQ™ Power转换器的所有曲线基本重合，时域瞬态响应几乎没有发生偏移，主要受益于MAXQ为单位增益带宽变化提供保障，但是右边部分标准降压器电压则在最小带宽时超过了容差。

两种转换器使用了不同数值的电容，标准架构的电容是114uF，MAXQ降压转换器只使用一半的电容，即57uF，即使这样MAXQ构架仍然保持了电压偏移容差。这主要是MAXQ构架将误差放大器的单位增益带宽提高到显著高于标准架构的水平，严格控制了单位增益带宽随IC参数而漂移的程度。

实际案例分析

下面将MAXQ™ Power降压转换器和标准降压架构转换器的性能进行实际案例的分析。了解性能前，首先介绍下电容降额概念。

所谓电容降额，是指电容器的有效值随许多变量而变化。电容可能随着温度、偏置电压、时间、信号幅度等因素而变化。数据手册中有完整的特性说明，使用者可以通过特定的器件产品型号找到相关信息。表1的参考表格显示了多层陶瓷电容器电介质的一些常见降额因素。设计时务必要分析考虑电容值的变化。否则，电路板上的有效电容可能预期的一半。

表1. 电容降额系数示例

电介质	标称误差	温度效应	最差情况降额	降额系数(kd)
X7R	±20%	±15%	-35%	0.65
X7S	±20%	±22%	-42%	0.58
X7T	±20%	+22%, -33%	-53%	0.47
Z5U	±20%	+33%, -56%	-76%	0.24
COG	±20%	0%	±20%	标称

1. 竞品案例分析

图6是竞争对手提出的标准降压架构转换器在标称条件下输出对负载瞬变的响应，左边使用建议的382uF标称电容，右边使用191uF的降额电容。

对系统陶瓷电介质应用相应的降额系数，这使得有效电容降至191uF，故而电路板上使用191uF电容并再次测试负载瞬变，在此条件下响应表现出不稳定性和振铃现象。仅就温度而言，有效输出电容需要增加到285uF才能满足整个温度范围内的稳定性和瞬态性能要求。很明显，温度引起的电容降额导致响应不稳定，违反了系统的要求，实际应用中这样的波形性能也不被接受。有些使用者可能会认为可以通过降额系数调整285uF，得到570uF则能应对最差情况下的降额，但这只解决了问题的一半，因为IC参数也会发生变化，这些变化同样会影响瞬态响应。最差情况分析时需要考虑所有的因素，否则问题没有完全解决。

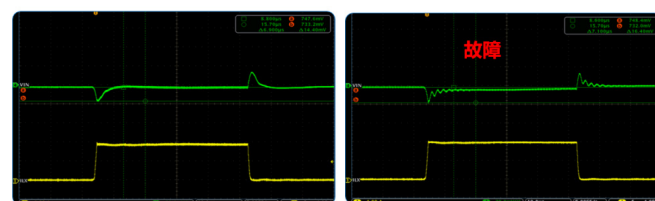


图6. 标准电容及降额电容对瞬态的影响（标准降压架构）

按照IC数据手册进行计算可以得到估计的最差情况下需要的输出电容，考虑到我们求得的降额后实际输出电容为285uF，所需标称值783uF，这是确保解决方案在整个IC工艺和温度范围内满足性能要求所需的实际标称电容。

2. MAXQ™ Power案例分析

采用MAXQ™ Power解决方案，对于同一系统仅使用68uF的有效电容就能达到性能要求，考虑到陶瓷降额，标称电容约为136uF。MAXQ™ Power架构降额后的 C_{OUT} 就是最差情况，因为它几乎没有IC参数分布，其影响微不足道，不会出现竞争器件高达736uF那样的最坏情况，温度降额的最小 C_{OUT} 就是所需的最小 C_{OUT} 。图7是使用136uF情况下MAXQ™ Power转换器的瞬态响应示例。



图7. MAXQ™ Power转换器的瞬态响应示例

3. MAXQ™ Power解决方案与竞争解决方案的电容示例

MAXQ™ Power转换器与竞争器件所需的输出电容前者为136uF，后者为783uF，图8对两个电容数量给出直观视图，可以发现两者布置在PCB空间上占据板间面积的差异。因此，智能边缘应用中，MAXQ™ Power架构节约方案尺寸，节省巨大的成本。

总结

在需要极低电压应用的高完整性电源负载瞬态响应中，MAXQ™ Power™可有效提高性能、减少浪费、缩小解决方案尺寸并降低成本。ADI转换器极具市场竞争力，其出色的优势帮助客户应对新兴应用，为成长型市场中的系统挑战提供解决方案。

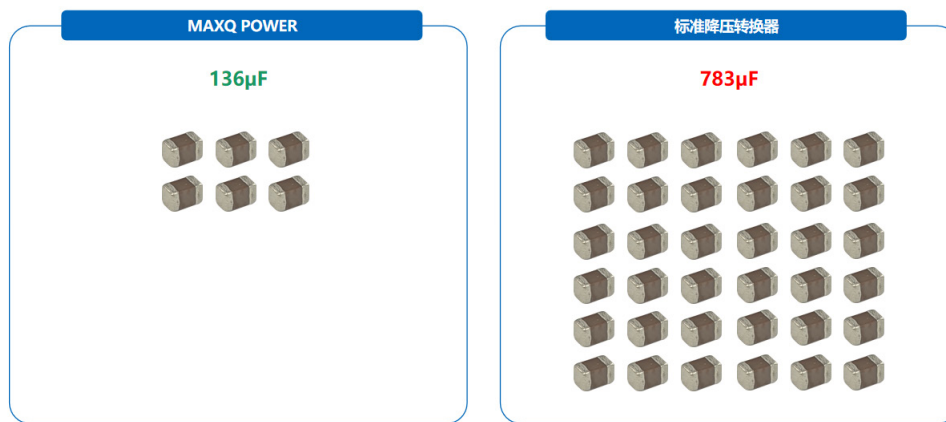


图8. 实际电容可视化示例

访问我们的在线技术支持社区，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。

ez.analog.com/cn

ADI EngineerZone™
中文技术论坛

**ANALOG
DEVICES**
超越一切可能™

analog.com/cn

有关地区总部、销售和代理商的信息，或客户服务和技术支持的联系信息，请访问analog.com/cn/contact。
©2025 Analog Devices, Inc.保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。