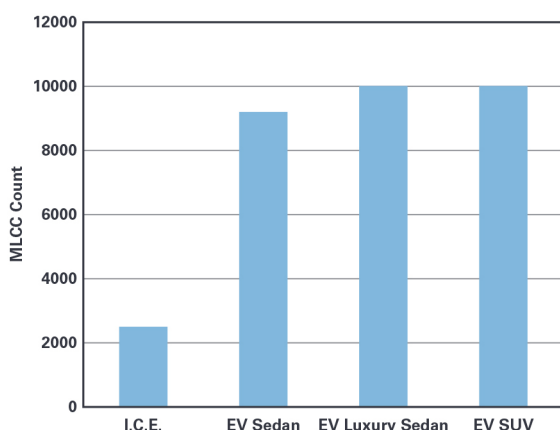


通过降低电源 对电容的要求 来解决MLCC短缺问题

Atsuhiko Furukawa, 现场应用工程师

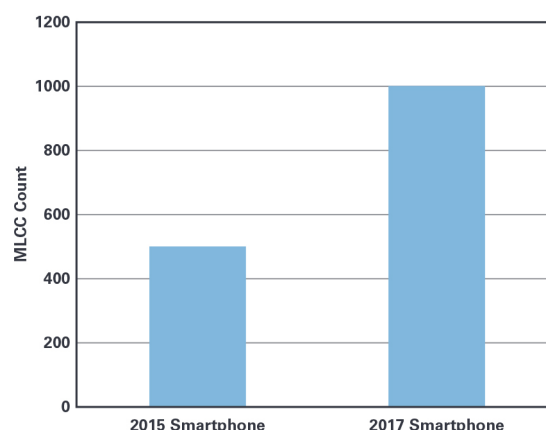
在全球范围内，多层陶瓷电容(MLCC)供不应求。很大部分原因是因为手机的电子复杂性提高、电动汽车的销售量增加，以及全球各行各业电子内容的扩展。相比几年前，一些智能手机的MLCC用量翻了一番；相比使用典型的现代内燃机的汽车，电动汽车的MLCC用量增加至少4倍（图1）。MLCC从2016年底

开始缺货，这使得生产大电容值产品（几十 μF 或更高）变得尤其困难，而最新电子器件采用的高能电源需要这种电容才能运行。制造工厂想要降低MLCC要求不可避免地想要从电源的电容要求着手，尤其是开关稳压器的电容。因此，电源设计人员成为解决电容短缺问题的关键。



MLCC Count	
I.C.E.	2,500
EV Sedan	9,200
EV Luxury Sedan	>10,000
EV SUV	>10,000

(a)



MLCC Count	
2015 Smartphone	~500
2017 Smartphone	>1,000

(b)

图1 全球范围内电动汽车(a)和手机(b)对MLCC的用量增加，但生产量没有相应增加，导致MLCC缺货。¹

电源电路使用电容——大量电容

典型的直流-直流降压变换器使用下列电容（参见图2）：

- **输出电容**：在负载瞬态响应期间，平缓输出电压波纹和电源负载电流。一般使用几十μF到100 μF的大电容。
- **输入电容**：除了稳定输入电压之外，它还被用于输入电流的即时供应。一般在几μF到几十μF之间。
- **旁路电容**：吸收开关操作产生的噪声和来自其他电路的噪声。一般在0.01 μF到0.1 μF之间。
- **补偿电容**：保证反馈回路中的相位裕量并防止振荡。通常为几百pF或几十nF。有些开关稳压器IC中采用了补偿电容。

