

雷达应用中射频转换器的无杂波电源(第 1 部分)

作者:Rob Reeder, 高速数据转换器应用工程师

Neeraj Gill, 高速数据转换器应用工程师

引言

寻找噪声源时, 电源引脚也被视为输入, 且所有有源器件都具有引脚。在当今的实际设计中, 进行射频 (RF) 相关设计时应考虑电源引脚。任何电源输入端的噪声和耦合都会因额外的杂波而导致雷达应用中的性能不达标。

尽管本文的重点是数据转换器, 尤其是在千兆赫兹频段中进行采样的射频转换器, 但是此处讨论的原理适用于所有集成电路, 包括低频或高频应用信号链中的全差分放大器、混频器、低噪声放大器、增益块、射频开关以及数字步进衰减器。

本质上, 模数转换器 (ADC) 是一个巨型混频器; 输入端的任何信号都将卷积到其输出频谱。任何输入都是如此。可假设“泄漏噪声”(也称为白噪声或杂散) 仅来自时钟和/或模拟输入。但是, 对于先进雷达系统之类的应用, 开关模式电源 (SMPS) 也会泄漏噪声并严重破坏频谱性能。

进入系统板的高噪声总线轨电压会偏置 ADC 的各个部分, 通常使用低压差稳压器 (LDO) 来降低该电压。但

是, 如需在组件尺寸和效率之间进行权衡, 这并非更实用的方法。这种情况下, 某些 SMPS 技术会更适合这些应用, 它们对 SMPS 输出噪声具有更深刻的认知。

本系列由两部分组成, 第一部分介绍当噪声耦合到 ADC 的电源时会发生的情况、噪声如何通过 ADC 的电路进行耦合以及一些常用的电源权衡。

电源噪声耦合

提供给 ADC 的带有噪声的采样时钟最终会对 ADC 性能造成灾难性影响。与此相关的论文有很多, 因此下文仅是一种概括性的阐述。当认为时钟低于标准时, ADC 的信噪比 (SNR) 和噪声频谱密度将偏离其数据表规格。如图 1 所示, 快速傅里叶变换频谱重叠图展示了抖动时钟与应用于 ADC 的纯净采样时钟之间的差异。请注意, 使用低于标准的采样时钟时, SNR 会降低 ~3dB。这种下降会极大地减小系统的总动态范围。

图 1: 带有噪声的采样时钟与纯净采样时钟之间的对比

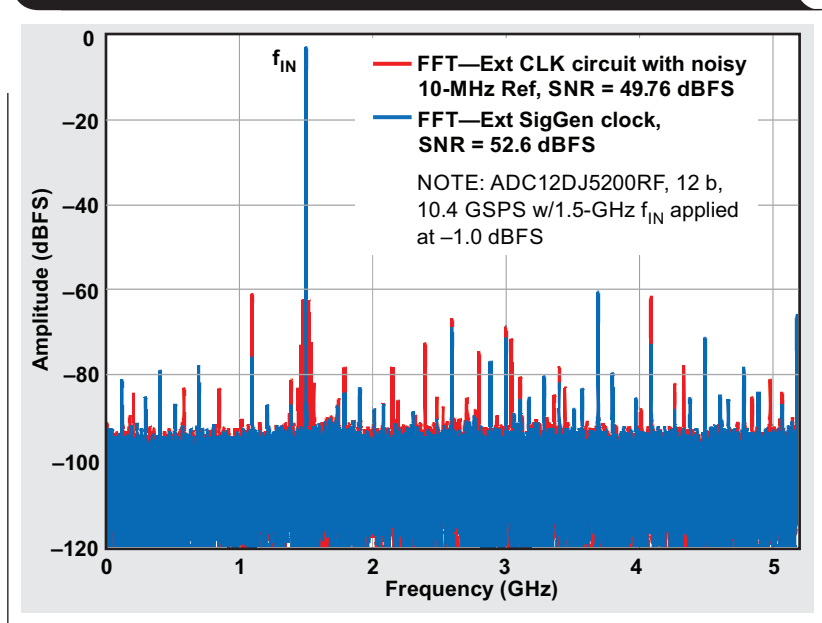
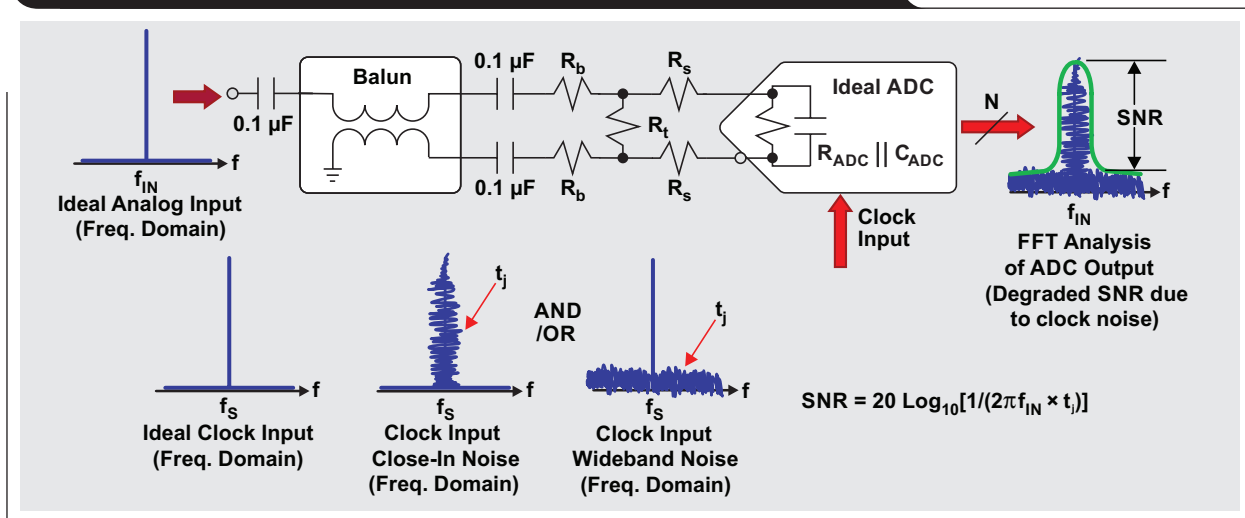


