

# 使用高效率、高频率、 低EMI DC/DC转换器 降低对陶瓷电容的电源要求

Zhongming Ye, 高级应用工程师

多层陶瓷电容器(MLCC)的价格在过去几年急剧上涨，究其原因，与汽车、工业、数据中心和电信行业使用的电源数量增加有关。陶瓷电容被用在电源输出端，用于降低输出纹波，以及控制因为高压摆率加载瞬变而导致的输出电压过冲和欠冲。输入端则要求陶瓷电容进行解耦和过滤EMI，这是因为在高频率下，它具备低ESR和低ESL。

为了提高工业和汽车系统的性能，需要将数据处理速度提高几个等级，并且在微处理器、CPU、片上系统(SoC)、ASIC和FPGA上集成更多耗电器件。这些复杂的器件类型需要多条稳压电轨：一般是内核0.8 V，DDR3和LPDDR4分别1.2 V和1.1 V，外设和辅助组件分别为5 V、3.3 V和1.8 V。降压（降压型）转换器被广泛用于调节电池或直流总线提供的电源。

例如，汽车中的高级驾驶员辅助系统(ADAS)产品组合大幅提升了陶瓷电容的使用率。随着电信行业开始采用5G技术，也需要用到高性能电源，这也会显著增加陶瓷电容的使用率。内核的电源电流从几安培增加到几十安培，且严格管控电源纹波、负载瞬变过冲/欠冲和电磁干扰(EMI)，这些都需要额外的电容。

在许多情况下，传统电源方法无法跟上变化的速度。整体式解决方案尺寸过大，效率太低，电路设计太过复杂，且物料成本(BOM)过高。例如，为了满足快速负载瞬变所需的严格的电压调节规格，需要在输出端使用大量陶瓷电容，以存储和获取负载

瞬变产生的大量电流。陶瓷型输出电容的整体成本可以达到功率IC的好几倍。

更高的电源工作（开关）频率可以降低瞬变对输出电压造成的影响，降低电容需求和整体解决方案的尺寸，但是更高的开关频率往往会导致开关损耗增加，降低整体效率。能否在先进的微处理器、CPU、SoC、ASIC和FPGA需要极高的电流时，避免这种取舍并满足瞬变要求？

ADI公司的Power by Linear™单芯片Silent Switcher® 2降压稳压器系列帮助实现紧凑的解决方案尺寸、高电流能力和高效率，更重要的是，还具备出色的EMI性能。LTC7151S单芯片降压稳压器使用Silent Switcher 2架构来简化EMI滤波器设计。谷电流模式可以降低输出电容需求。我们来看看适合SoC的20 V输入至1V、15 A输出解决方案。

## 面向SoC的20 V输入、15 A解决方案

图1所示为适合SoC和CPU功率应用的1 MHz、1.0 V、15 A解决方案，其中输入一般为12 V或5 V，可能在3.1 V至20 V之间波动。只需要输入和输出电容、电感、几个小型电阻和电容即会组成完整的电源。此电路易于修改，以生成其他输出电压，例如1.8 V、1.1 V和0.85 V，一直到0.6 V。输出电轨的负回流（至V-引脚）使得其能够对负载附近的输出电压实施远程反馈检测，最大限度降低板路径的压降导致的反馈误差。

