

Silent Switcher μ Module稳压器为GSPS采样ADC提供低噪声供电，并节省一半空间

Aldrick Limjoco、Patrick Pasaquian和Jefferson Eco
ADI公司

高速模数转换器(ADC)的发展已经达到每秒千兆次采样(GSPS)水平，并且可用带宽也相应增加。这些性能的改进带来了许多挑战，其中一项就是对电源的要求更加复杂。例如，AD9625是一款2.6 GSPS的ADC，它需要7个独立的电源轨，分为3种电压：1.3 V、2.5 V和3.3 V。

完整的ADC电源系统必须具有高效率，适合放入空间拥挤的PCB，并且产生的输出噪声可与负载敏感度相匹配。平衡这些要求（通常彼此冲突）是系统设计人员面临的最主要的参数优化问题。通常，解决这个问题的办法是将开关稳压器（噪声大但效率高）与低压差(LDO)后级稳压器相结合，这样效率虽然相对较低，但是能够减少电源噪声。图1是一个典型系统的框图。

遗憾的是，效率与噪声性能的优化通常会增加系统的复杂性。图2是采用 μ Module® Silent Switcher®稳压器的替代性电源系统。这一解决方案为ADC提供低噪声供电，而且比传统解决方案效率更高。

考虑噪声因素

系统设计人员必须对负载敏感度进行量化考虑，并需要将其与电源噪声相匹配。通过在电源路径中使用LDO稳压器，可将电源噪声降至最低；它既可以作为独立稳压器（如图2所示），也可作为开关稳压器的后级稳压器（如图1所示）。LDO稳压器能够抑制输入电源噪声，该性能可用电源抑制比(PSRR)来衡量。

使用LDO稳压器改善噪声性能的代价是效率较低。LDO稳压器在高降压比下效率会降低，因为它们必须在导通元件上消耗额外的功率，因此使用LDO稳压器时，期望能最大程度地减小降压比以获得最高效率。这就是为什么它们经常被用作后级稳压器，接在固有噪声虽大但是效率较高的开关稳压器后面，这样就可LDO稳压器输入端之前先对主电源轨进行降压。然而，当它们被用作后级稳压器时，需要额外的裕量以最大化LDO稳压器的PSRR性能，这进一步降低了电源的整体效率，尤其是在较重负载时。

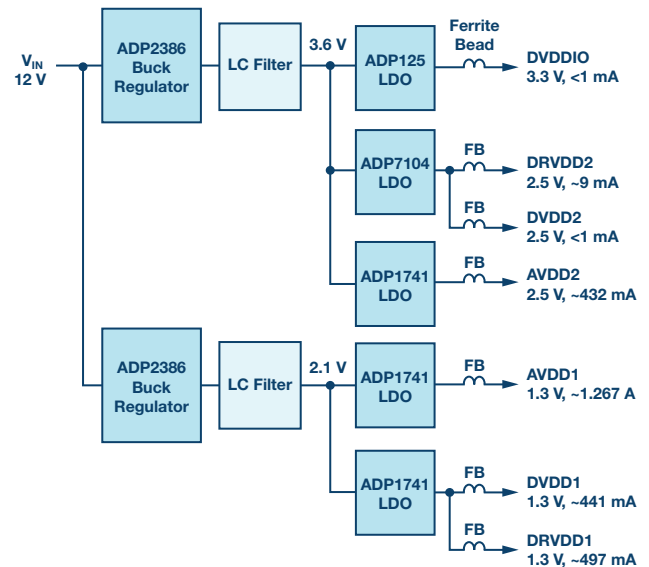


图1. 采用开关稳压器和LDO稳压器的GSPS ADC基准电源设计（传统设计）。

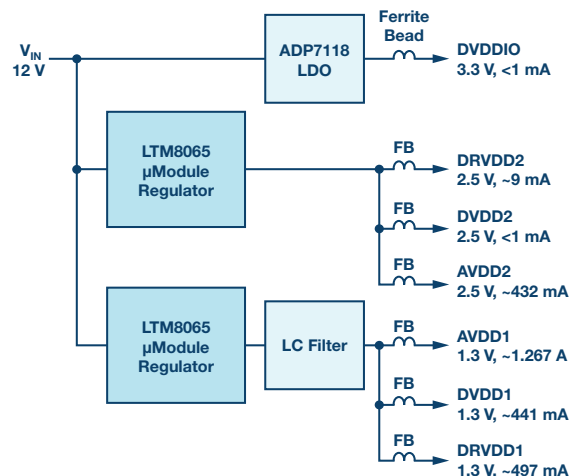


图2. 传统开关稳压器和LDO电源系统（如图1所示）的替代方案。该设计采用两个LTM8065 μ Module Silent Switcher稳压器直接为AD9625供电。这种设计噪声低、更紧凑、更高效（未经滤波的LTM8065设计）。