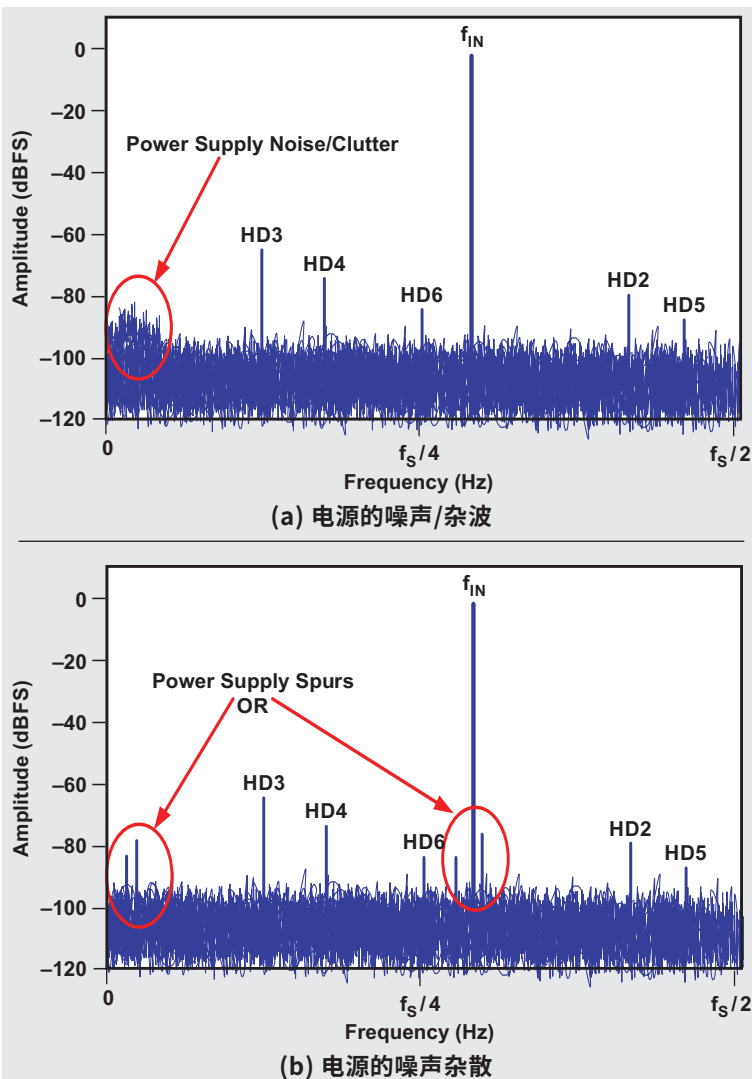
图 2: 与时钟输入的 ADC 输出频谱耦合的宽带噪声或近端噪声



为了进一步说明这一点,如果时钟具有任何宽带噪声或近端噪声,则这两种噪声都会在输出频谱中占据很大分量。图 2 中展示了这一点。此前,建议将 ADC 视为巨型混频器;即使 ADC 处于理想状态,仅以宽带或近端方式耦合到时钟的任何噪声最终都将卷积到输出频谱。