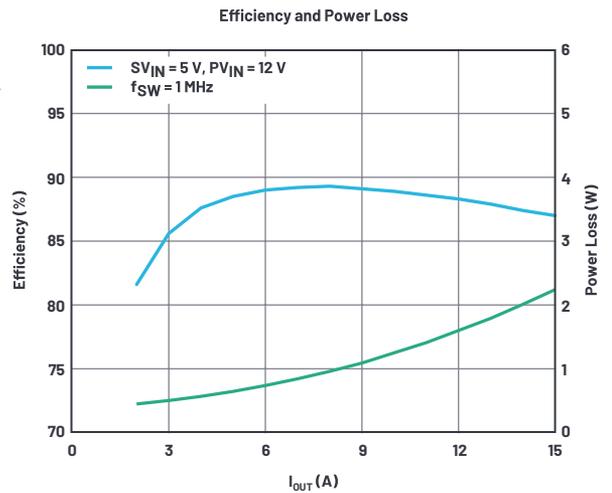
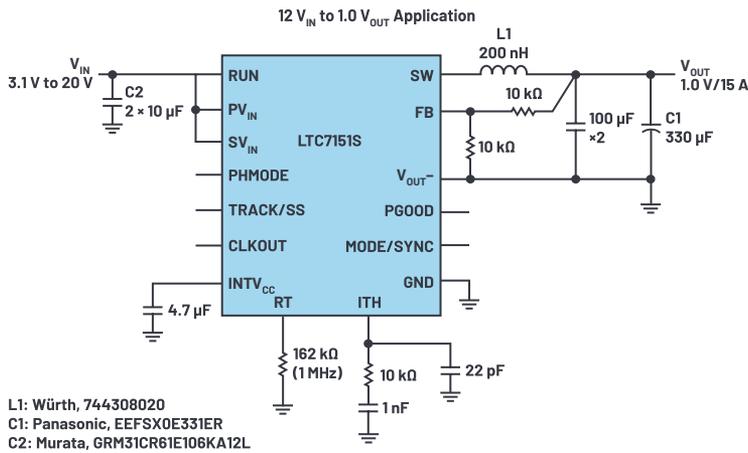


图1. 适用于SoC和CPU的1MHz、15A降压稳压器的原理图和效率。

图1所示的解决方案使用LTC7151S Silent Switcher 2稳压器，该稳压器采用高性能集成式MOSFET，以及28引脚散热增强型4 mm × 5 mm × 0.74 mm LQFN封装。通过谷电流模式实施控制。内置保护功能，以最大限度减少外部保护组件的数量。

顶部开关的最短导通时间仅为20 ns（典型值），可以在极高频率下直接降压至内核电压。热管理功能支持可靠、持续地提供高达15 A的电流、20 V的输入电压，无散热或气流，因此非常适合电信、工业、交通运输和汽车应用领域的SOC、FPGA、DSP、GPU和微处理器使用。

LTC7151S具备广泛的输入范围，可以用作一级中间转换器，支持多个下游负载点或LDO稳压器在5 V或3.3 V时达到最高15 A。

### 使用最小的输出电容，满足严格的瞬变规格

一般来说，会扩大输出电容，以满足回路稳定性和负载瞬态响应要求。对于为处理器提供内核电压的电源，这些要求尤其严格，必须出色地控制负载瞬变过冲和欠冲。例如，在负载阶跃期间，输出电容必须介入，立即提供电流来支持负载，直到反馈回路将开关电流增高到足以接管。一般来说，可以通过在输出端安装大量多层陶瓷电容来抑制过冲和欠冲，在快速负载瞬变期间满足电荷存储要求。

另外，提高开关频率也可以改善快速回路响应，但这会增大开关损耗。

还有第三种选项：支持谷电流模式控制的稳压器可以动态改变稳压器的开关T<sub>ON</sub>和T<sub>OFF</sub>时间，以满足负载瞬变需求。如此，可以大幅降低输出电容，以满足快速瞬变时间。图2所示为LTC7151S Silent Switcher稳压器立时响应4 A至12 A负载阶跃和8 A/µs压摆率之后的结果。LTC7151S采用受控导通时间(COT)谷电流模式架构，支持开关节点在4 A至12 A负载阶跃瞬变期间压缩脉冲。在上升沿启动约1 µs之后，输出电压开始恢复，过冲和欠冲则限制在46 mV峰峰值。图2a中所示的3个100 µF陶瓷电容足以满足典型的瞬变规格要求，如图2b所示。图2c显示负载阶跃期间的典型开关波形。