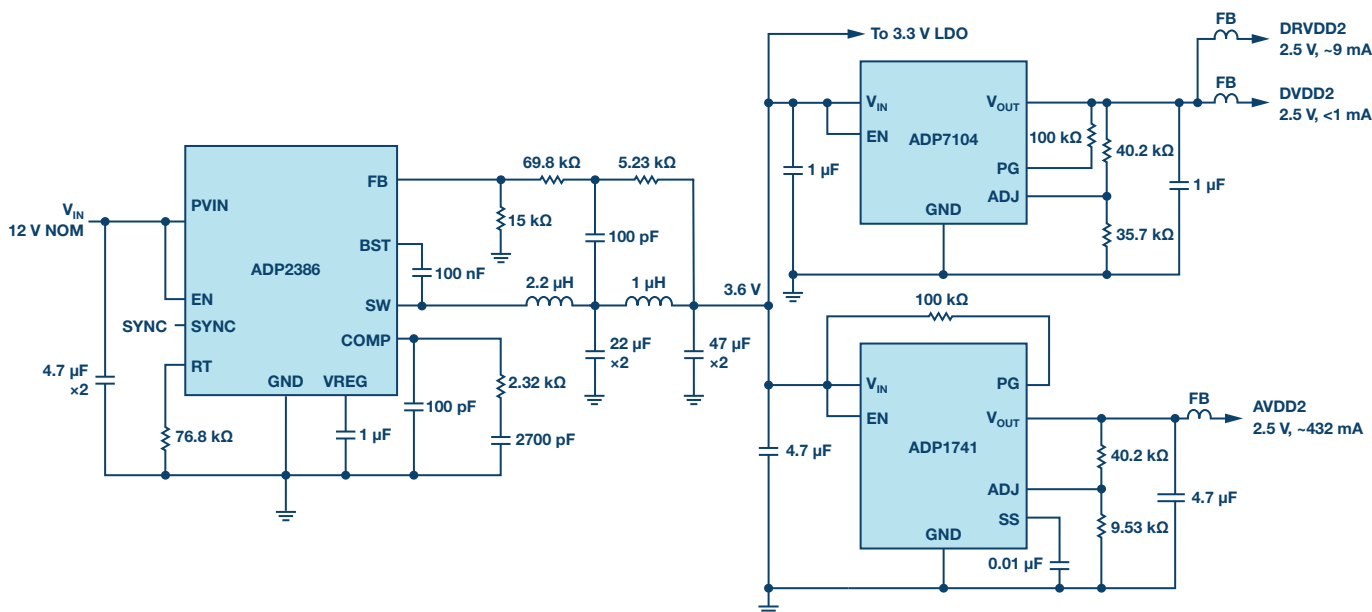


图3. 原理图显示为AD9625供电的3个2.5 V电源轨，采用传统的开关稳压器和LDO系统。另外4个电源轨没有在这里显示，但在图1的框图中有显示。

考虑简化设计和尺寸因素

传统开关稳压器加LDO的系统通常采用分立元件实现，导致PCB尺寸大且设计复杂，这违背了小尺寸和简化设计的目标。相比之下，可采用 μ Module稳压器来实现这些目标，因为在其封装内已集成了关键的稳压器元件，尤其是尺寸相对较大的电感，从而使解决方案的PCB非常紧凑。

此外， μ Module稳压器通常能够处理足够大的负载，使设计人员能够在单个 μ Module输出上组合多个相同电压的电源轨。大电流能力使得在现有基于 μ Module稳压器设计中添加电源轨成为可能，简化设计修改，从而缩短产品上市时间。

此处显示的基于 μ Module稳压器的解决方案非常高效且紧凑，很适用于12位2.6 GSPS的高性能ADC AD9625。由Power by Linear™ Silent Switcher μ Module稳压器LTM8065供电。Silent Switcher技术几乎消除了不可预测且难以滤波的高频噪声，而且可采用与ADC敏感度敏感度完全匹配电源。

为了将 μ Module稳压器解决方案与传统电源配置进行测试比较，采用2.5 A降压型 μ Module稳压器LTM8065为AD9625的1.3 V和2.5 V电源轨供电。对LTC电源模块两个轨上的ADC电源噪声敏感度和输出频谱都进行了检测。

传统的AD9625 ADC基准电源系统设计

图3是传统推荐用于AD9625 2.6 GSPS ADC电源配置的部分原理图。图3中仅显示了2.5 V电源轨，它可代表每个电源轨的典型电流要求。在完整的电源中，7个不同的电源域分为3路电压：1.3V、2.5V和3.3V。图1中的框图是完整电源的概要。

在此系统中，开关稳压器是两个带LC滤波器的20 V/6 A降压型转换器ADP2386，它们作为3.6 V和2.1 V中间电压的前级稳压器。图3所示为3.6 V输出稳压器。这些中间电压在ADC的每个调节输入轨上由LDO稳压器进一步降压。LDO稳压器为ADC提供调节电压，可有效减少开关稳压器的输出纹波。

传统的基准系统成功生成了稳定调节的低噪声输出，但其代价是复杂性增加。在电路板上放入众多元件会很困难，并且LDO的效率在最大负载时会受到影响，还可能会产生热问题。有没有更好的办法？有。

LTM8065 μ Module稳压器直接为AD9625 ADC的1.3 V和2.5 V电压轨供电

图4是基于图2框图的替代性电源解决方案的完整原理图。该系统由两个LTM8065 μ Module稳压器和一个ADP7118 LDO稳压器组成。LTM8065是一款40 V输入、2.5 A Silent Switcher μ Module稳压器，采用耐热增强的紧凑型过压成型球栅阵列封装(BGA)封装。该模块中包含一个开关控制器、一个电感和其他支持元件。LTM8065支持0.97 V至18 V的输出电压范围和200 kHz至3 MHz的开关频率范围，输出电压由单个外部电阻设置。仅需添加输入和输出滤波电容便可构成完整的稳压器。