同样的概念也可应用于电源输入。如图 2 所示,通过将基频 (f_{IN}) 降低到 DC,DC 附近的任何宽带噪声或近端噪声都将卷积到输出频谱。请参见图 3。

图 3: 与电源输入的 ADC 输出频谱耦合的宽带噪声或近端噪声



噪声通过时钟进行耦合的方式与噪声通过电源引脚进行耦合的方式略有不同。在时钟示例中,时钟节点的内部电路与模拟输入的采样保持结构紧密相连。因此,该位置是让通过时钟引脚耦合的任何噪声设法进入 ADC 内部信号路径的理想之选(如图 2 所示)。在此情况下,耦合路径几乎达到零衰减。

注意,图 4 所示的 ADC 内部电路包含一个衰减符号。此符号表示 ADC 对通过电源引脚耦合的任何噪声或信号的抑制(抑制程度以电源抑制比(PSRR)衡量)。最终,此衰减定义了 ADC 内部电路设计的耦合抑制量,即 PSRR。某些电路设计拓扑能够比其他拓扑提供更少的噪

声衰减,因此更多噪声将泄漏到 ADC 的数字化路径中,导致 ADC 性能降低。图 5 举例说明了两个不同的电路结构。

得益于连接到电源轨的高隔离度金属氧化物半导体结构,图 5a 中所示的结构类型可带来更好的噪声衰减和耦合效果(从而改善 PSRR)。采用简单的上拉电阻设计,图 5b 中的电路能够实现较小的噪声衰减。

寄生效应是区分良好和不良 PSRR 容差的另一个因素。目前,许多 ADC 设计以及许多其他器件中都采用更小的工艺几何尺寸和更低的电源电压范围。这些几何尺寸又会导致电压阈值变小,从而对噪声更敏感。

图 4: 电源衰减耦合路径示例

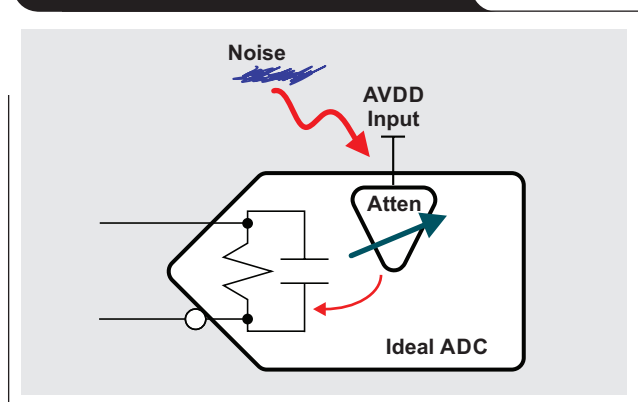
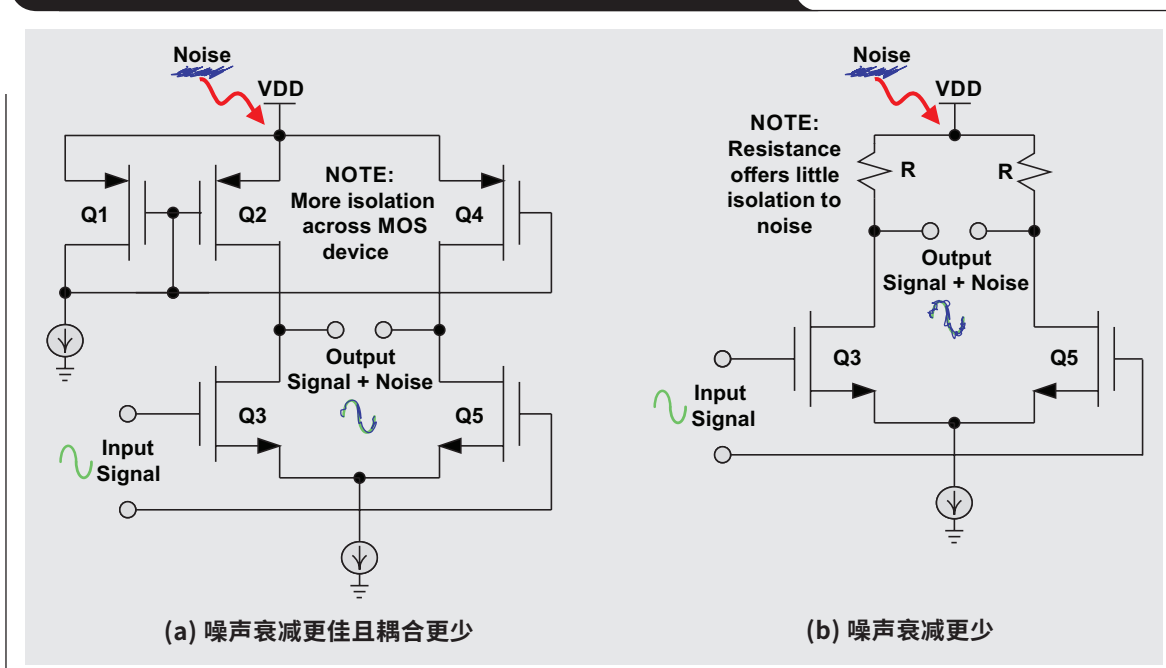