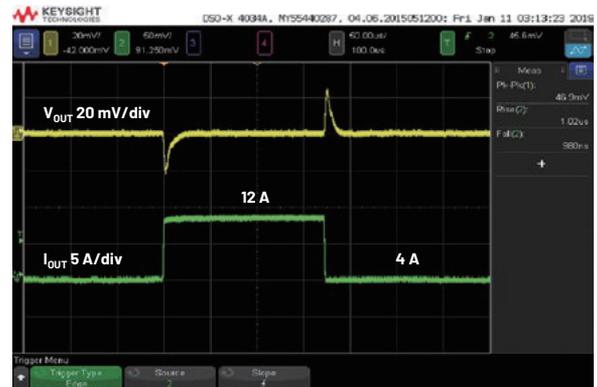
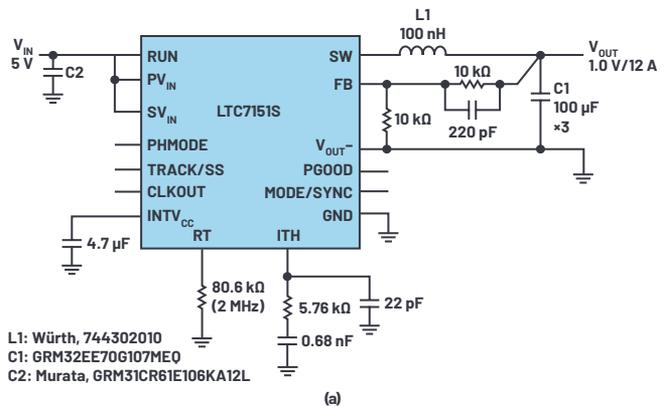


图2. (a) 这种5 V输入至1 V输出的应用在2 MHz下运行，需要最小的输出电容达到快速地响应(b)负载阶跃，以及负载阶跃期间的(c)开关波形。

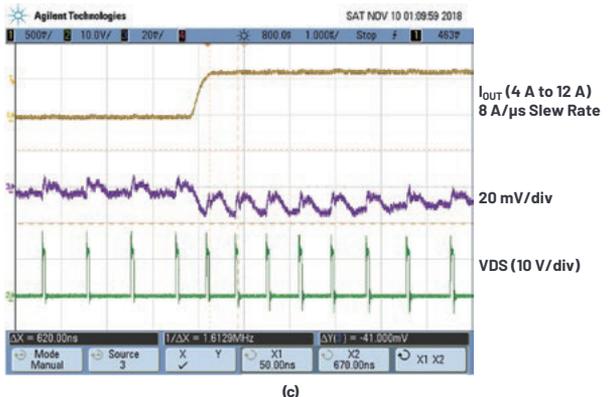


图2. (a) 这种5 V输入至1 V输出的应用在2 MHz下运行，需要最小的输出电容达到快速地响应(b)负载阶跃，以及负载阶跃期间的(c)开关波形。

### 3 MHz高效降压型稳压器可用于狭小空间

LTC7151S采用4 mm × 5 mm × 0.74 mm封装，其中集成了MOSFET、驱动器和热回路电容。让这些组件彼此靠近可以降低寄生效应，以便快速开关这些开关，且保持很短的死区时间。开关的反并联二极管的导通损耗也大大降低。集成式热回路解耦电容和内置补偿电路也可以帮助降低设计复杂性，最大限度减小解决方案的总体尺寸。

如前所述，顶部开关的20 ns（典型）最短间隔允许在高频率下实现极低的占空比转换，使得设计人员能够利用极高频操作（例如3 MHz）来降低电感、输入电容和输出电容的大小和值。极为紧凑的解决方案适用于空间有限的应用，例如汽车和医疗应用领域的便携式设备或仪器仪表。使用LTC7151S时，可以不使用大体积散热组件（例如风扇和散热器），这是因为LTC7151S支持高性能功率转换，即使在极高频率下也是如此。

图3显示在3 MHz开关频率下运行的5 V至1 V解决方案。伊顿提供的小尺寸100 nH电感和3个100 μF/1210陶瓷电容一起，提供适用于FPGA和微处理器应用的纤薄紧凑型解决方案。效率曲线如图3b所示。在室温下，全负载范围内温度上升约15°C。