降低电容的最好方法是想办法最小化输出电容的数量。本文接下来将介绍减少输入电容的策略方法，然后介绍降低旁路电容要求，以及，在一定程度上，减少输入电容的解决方案。

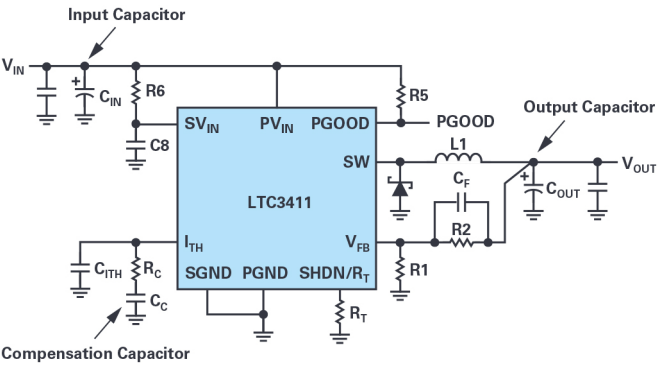


图2. 典型降压稳压器使用的电容。

增加开关频率，以降低输出电容

图3a显示的是典型的电流模式降压变换器的框图，下部电路区域表示反馈回路和补偿电路。

反馈回路的特性如图3b所示。回路增益为0 dB（增益=1）时的频率被称为交越频率(f_c)。交越频率越高，稳压器的负载阶跃响应性能越出色。例如，图4显示的是支持负载电流从1A快速增加到5A的稳压器的负载阶跃响应。所示结果对应的交越频率为20 kHz和50 kHz，分别导致60 mV和32 mV压降。

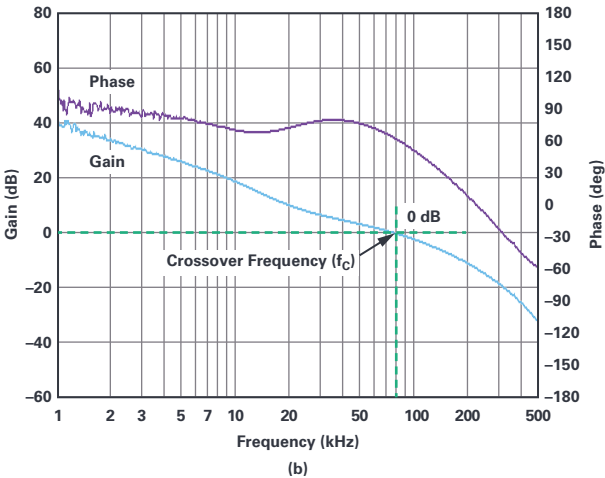
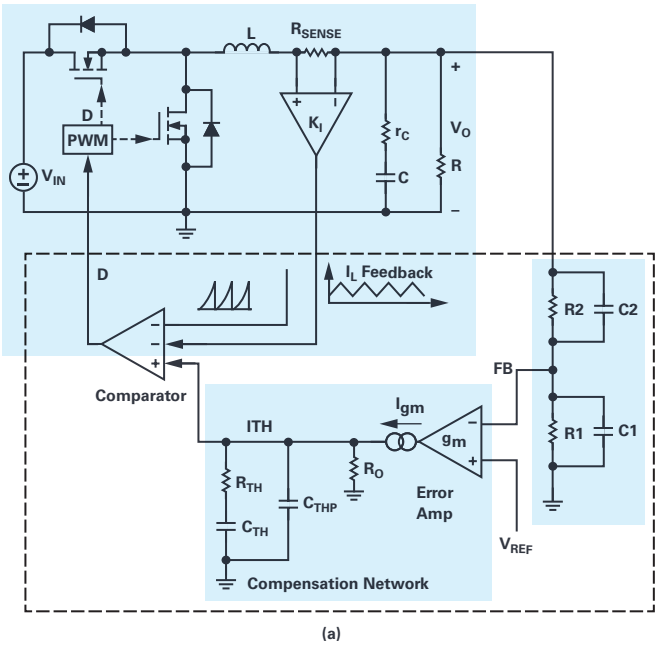


