

通过 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器为敏感型 ADC 设计供电



Rob Reeder, Steve Schnier

摘要

- 此电源设计展示了采用 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器为 ADC12DJ5200RF 简单、高效地供电，可将功耗降低 1.5W (节电 15%)。
- 模拟电压轨、数字电压轨和时钟电压轨均使用开关稳压器供电，而无需低压降线性稳压器 (LDO)，同时保持与原设计相同的性能。
- 该设计适用于 ADC12DJ5200 和其他需要低噪声电源、对尺寸和热性能有要求的 ADC。应用示例包括 GPS 领域的射频转换器，例如雷达、测试和测量仪器以及通信应用。
- 简要说明了 ADC12DJ5200 并概述了 EVM 修改项目 (仅使用开关电源而无需 LDO)。
- 主要测量结果以及与以前方案的比较，包括输出噪声密度、SNR、SFDR 和 PSMR。

内容

1 简介和系统说明.....	2
1.1 简介.....	2
1.2 方框图.....	4
1.3 设计注意事项.....	6
2 测试和结果.....	7
2.1 测试方法.....	7
2.2 测试条件.....	10
2.3 测试结果.....	10
3 结论.....	15
4 参考文献.....	16
5 附录.....	17

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介和系统说明

1.1 简介

众所周知，高速模数转换器对电源噪声非常敏感。尽可能减少该噪音的最常见解决方案是使用线性电源，或由主总线轨供电的开关模式电源 (SMPS) 后接一个低压降稳压器。与线性电源相比，能够单独使用 SMPS 有两大优点：降低功率损耗和电源尺寸。要单独使用 SMPS，需要仔细考虑所选的开关电源以及 SMPS 的设计和布局，从而实现更低功耗和更小布板空间的理想性能。

本应用手册使用 ADC12DJ5200 作为高性能 ADC 的示例，其中电源已从 SMPS+LDO 方案更改为仅 SMPS 方案。此方案也可用于许多其他对噪声敏感型应用。本应用手册中使用的 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器经专门设计，可帮助工程师设计满足噪声敏感型应用噪声和纹波要求的电源。

1.1.1 ADC12DJ5200 噪声和纹波要求

ADC12DJ5200RF 是一款 12 位 GSPS 射频模数转换器 (ADC)，可对从直流到高于 8GHz 的输入频率直接采样。ADC12DJ5200RF 可配置为双通道 5.2GSPS ADC 或单通道 10.4GSPS ADC。这些工作模式可通过编程在通道数和奈奎斯特带宽方面进行权衡。可用输入频率范围高达 8GHz，可对频率捷变系统的 L、S、C 和 X 带进行直接射频采样。ADC12DJ5200RF 使用具有多达 16 个串行通道的高速 JESD204C 输出接口，支持高达 17.16Gbps 的线路速率。通过 JESD204C 子类 1 支持确定性延迟和多器件同步。此接口向后兼容 JESD204B 接收器。无噪声孔径延迟 (TAD) 调节和 SYSREF 窗口等创新的同步特性可简化多通道应用的系统设计。提供可选的数字下变频器 (DDC)，以便将数字信号频谱下变频到基带信号并降低接口速率。可编程 FIR 滤波器可实现片上均衡。

除直流/直流降压稳压器外，原产品评估模块 (EVM) 还采用了低噪声 LDO，从而更大程度减少供电网络的任何不良影响。尽管为 ADC12DJ5200RF 指定了电源轨的直流精度，但缺少关于电源电压噪声和电源电压纹波的规格。任何电源纹波或噪声在 ADC 的输出频谱上都出现衰减。这种衰减可以表示为电源抑制比 (PSRR) 和 PSRR_{MOD} (或 PSMR)，如图 1-1 所示。