在这个解决方案中，LTM8065直接为1.3 V电源轨和2.5 V电源供电。3.3 V电源轨直接由ADP7118低噪声LDO从12 V电源调节供电。3.3 V轨电流小于1 mA，因此LDO稳压器上的功耗可忽略不计。

关于负载对电源噪声的敏感度因素

ADC的电源敏感度是电源系统设计的首要考虑因素。通过测量ADC本身的PSRR或从数据手册中检索PSRR，可以确定电源噪声敏感度。有两种类型的PSRR：静态PSRR和动态（交流）PSRR。静态PSRR指电源电压变化与由此产生的ADC失调误差变化之比。这并不是主要的关注点，因为DC-DC转换器应该会为负载提供稳定调节的电压。而另一方面，动态（交流）PSRR是电源设计人员关注的指标，因为它表示ADC在一定频率范围内对电源引脚上的噪声进行衰减的能力。

ADC的交流PSRR可通过在电源引脚上注入正弦波信号的同时，直接在被测电源引脚上测量注入的正弦波信号幅度（探测靠近电源引脚的去耦电容）而获得。数字化杂散出现在相应频率的ADC的FFT噪声底上。在ADC FFT频谱上测量的注入信号幅度与相应数字化杂散幅度之比是电源抑制比。图5是一个典型的交流PSRR测量配置的框图。

使用AD9625 2.6 GSPS ADC, 在1.3 V模拟电源轨上有源耦合1 MHz、100 mV峰峰值正弦波。在ADC的FFT噪声底上出现相应的1 MHz数字化杂散, 其幅度取决于1 MHz处的PSRR。在这种情况下, 在FFT中, 1 MHz数字化杂散出现在转换器噪声底之上, 为-61.8 dBFS, 对应的峰峰值电压为892 μ V p-p, 参考模拟输入满量程范围1.1 V。

使用公式1计算1 MHz的交流PSRR, 得到交流PSRR为41 dB。

$$ACPSRR \text{ (dB)} = 20 \log \frac{\text{Injected Ripple}}{\text{Digitized Spur}} \quad (1)$$

其中:

数字化杂散是ADC FFT中观察到的杂散, 与电源引脚上的注入纹波相对应。本例中, 杂散为892 μ V p-p。

注入纹波是在输入电源引脚处耦合并测量的正弦波。这里的纹波幅度为100 mV p-p。

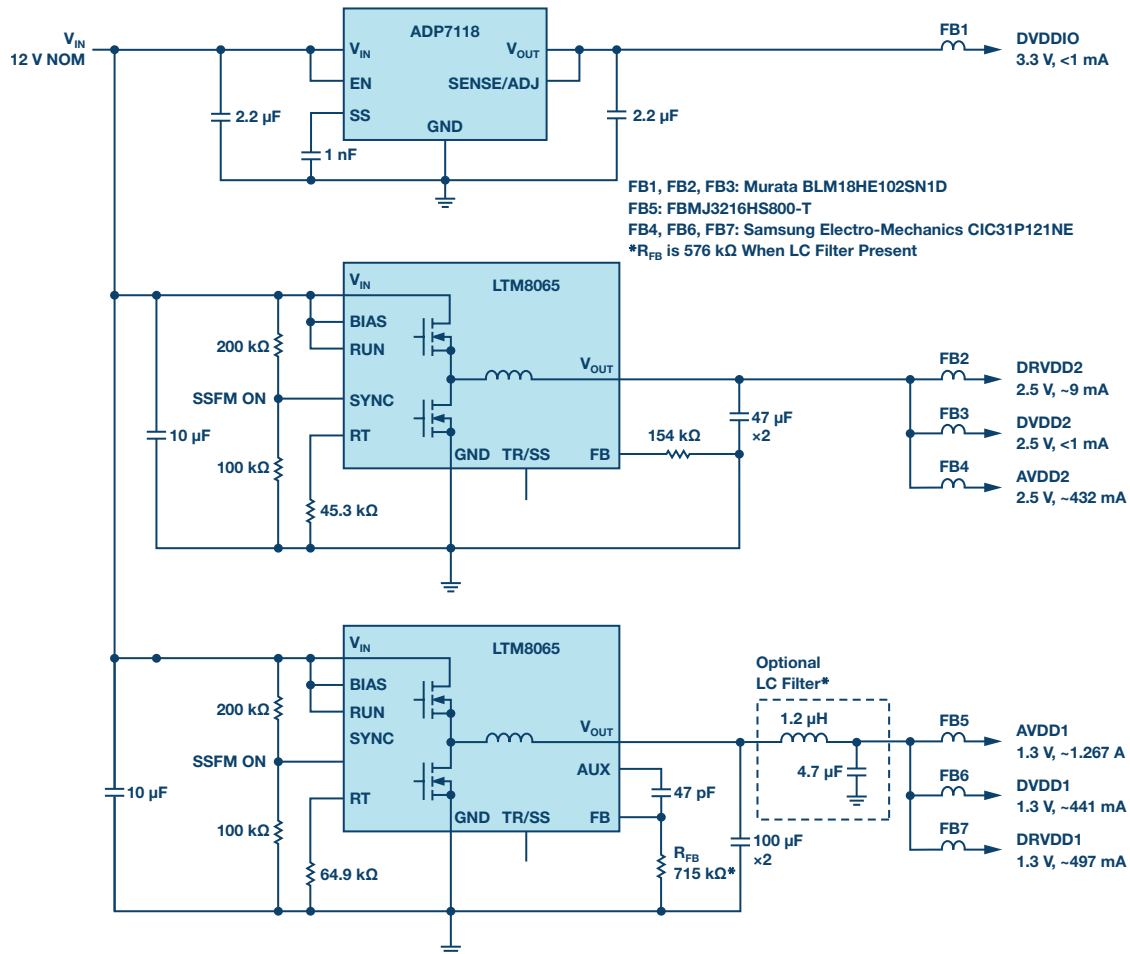


图4. 传统ADC电源系统的替代方案。这款完整的七电源轨解决方案可为AD9625 2.6 GSPS ADC供电。请注意, 完整的原理图与图2框图没有太大区别。

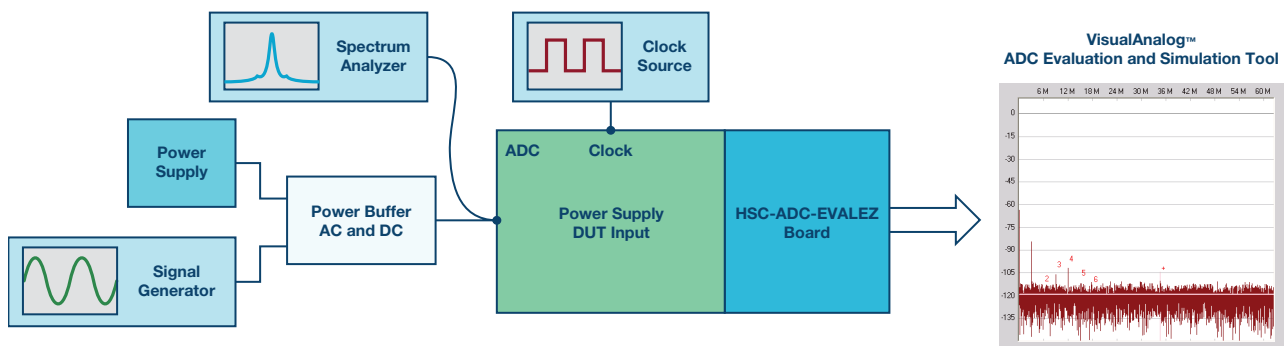


图5. ADC PSRR测试设置。

附带LC滤波器的LTM8065 μ Module稳压器为AD9625 ADC供电，提供1.3 V电源轨

图6显示，与2.5 V AVDD轨相比，1.3 V AVDD轨更容易受到电源噪声的影响——特别是在LTM8065的开关频率范围（200 kHz至3 MHz）内。图7是也是一个LTM8065解决方案，但它增加了一个低通LC（电感-电容）滤波器，用于1.3 V电源轨组合。