图 5. 连接到电源引脚的 ADC 内部电路结构的通用示例



电源权衡: SMPS 与 LDO

高速 ADC 对电源噪声敏感, 因此一种最大限度地减少噪声的主流方法是将开关模式电源 (SMPS) 纳入设计方案, 从而降低系统中有效的主总线轨电压 (例如, 28V 或 15V)。SMPS 提供一个中轨电压, 使 LDO 能够向相应的 ADC 电源域提供纯净电压。请参阅图 6。

与线性电源相比, SMPS 设计具有若干优点。功率损耗的减少转化为更高效、更优的解决方案。整个电路板上众多 LDO 的电压降形成的功率损耗所带来的功率耗散会降低, 同时整个 SMPS 电源电路的尺寸使得可用 PCB 面积增大。单独使用 SMPS 时必须仔细考虑所选的开关电源、滤波和电路设计布局才能实现所要的结果, 但这完全可以实现。请参阅图 7。

图 6. ADC12DJ5200RF 评估模块 (EVM) 的 SMPS 和 LDO 设计

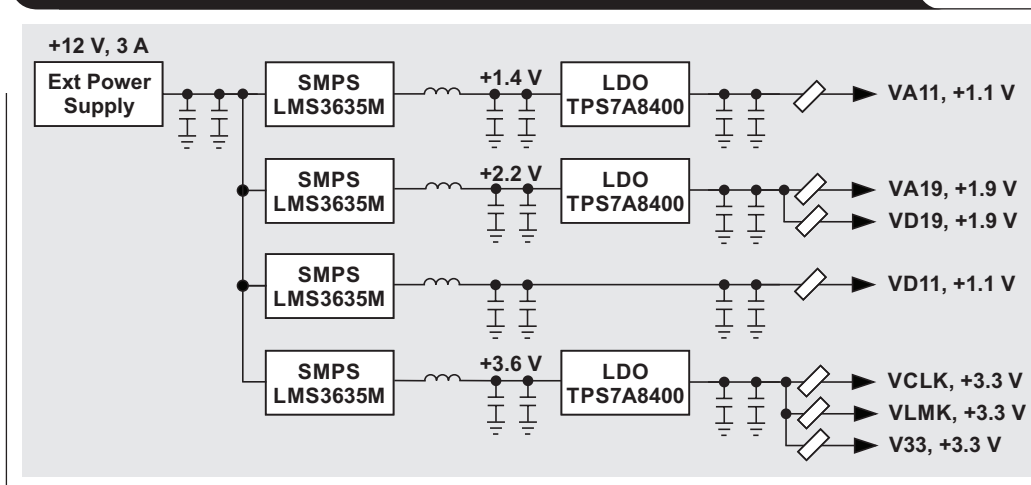


图 7. ADC12DJ5200RF EVM 的“仅 SMPS”设计

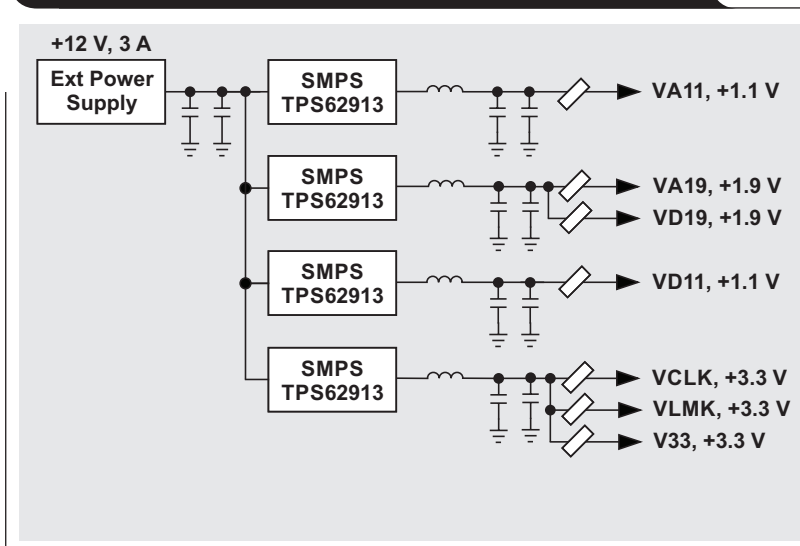
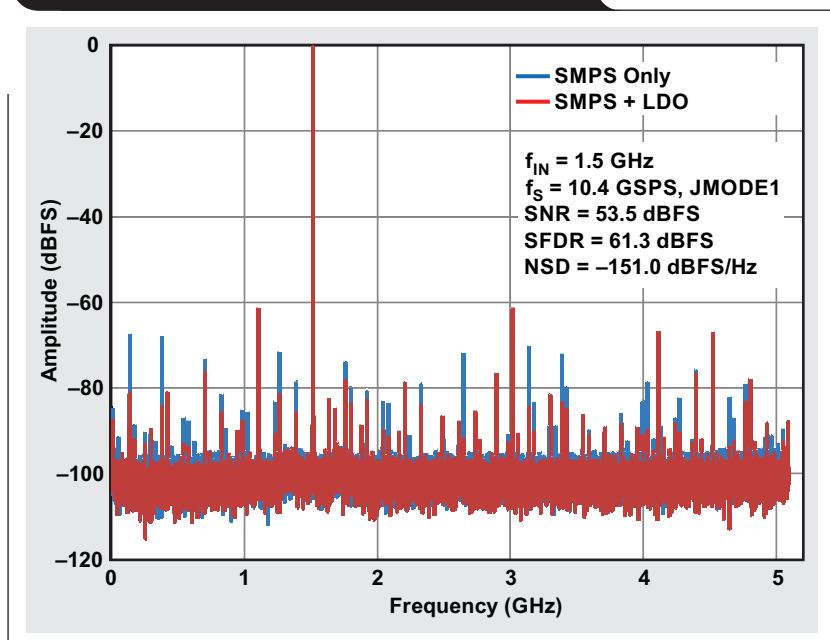


图 8.ADC12DJ5200RF 交流性能比较



如图 8 所示,ADC 的交流性能 (SNR/SFDR) 在两种电源设计之间处于同等水平,因为以 10.4GSPS 采样率进行采样时模拟输入频率为 1.5GHz 的。此基本测试令人相信 SMPS 设计是可靠的且可实现。

结论

功率 IC 设计中的新技术突破已让位于“仅 SMPS”方法,因此可将该方法运用于对噪声敏感的许多应用(例如雷达和高端仪器)。本文使用了 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器来展示这些权衡之间的差异。此降压转换器经过专门设计,有助于让电源设计满足噪声敏感型高速应用对于噪声和纹波的要求。

第 2 部分的后续文章将使用 12 位 ADC12DJ5200RF 射频采样 ADC 来定义和测量 PSRR 和电源调制比,并举例说明了如何正确进行功率管理权衡。