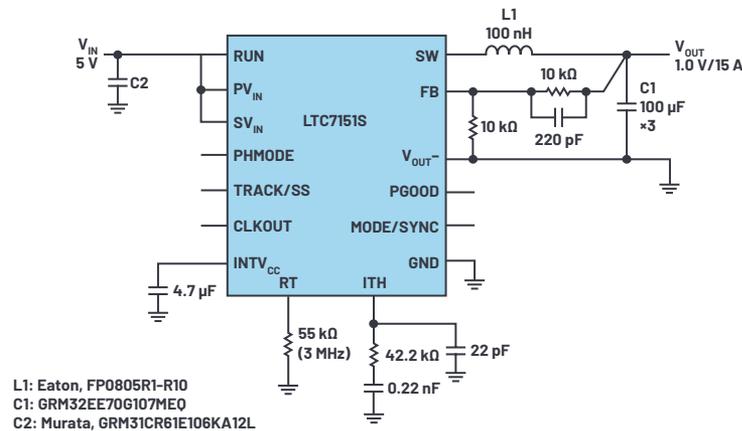


图3. 5 V输入至1 V/15 A， $f_{sw} = 3$  MHz下的稳压器原理图和效率。

### Silent Switcher 2技术帮助实现出色的EMI性能

使用15 A应用满足已经发布的EMI规范（例如CISPR 22/CISPR 32传导和辐射EMI峰值限值），可能意味着多个迭代板旋转，涉及在解决方案尺寸、总效率、可靠性和复杂性之间取舍。传统方法通过减慢开关边沿和/或降低开关频率来控制EMI。这两种方法都会产生不良的影响，例如效率下降，最短接通和关断时间增加，以及增大解决方案尺寸。复杂、大尺寸的EMI滤波器或金属屏蔽等强力EMI消除方案在所需的电路板空间、组件和装配方面增加了大量成本，并使热管理和测试复杂化。

ADI公司专有的Silent Switcher 2架构使用多种EMI缓解技术，包括集成式热回路电容，以最大限度减小嘈杂天线的尺寸。LTC7151S通过集成高性能MOSFET和驱动器，将EMI保持在低水平，如此，IC设计人员能够设计出内置最小开关节点环的器件。其结果是，热回路中存储的相关能源得到高度控制，即使开关边缘具备高压摆率时也是如此，可以帮助实现出色的EMI性能，同时最大限度降低高工作频率下的开关损耗。

LTC7151S前端采用简单的EMI滤波器，在EMI测试室中接受测试，通过了CISPR 22/CISPR 32传导和辐射EMI峰值限值认证。图4显示1 MHz、1.2 V/15 A电路的原理图，图5显示吉赫兹横电磁波(GTEM)电池的辐射EMI CISPR 22的测试结果。