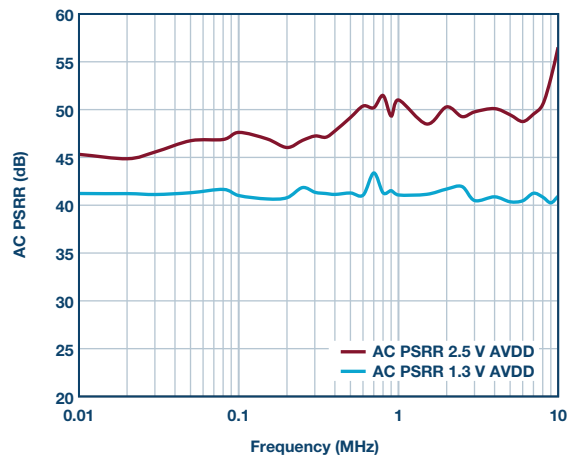


图6. AD9625模拟电源输入的电抑制比。

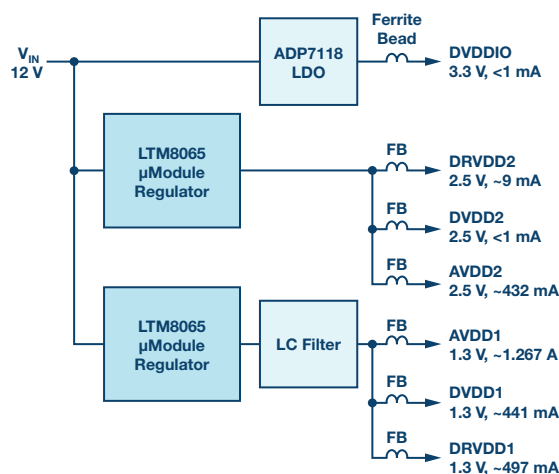


图7. 在1.3 V电源轨添加LC滤波器，以进一步降低噪声。

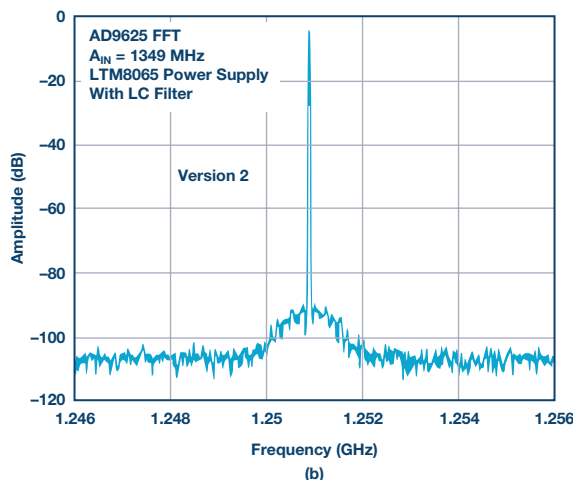
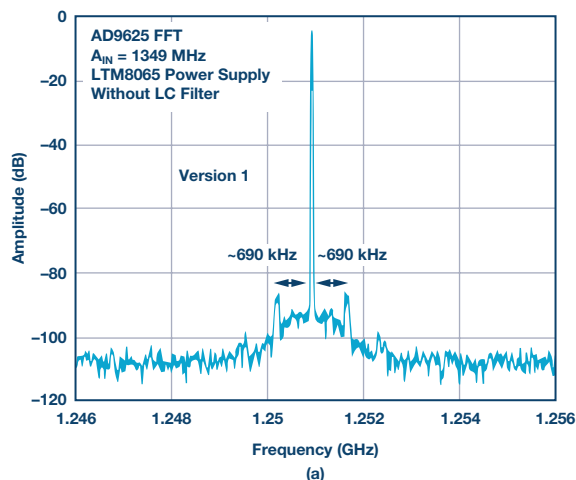


图8. 使用两个不同的电源系统：基于 μ Module稳压器的电源系统，一个不带LC滤波器(a)而另一个附带LC滤波器(b)，通过比较AD9625的FFT结果，可以发现LC滤波器对1349 MHz载波频率附近的调制杂散的影响。

低通LC滤波器的元件推荐取决于需要的滤波量。对于1.3 V电压轨而言，至少需要20 dB滤波才能将开关电压降低到数据转换器的噪底。截止频率约为67 kHz时使用1.2 μ H和4.7 μ F的LC组合（比LTM8065的1.3 V电源轨的开关频率低大约1个10倍频程）。建议使用直流电阻(DCR)小的电感，以防止电感上出现过大的压降和功耗。

至于电容，可以使用多层陶瓷电容(MLCC)。MLCC具有低等效串联电阻(ESR)，可在电容自谐振时提供良好的衰减性能。电容的最小阻抗由其ESR决定。MLCC还具有低等效串联电感(ESL)，可在高频下提供出色的去耦性能。

铁氧体磁珠用于过滤ADC电源轨上的开关稳压器产生的高频噪声。这些磁珠还为每个组合轨提供高频噪声隔离。流过磁珠的推荐电流应为铁氧体磁珠直流电流额定值的30%左右，以防止磁芯饱和，从而降低磁珠的有效阻抗和EMI滤波性能。具有低直流电阻的铁氧体磁珠可最大限度地降低磁珠上的压降和功耗，尤其是在高电流电压轨（如AVDD 1.3 V）上。

评估结果

此处显示的三种电源配置通过具有262k个数据点的快速傅立叶变换(FFT)获取的结果，对AD9625的信噪比(SNR)和无杂散动态范围(SFDR)进行比较。第一个配置是传统的基准电源（如图1所示）。第二个配置是不带滤波的LTM8065（如图2所示）。第三个配置是带有LC滤波器的LTM8065提供1.3 V电压轨(如图7所示)。两个基于LTM8065的解决方案均支持扩频调制。

表1显示了AD9625在由三种电源配置供电时的动态性能。使用了两种不同的ADC模拟输入载波频率（729 MHz和1349 MHz）。当由两个基于LTM8065的电源供电时，ADC的SNR和SFDR结果与基准电源的结果相当。数据表明，LTM8065无需使用额外的LDO稳压器即可直接为AD9625供电，大大简化了整体解决方案。

表1. AD9625 2.6 GHz动态性能

输入频率(MHz)	SNRFS (DB)			SFDR (DBC)		
	基准电源	LTM8065未经滤波	LTM8065带LC滤波器	基准电源	LTM8065未经滤波	LTM8065带LC滤波器
729	57.01	57.03	57.01	79.87	79.72	80.11
1349	56.53	56.49	56.54	78.41	80.06	80.77

仔细检查1349 MHz附近的频段, 发现有边带杂散, 它与LTM8065 (用于1.3 V电压轨) 690 kHz开关频率(扩频功能)相关, 但调制幅度远小于典型的SFDR规格(如图8a所示)。然而, 最好能消除这些边带杂散(如图8b所示), 因此建议在LTM8065解决方案中添加LC滤波器。

在LC滤波器部分之前和之后探测到的频谱输出如图9所示, 它表明噪声滤波性能的改进高达25 dB。

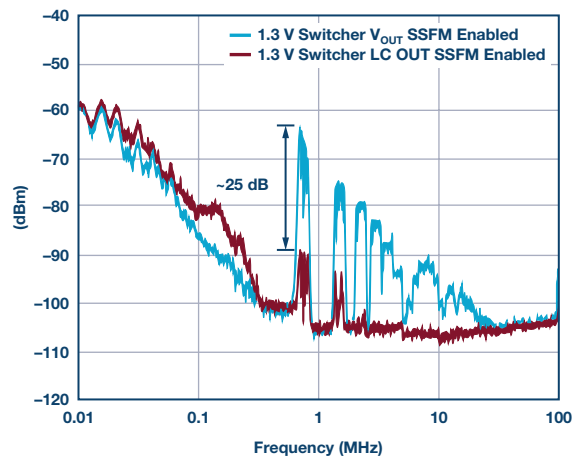


图9. LTM8065在1.3 V电压轨上的频谱成分 (启用SSFM)。

扩频调频(SSFM)通过在从编程值直至高出该值约20%的范围内连续改变开关频率, 降低了转换器基波工作频率下纹波的峰值幅度。SSFM在需要低峰值EMI/低纹波幅度的系统中最为有用。SSFM的优势如图10所示, 它显示了启用了SSFM和关闭SSFM时LTM8065 1.3 V输出的频谱成分。基波频率处的纹波峰值幅度降低约为10 dB至12 dB, 并且谐波峰值明显降低。