图3. 典型降压稳压器(a)的框图和典型的反馈特性(b)。

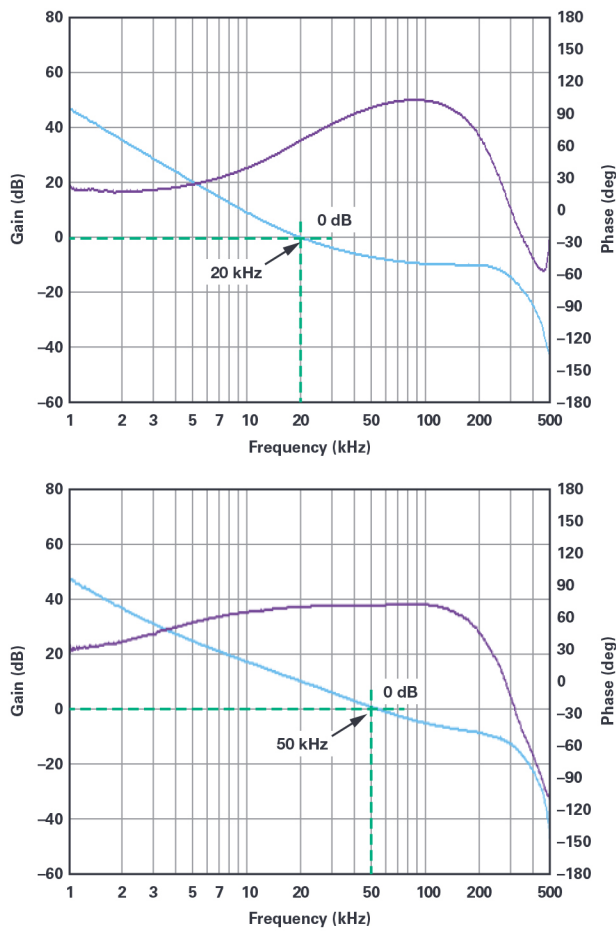
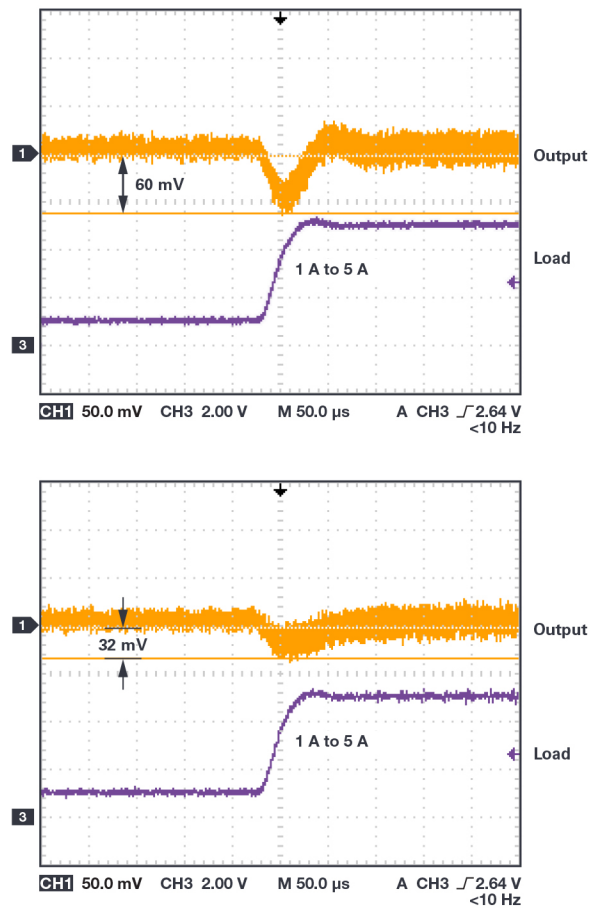


图4. 比较采用两种交越频率时，降压稳压器的负载阶跃响应。



从表面上看，提高交越频率似乎是个简单方法：可以通过最小化输出压降来改善负载阶跃响应，从而减少输出电容数量。但是，提高交越频率会导致两个问题。第一，需要保证反馈回路具备足够的相位裕量，以防止振荡。一般来说，采用该交越频率时，需要 45° 或更高（最好是 60° 或以上）的相位裕量。

第二，需要注意开关频率(f_{sw})和 f_c 之间的关系。如果它们的幅度相当，负反馈会响应输出电压波纹，从而影响到稳定运行。作为一项指导，可以将交越频率设置为开关频率的 $1/5$ （或更低），如图5所示。

要增加交越频率，需要同时增加开关频率，但是，这会导致顶部和底部FET的开关损耗增加，会降低转换效率和产生更多热量。在电容上实现的节省会因为增加散热元件带来的复杂性抵消：比如鳍状散热器、风扇或额外的板空间。