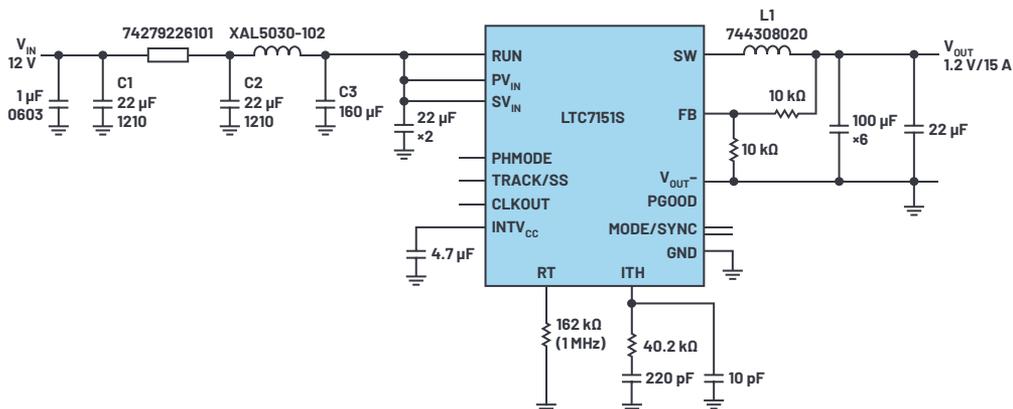
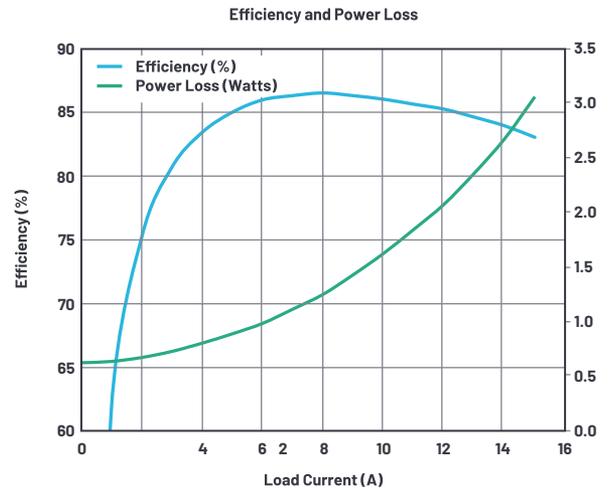


图4. 开关频率为1 MHz的1.2 V稳压器的原理图。

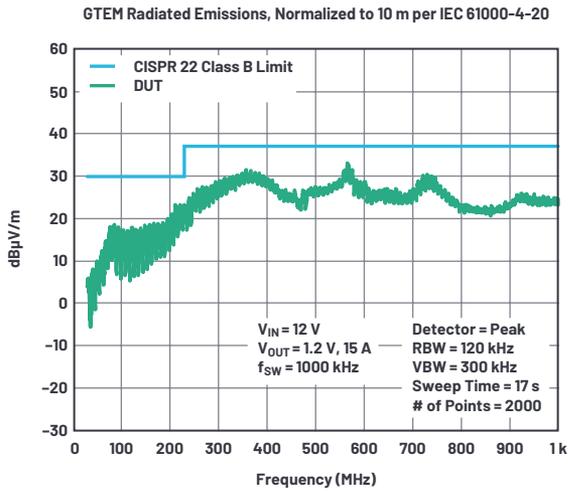


图5. GTEM中的辐射EMI通过CISPR 22 Class B限值测试。



### 作者简介

Zhongming Ye是ADI公司的一名电源产品高级应用工程师，工作地点位于美国加利福尼亚州圣克拉拉。他自2009年以来一直在凌力尔特（现为ADI公司的一部分）工作，负责提供各种不同产品的应用支持，包括降压、升压、反激式和正激式转换器。他在电源管理领域的关注点包括面向汽车、医疗和工业应用的高效率、高功率密度和低EMI的高性能电源转换器和稳压器。在加入凌力尔特之前，他在Intersil工作了三年，从事隔离式电源产品的PWM控制器相关工作。他拥有加拿大金斯顿女王大学电气工程博士学位。Zhongming是IEEE电力电子学会的高级会员。联系方式：[zhongming.ye@analog.com](mailto:zhongming.ye@analog.com)。

### 结论

智能电子、自动化和传感器在工业和汽车环境中的普及，提高了对电源数量和性能的要求。特别是低EMI，已成为更加重要的关键电源参数考量因素，除此以外，还包括小解决方案尺寸、高效率、热性能、稳健性和易用性等常规要求。

LTC7151S使用ADI公司Power by Linear部的Silent Switcher 2技术，尺寸紧凑，可以满足严格的EMI需求。LTC7151S支持谷电流模式控制和高频率操作，可以动态变更 $T_{ON}$ 和 $T_{OFF}$ 时间，几乎立即主动支持负载瞬变，因此可以使用更小的输出电容和快速响应。具备集成MOSFET和热管理性能，可以稳定可靠地从高达20 V的输入范围持续提供高达15 A电流。