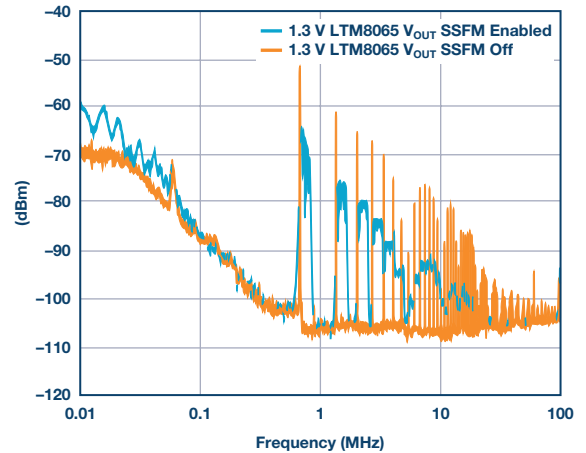


图10. SSFM启用和关闭时的LTM8065 1.3 V电源轨的频谱成分。

使用LTM8065直接为1.3 V电源轨供电(扩频关闭)会产生较高调制峰值, 从而发生二次谐波失真(如图11所示)。

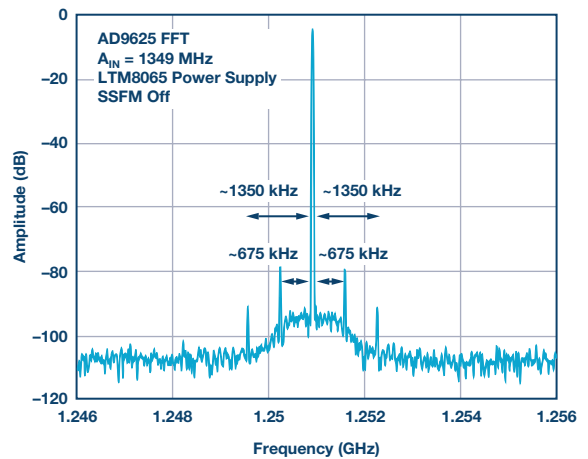


图11. SSFM禁用时LTM8065 1.3 V电源轨的1349 MHz模拟输入载波的详细信息。

测得的系统效率

基准电源和带LC滤波器的LTM8065系统之间的效率比较如图12所示。LTM8065电源解决方案的效率提高30%。

PCB尺寸比较

为了说明 μ Module稳压器解决方案的尺寸优势，我们在PCB上实现带LC滤波器、基于LTM8065的解决方案。将其电源部分的面积与现成的EVAL-AD9625评估板（使用基准电源设计）的电源部分进行比较。