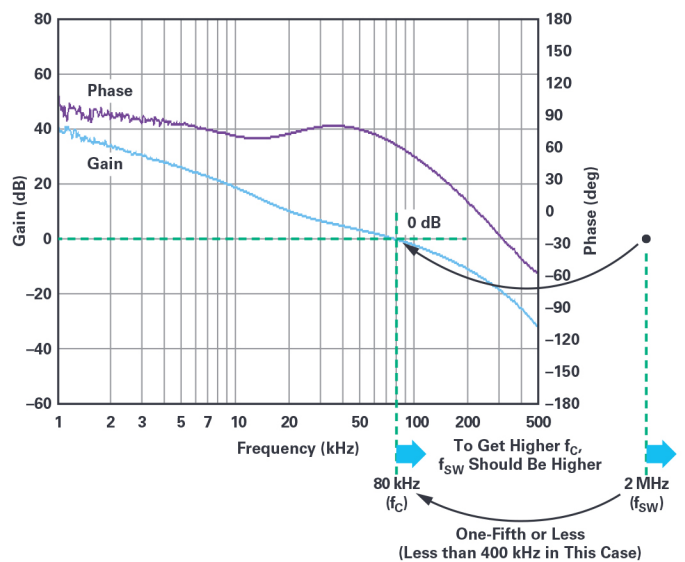


图5. 如果开关频率和控制回路交越频率太过接近，负反馈可能响应输出电压波纹。最好是让交越频率低于开关频率 $1/5$ 。

是否能够在高频率下保持高效率？答案是肯定的。使用ADI公司提供的Power by Linear™稳压器IC就可以达到这种效果，这些稳压器IC采用独特的FET控制功能，在更高开关频率下也能保持高效率（图6）。

例如，LT8640S 6 A输出降压稳压器在操作频率为2 MHz时（12V输入和5V输出），在整个负载范围内（0.5 A至6 A）能保持高于90%的效率。

这个稳压器也可以通过减少电流波纹(ΔI_L)来降低电容要求，从而降低输出波纹电压(ΔV_{OUT})，如图7所示。或者，使用更小的电感。

开关频率更高时，可以增加交越频率，以改善负载阶跃响应和负载调整，如图8所示。

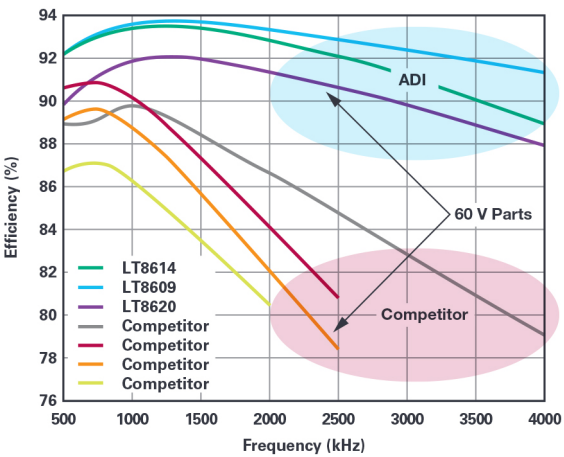


图6. Power by Linear稳压器与竞争产品。对于典型的稳压器，开关频率增高时，效率会下降。ADI的Power by Linear稳压器可以在非常高的操作频率下保持高效率，因而支持使用值更小的输出电容。