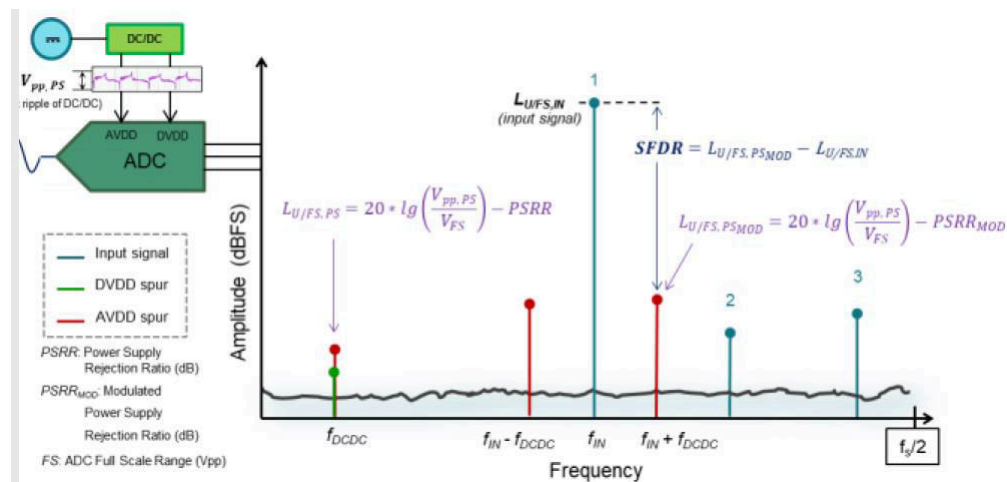


图 1-1. ADC 输出频谱中的电源噪声和纹波

PSRR 是在直流/直流转换器开关频率基波处 (f_{DCDC}) 从 ADC 输入电源纹波到 ADC 输出频谱的衰减。PSRR_{MOD} (或 PSMR) 是输出频谱中 ($f_{in} - f_{DCDC}$, $f_{in} + f_{DCDC}$) 从 ADC 输入到调制杂散的衰减。

PSRR 通常不太受关注，因为它通常大于 40dB 并且不在目标频率内，但一些模拟电压轨的 PSRR 可能小于 40dB，如图 1-2 所示，其中显示 VA11 和 VA19 模拟电压轨是 ADC12DJ5200RF 的超敏感电源。更重要的是 PSMR，因为对于 ADC12DJ5200RF 上的 VA11 和 VA19 等敏感模拟电压轨而言，从电源轨到调制杂散的衰减可能较低。