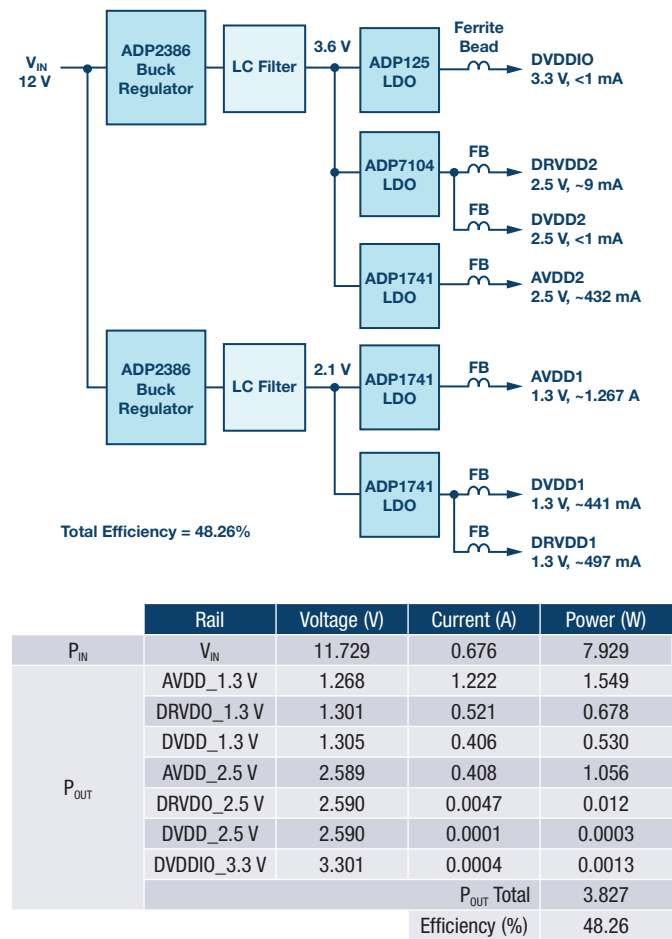


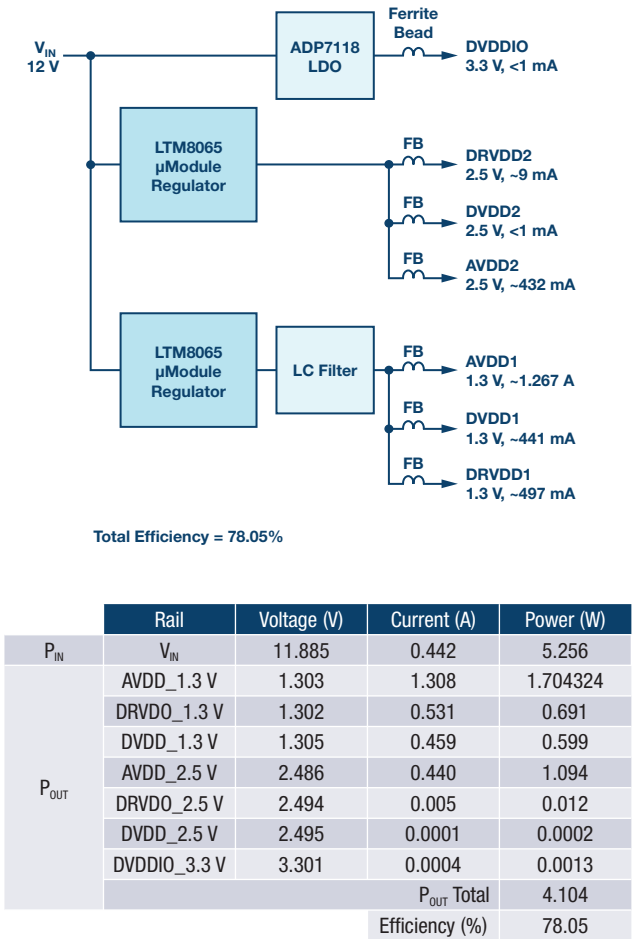
图12. 基线电源设计与基于LTM8065的系统（版本2）之间的效率比较。

表2. 不同方案的电源部分元件总数和占位总面积

	带LC滤波器的LTM8065		基准电源	
	元件（个）	元件面积(mm²)	元件（个）	元件面积(mm²)
开关稳压器（IC/模块）	2	78	2	32
LOD IC	1	4	5	82
无源器件	21	58	58	159
总计	24	140	65	273

图13显示了EVAL-AD9625标准评估板（基准电源）和修订版的AD9625评估板（带LC滤波器的LTM8065 μ Module稳压器）的比较。使用LTM8065的电源解决方案的元件几乎全部都位于PCB的正面，而现成EVAL-AD9625评估板的为分立解决方案，其电源元件则需分布在正面（LDO稳压器）和背面（开关稳压器）两边。基于LTM8065的解决方案可减少70%以上的电源占位尺寸。