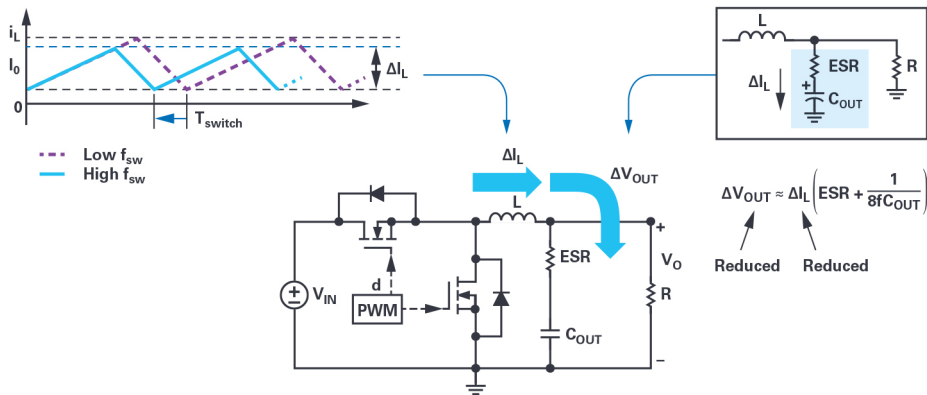


图7. 通过增加开关频率来减小电容和电感的尺寸。

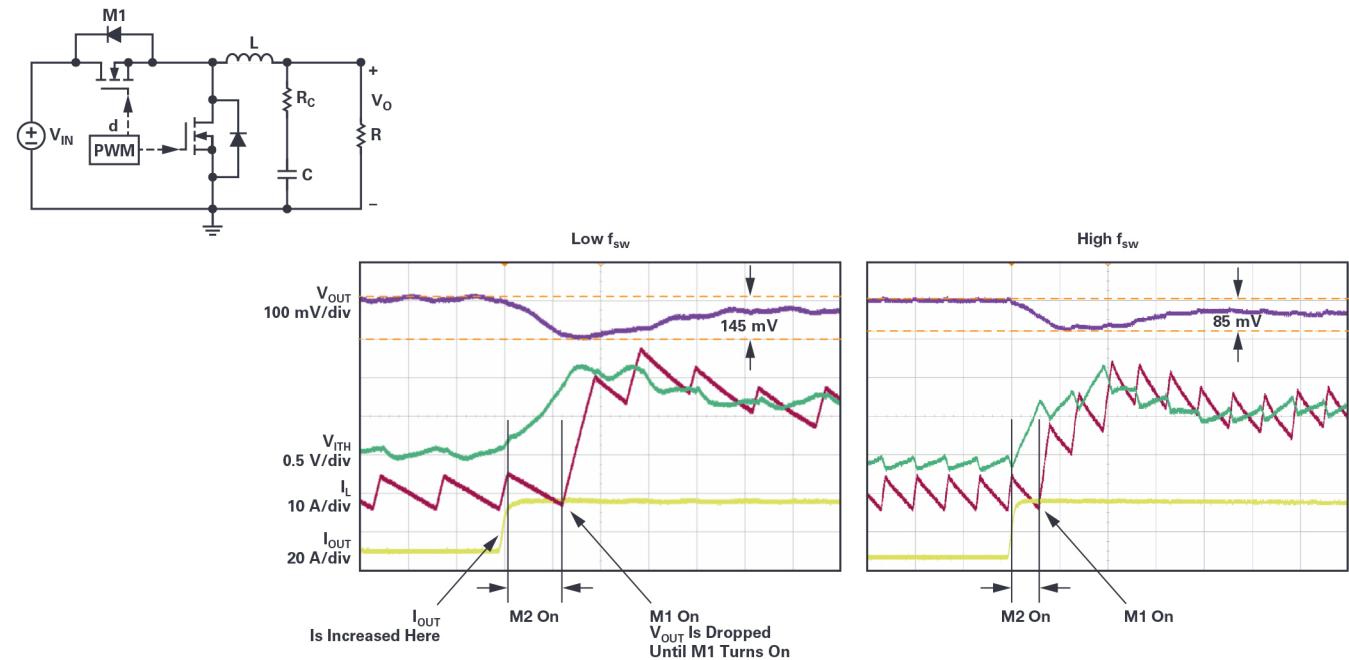


图8. 增加开关频率可以改善负载阶跃响应。

4 通过降低电源对电容的要求来解决MLCC短缺问题

Silent Switcher稳压器可以大幅降低旁路电容

如果减少旁路电容的数量，会如何？旁路电容主要被用于吸收开关操作产生的噪声。如果能从其他方面降低开关噪声，就可以减少旁路电容的数量。有一个特别简单的方法可以实现这种效果，即使用Silent Switcher®稳压器。

Silent Switcher稳压器如何降低开关噪声？开关稳压器具有两个电流回路：顶部FET开启，底部FET关闭（红色回路）；顶部FET关闭，底部FET开启（蓝色回路），如图9所示。热回路传输完全开关的交流电流，也就是说，从0切换到IPEAK，然后回到0。它具备最高的交流和EMI能源，会产生最强变化的磁场。