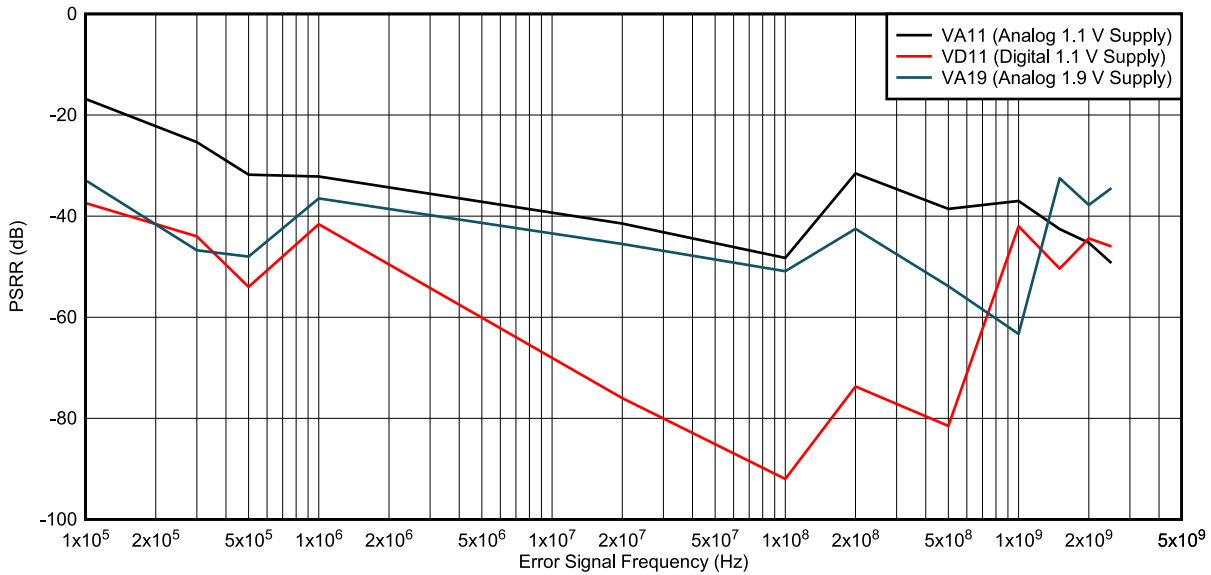


图 1-2. ADC12DJ5200 中 VA11、VD11 和 VA19 电源的 PSRR

1.1.2 宽带射频 PLL 和时钟的电源要求

在 ADC12DJ5200 评估模块上，射频 PLL 用作频率合成器以便对 ADC 进行时钟控制。与高速 ADC 类似，频率更高要求电源电流更大。同时，频率更高要求时钟抖动更低，因此也要求相位噪声更低。相位噪声直接受到电源噪声和纹波的影响。由于 LMX 由 3.3V 电源轨供电，因此 PSRR 根据 3.3V 电源轨与输出光谱杂散测量得出的。LMX PSRR 具有低通特性，在高于 PLL 环路带宽的频率处衰减增加。对电源噪声最敏感的频率范围是在 PLL 转角频率之前和周围，这在很大程度上取决于 PLL 滤波器的特性。在低频时，噪声主要是外部振荡器噪声。因此，为实现 100fs 及更低的时钟抖动，关键是低噪声直流/直流转换器设计在小于 PLL 转角频率（1kHz 至 100kHz）时，具有 $<20 \mu V_{RMS}$ 噪声（100Hz 至 100kHz）和低频谱噪声密度 $\sim 0.1 \mu V / \sqrt{Hz}$ 。TPS62913 的性能如图 1-3 所示。

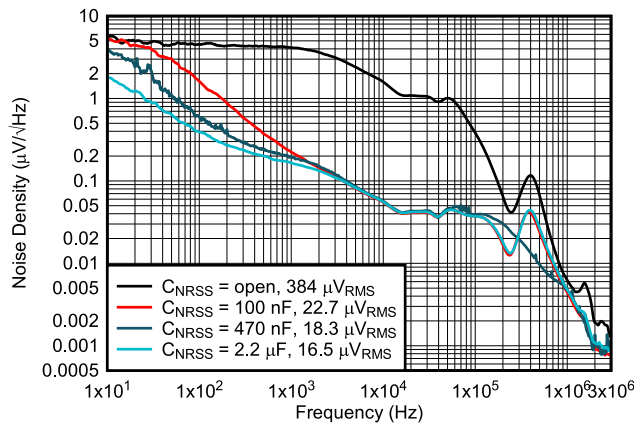


图 1-3. TPS62913 在 2.2MHz 下 12Vin 至 3.3Vout 的输出噪声密度与频率

NOTE

BW = 100Hz 至 100kHz

TPS62913 专为实现低噪声而设计，添加了一个外部降噪滤波电容器，还提供了调整软启动时间的方法。使用 470nF $C_{NR/SS}$ 电容器可实现所需的噪声性能和 5ms 软启动时间。

1.1.3 TPS62913 低噪声和低纹波降压转换器

TPS62912 和 TPS62913 器件是高效、低噪声和低纹波系列同步降压转换器。这些器件非常适合通常使用 LDO 实现后置稳压的噪声敏感型应用，例如高速 ADC、时钟和抖动清除器、串行器、解串器和雷达应用。器件在

2MHz 或 1MHz 的固定开关频率下工作，并可与外部时钟同步。为了进一步减小输出电压纹波，器件集成了环路补偿，可与可选的第二级铁氧体磁珠 L-C 滤波器一起工作。这会将输出电压纹波降至 $10\mu\text{VRMS}$ 以下。通过用连接到 NR/SS 引脚的电容器过滤内部电压基准，可实现接近低噪声 LDO 的低频噪声水平。可选扩频调制方案扩展了更宽范围内的直流/直流开关频率，从而降低了混合毛刺。

1.2 方框图

原 ADC12DJ5200 (修订版 C) 评估模块使用了多个 SMPS 及 LDO 跟随器为 ADC 和时钟电压轨供电。3.3V 时钟电压轨要求低相位噪声和低抖动。1.1V 模拟电压轨 (VA11) 需要单独的 LDO 以满足低噪声要求，而 1.9V 模拟电压轨和数字电压轨 (VA19 和 VD19) 则由单个电源供电，如图 1-4 所示。