表2比较了基于LTM8065的系统和基准电源系统的元件总数和元件占位尺寸。LTM8065解决方案使用的元件总数减少一半以上，占位尺寸只有一半左右。



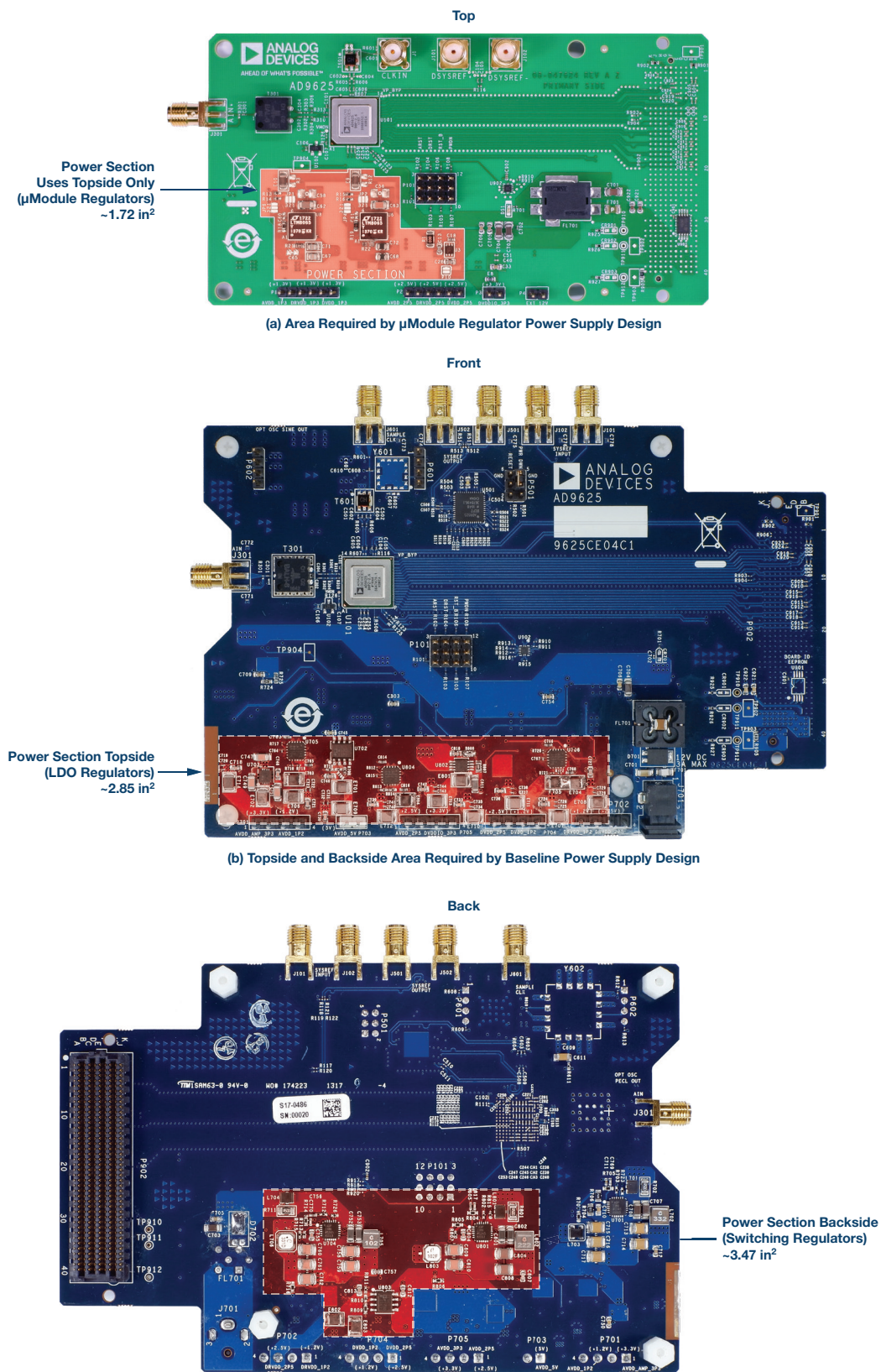


图13. 使用μModule Silent Switcher稳压器替代传统的控制器/稳压器时, 电源所需的面积大大减少。将(a)使用LTM8065的AD9625修订版演示板与(b)现成的AD9625评估板进行比较。两个系统的电源部分都已突出显示。

结论

LTM8065 μ Module Silent Switcher稳压器可为AD9625 GSPS ADC供电，相比传统的分立式解决方案改进明显，而且不必牺牲ADC的动态性能。通过使用LTM8065直接为AD9625的1.3 V和2.5 V电源轨供电，可以显著减少元件数量和电源板尺寸。

而进行一些滤波更有帮助。当模拟输入频率非常高时，会在模拟输入载波频率和稳压器输出纹波频率之间观察到调制效应。由于这种调制效应，在模拟输入载波周围出现边带杂散，并且在模拟输入频率较高时更为明显。

由于LTM8065稳压器在开关频率附近的低电源抑制，1.3 V电压轨上的噪声成为调制效应的罪魁祸首。虽然调制杂散的幅度不超过无杂散动态范围规范，但最好使用简单的LC低通滤波器来抑制杂散，以对输出纹波进行衰减。这样做可以产生更干净的数字化模拟输入载波，无边带调制。

μ Module稳压器电源解决方案的系统效率达到78%，比现有的AD9625演示板提高了约30%。除了更高的效率（从而简化了热管理）之外，得益于LTM8065电源的独立集成和紧凑特性，PCB板面积和元件数量也大大减少。

参考文献

Eco, Jefferson和Aldrick Limjoco, “[铁氧体磁珠揭秘](#)”，《模拟对话》，2017年2月。

Jayamohan, Umesh, “[为GSPS或RF采样ADC供电：开关与LDO](#)”，《模拟对话》，2016年2月。

Jayamohan, Umesh, “[高速ADC电源域RAQ](#)”，《模拟对话》，2018年5月。

Rob Reeder, “[高速ADC的电源设计](#)”，ADI公司，2012年2月。

Scott, Kevin和Greg Zimmer, “[通过扩频调制降低EMI](#)”，ADI公司，2014年。

Ye, Zhongming, “[面向汽车和工业应用的 40 V输入、3.5 A Silent Switcher \$\mu\$ Module稳压器](#)”，ADI公司，2018年1月。

作者简介

Aldrick S. Limjoco目前在ADI菲律宾公司担任应用经理。他于2006年加入ADI，曾担任过设计评估、产品应用和应用研究等领域的工程职位。Aldrick目前拥有两项美国专利和一项有关开关电源纹波滤波的专利正在申请中。他毕业于菲律宾马尼拉德拉萨大学，获电子工程学士学位。联系方式：aldrick.limjoco@analog.com。

Patrick Errgy Pasaquian于2014年加入ADI公司，目前在设计与布局工程组担任应用工程师。他曾担任过应用开发、设计评估、连接电源和EngineerZone®的客户支持等工程职务。2015年末，他在菲律宾科技部(DOST)主办的全国级竞赛中发表了论文。他毕业于菲律宾伊洛里奥市菲律宾中部大学，获电子工程学士学位。联系方式：patrick.errgy@analog.com。

Jefferson A. Eco于2011年加入ADI菲律宾公司，目前担任应用开发工程师一职，专注于电源管理。他拥有一项有关开关电源纹波滤波的专利正在申请中。他毕业于菲律宾纳加市卡马里内斯苏尔职业技术学院，获得电子工程学士学位。联系方式：jefferson.eco@analog.com。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，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。

请访问ezchina.analog.com



全球总部
One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部
上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路2290号展想广场5楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司
深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司
北京市海淀区西小口路66号
中关村东升科技园
B-6号楼A座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司
湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路889号光谷国际广场
写字楼B座2403-2405室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2018 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA20641sc-0-9/18

analog.com/cn