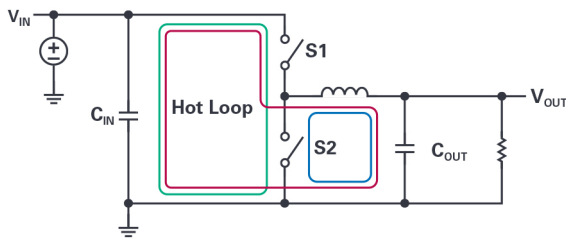


图9. 开关稳压器中的热回路会因为本身产生的交变磁场而导致大量辐射噪声。

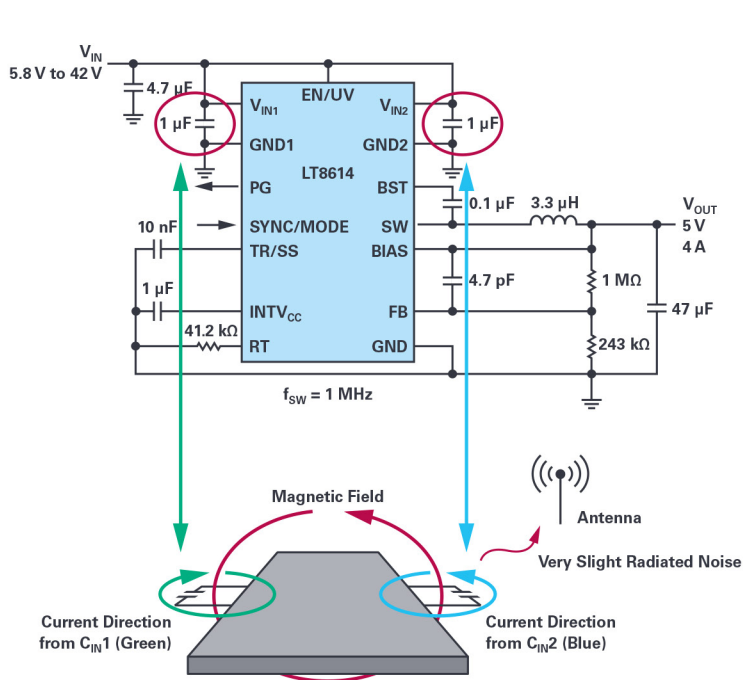
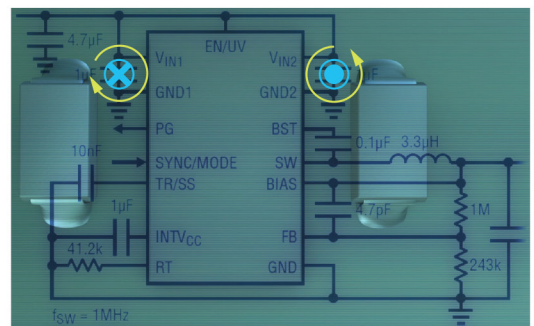
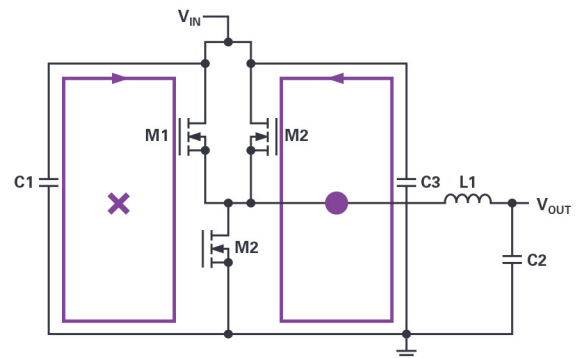


图10. 获得专利的Silent Switcher技术。

可以使用压摆率控制来降低栅极信号变化的频率（降低 di/dt ），以便抑制开关噪声。这种方法虽然能够抑制噪声，但会增加开关损耗，导致产生更多热量，在之前所述的高开关频率下尤其如此。压摆率控制在某些条件下是有效的，ADI公司也提供包含这种控制的解决方案。

Silent Switcher稳压器可以抑制热回路中产生的电磁噪声，但不是使用压摆率控制。而是将 V_{IN} 引脚一分为二，令热回路可以分成两个对称的热回路。产生的磁场被限制在靠近IC的区域，其他位置大幅降低，从而最大限度地降低辐射开关噪声（图10）。

LT8640S是Silent Switcher技术的第二代，即Silent Switcher 2（图11），IC内部集成高频输入电容。这可以确保最大限度地抑制噪声，因此也无需如以前一样非常小心地在布局中确定输入电容的位置。毫无疑问，这也会降低对MLCC的要求。另一项功能——展频，会通过动态改变开关频率来降低噪声峰值。LT8640S兼具这些功能，因此能够轻松满足CISPR 25 5级EMC汽车标准（图12）。