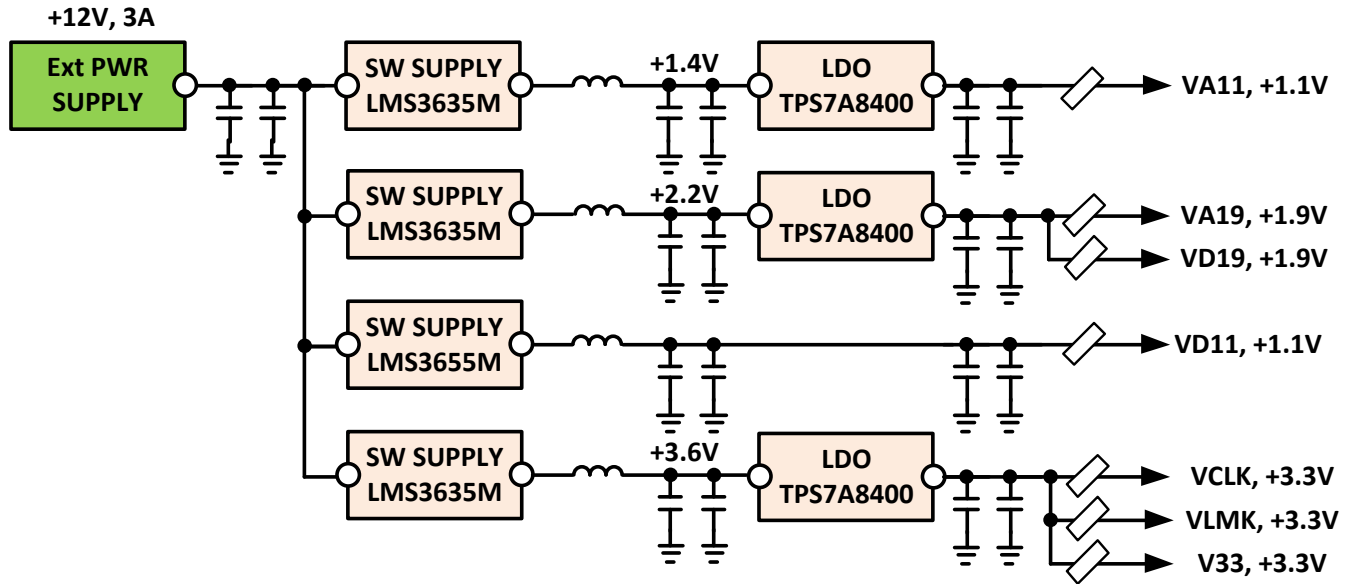


图 1-4. ADC12DJ5200 (修订版 C) 评估模块原始电源方框图

原 EVM 电源用蓝框标出，如图 1-5 所示。

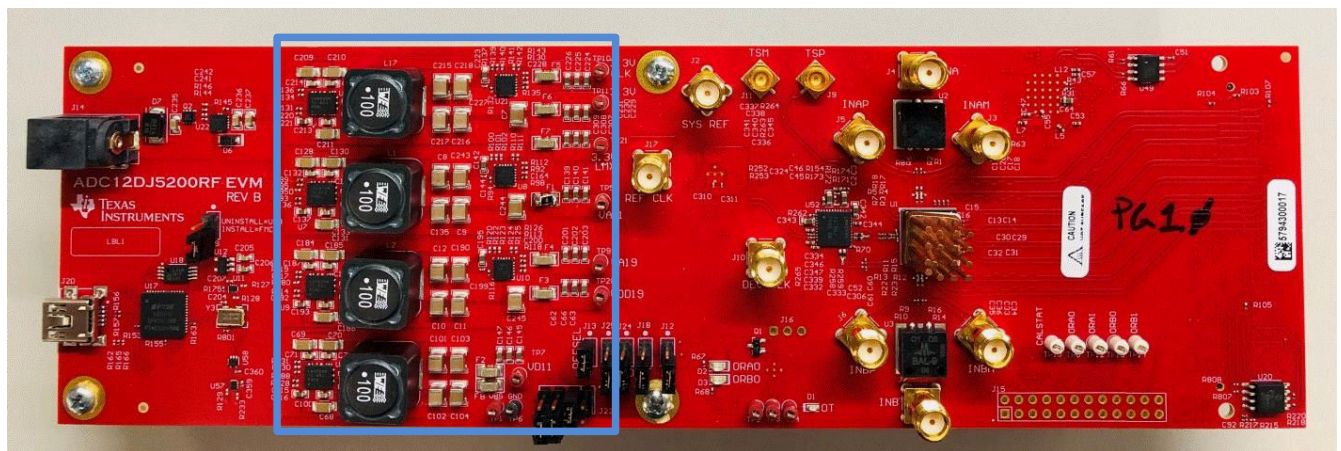


图 1-5. 用蓝框标出转换器和 LDO 的原电路板顶部图像

修改后的设计去除了 LDO，而改用 TPS62913 低纹波、低噪声 SMPS。此设计为 ADC 提供了一个简化的电源网络，其中所有三个电源域都由直流/直流稳压器供电，3.3V 时钟有一个单独的电源，如图 1-6 所示。与使用 LDO 的解决方案相比，这种方案提高了效率并减少了器件数量，同时符合 ADC 和时钟的输出电压纹波和噪声要求，可实现良好的性能。