相关网站

Rob Reeder 和 Steve Schnier,《通过 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器为敏感型 ADC 设计供电》应用报告 (SLVAEW7), 2020 年 9 月。

高速数据转换器专业版软件,德州仪器 (TI) 设计资源。

产品信息:

ADC12DJ5200RF

LMS3635-Q1

TPS7A84

TPS62913

TI 全球技术支持

TI 支持

感谢您的订购。如有疑问或需联系我们的支持中心, 请访问

www.ti.com.cn/support

中国: <http://www.ti.com.cn/guidedsupport/cn/docs/supporthome.tsp>

日本: <http://www.tij.co.jp/guidedsupport/jp/docs/supporthome.tsp>

技术支持论坛

在 TI 的 E2E™ 社区 (工程师对工程师) 中搜索数百万个技术问题和答案, 请访问

e2e.ti.com

中国: <http://www.deyisupport.com/>

日本: <http://e2e.ti.com/group/jp/>

TI 培训

从技术基础到高级实施, 我们提供点播和直播培训以帮助您实现下一代设计。即刻体验, 请访问

training.ti.com

中国: <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/gencontent.tsp?contentId=71968>

日本: <https://training.ti.com/jp>

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

A011617

E2E 是德州仪器 (TI) 的商标。所有其他商标均属于其各自所有者。

© 德州仪器 (TI) 公司 2021 年版权所有。
版权所有。



ZHCT344

重要声明和免责声明

TI 提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司