Ampere's Right-Hand Screw Rule

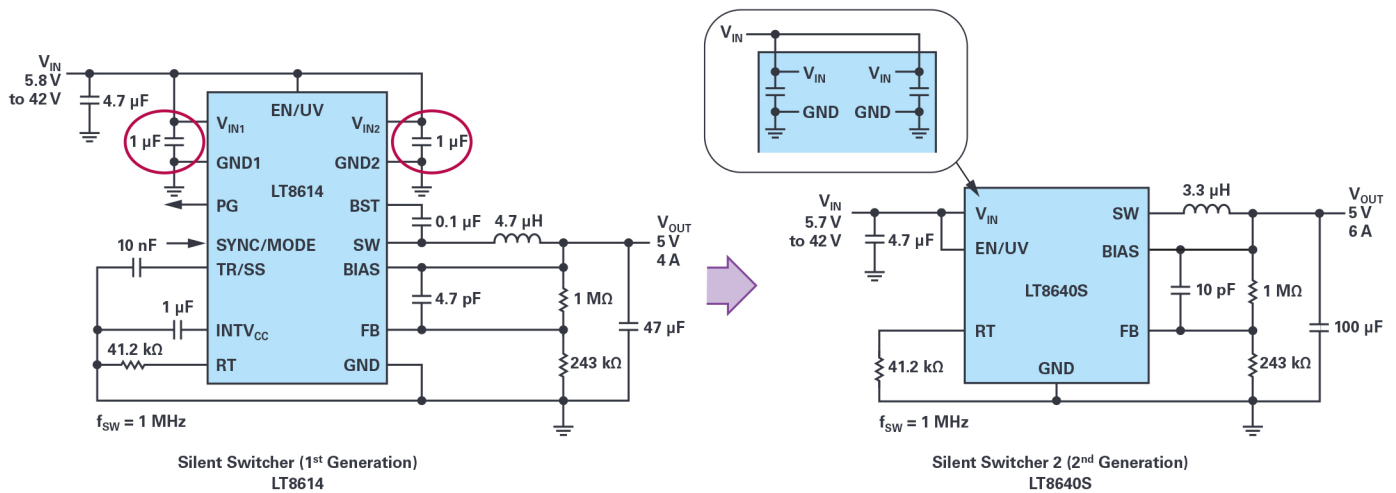


图11. ADI公司提供的Silent Switcher 2技术在IC中集成输入电容，由此简化布局和提升噪声抑制性能。

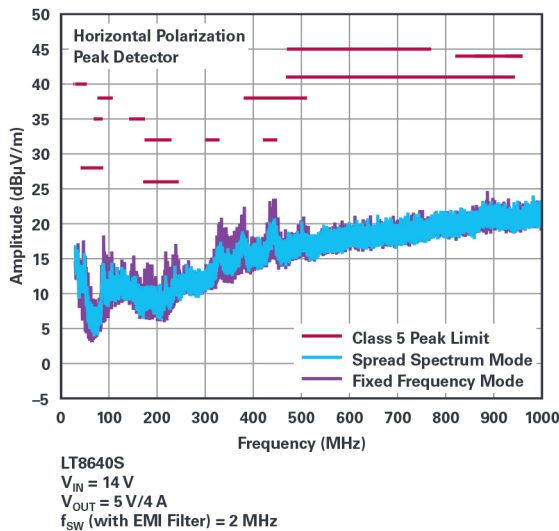


图12. 在Silent Switcher 2器件（例如LT8640S）中采用这些降噪功能使得产品能够轻松满足CISPR 25 5级峰值限值标准，甚至降低输入和旁路电容。

结论

ADI公司提供的Power by Linear器件有助于降低MLCC要求，从而帮助设计人员解决MLCC短缺问题。可以通过使用高频率操作来降低输出电容要求，同时保持出色的高效率。采用Silent Switcher架构的器件可以大幅抑制EMI噪声，从而降低旁路电容要求。Silent Switcher 2器件进一步降低了对MLCC的需求。

参考资料

¹ Robin Blackwell. “投资演示，2018年2月。” KEMET，2018年2月。

LT8640S数据手册。ADI公司，2017年6月。

Seago, John. “OPTI-LOOP架构降低了输出电容，改善了瞬态响应。” ADI公司，2007年8月。

Zhang, Henry J. “开关模式电源的模型和回路补偿设计。” ADI公司，2016年2月。

作者简介

Atsuhiko Furukawa于2006年加入凌力尔特（现在已成为ADI公司的一部分）。10多年以来，他一直为中小型客户提供多种应用技术支持。2017年，他被调到汽车部门，现在主要负责设计大型（几kW）和小型安全汽车应用。Atsuhiko是一名马拉松长跑健将，取得的最好成绩是3小时3分钟。联系方式：atsuhiko.furukawa@analog.com。

在线支持社区

ADI EngineerZone™

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



ADI公司
请访问analog.com/cn

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和
技术支持，请访问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。

©2019 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。

TA21819sc-11/19