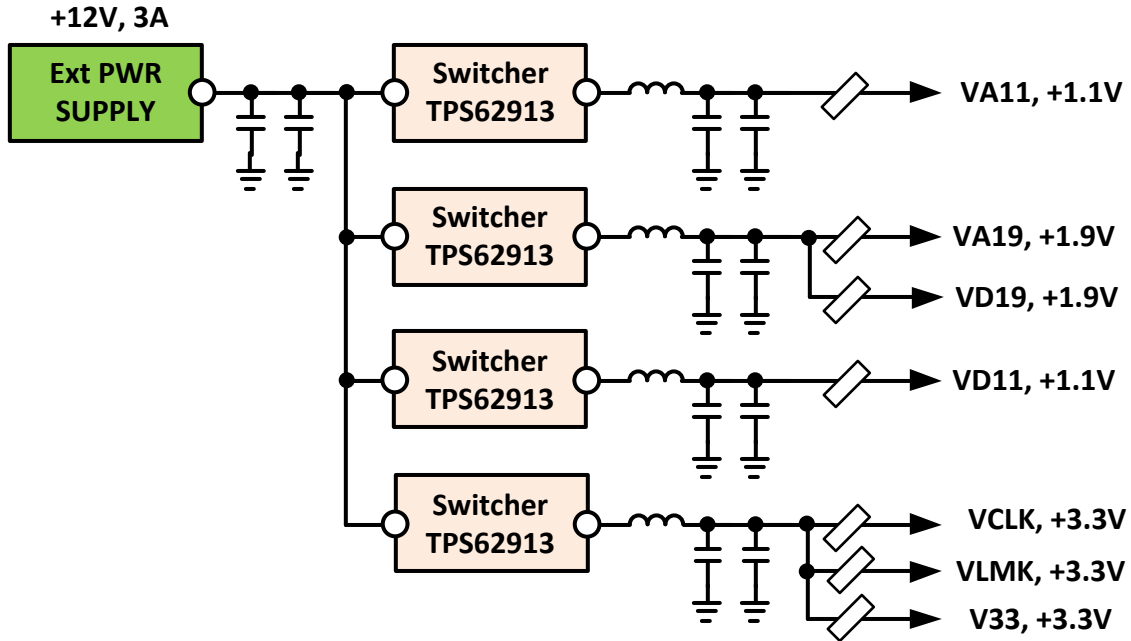


图 1-6. 带有 TPS62913 的 ADC12DJ5200 (修订版 C) 评估模块电源方框图

图 1-7 所示为用蓝框标出 TPS62913 的更新版 EVM 电源。

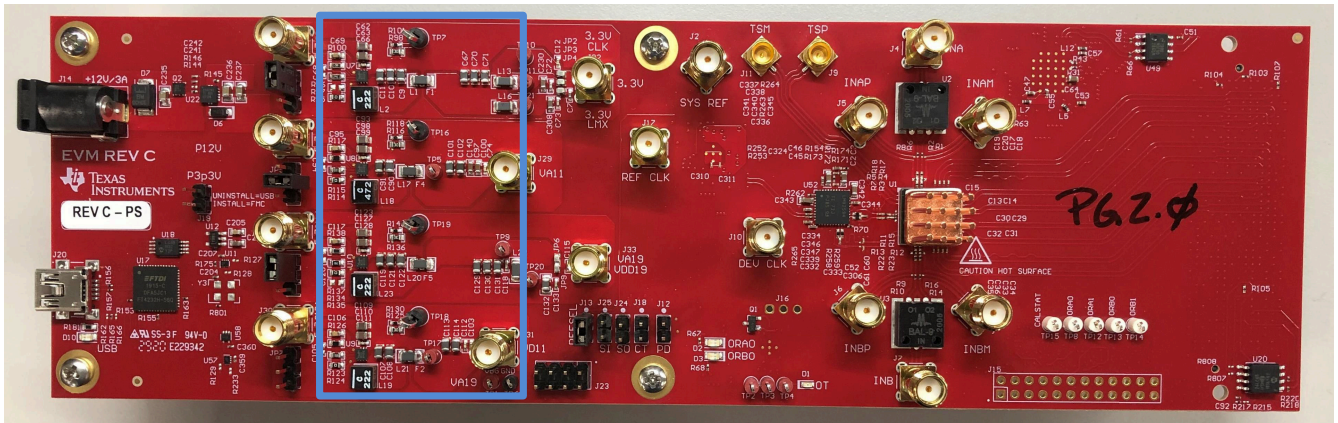


图 1-7. 用蓝框标出 TPS62913 转换器的电路板图像

可在附录中查看 3.3V、1.1V 和 1.9V 电压轨的原理图。

表 1-1. ADC12DJ5200 评估模块组件比较

组件	原始修订版 C	带有 TPS62913 的修订版 C
开关电源	4 x LMS3635M (每个 4mm x 5mm)	4 x TPS62913 (每个 2mm x 2mm)
LDO	3 x TPS7A8400 (每个 3.5mm x 3.5mm)	无
电源尺寸	116.75sqmm + 无源器件	16sqmm + 无源器件

1.3 设计注意事项

ADC12DJ5200 是一款高性能的每秒数千兆次采样 (GSPS) ADC，对开关元件、输出电容 ESL 和使用标准直流/直流转换器时涉及的磁性元件中大电流所产生的噪声和杂散分量较敏感。利用 TPS62913 低纹波、低噪声转换器及其独特的低纹波和低噪声设计特性，在不使用后置稳压 LDO 的情况下可显著降低噪声和纹波。

当处理输入端的低噪声问题时，往往需要对转换器的模拟和时钟输入进行超严格的审查。请注意，电源也是输入。因为我们将电源看作直流偏置电路，所以通常认为它们与射频性能无关。然而，事实并非如此。在为任何高速转换器设计电源域时，以下有用提示可进一步提高电源的抗噪声性能：

- 当所有电源轨和总线电压进入系统板和 ADC 本身/附近时，将其解耦。
- 请记住，每个附加的滤波级可获得约 20dB/十倍频程的噪声抑制。
- 对高频和低频进行解耦，这可能需要多个电容值。
- 串联铁氧体磁珠通常用在电源入口点处（就在解耦电容接地前面）。应该对进入系统板上的每个单独电源电压实施上述措施，无论是来自 LDO 还是开关稳压器。
- 为了增加电容，请使用紧密堆叠的电源和接地层对（ ≤ 4 密耳间距），这可向 PCB 设计添加固有的高频（ $>500\text{MHz}$ ）解耦。
- 如果可能，应使电源远离敏感的模拟电路，如 ADC 的前端级和时钟电路。
- 一些组件可能位于 PCB 的另一侧以增加隔离效果。
- 遵循 IC 制造建议；如果应用手册或数据表中没有直接说明，可以研究评估板。这些是值得参考的好工具。

上述几点可帮助提供一种可靠的电源设计，从而在许多应用中实现数据表中指明的性能。

2 测试和结果

2.1 测试方法

电源抑制比 (PSRR)

PSRR 通常如图 2-1 所示进行测量 (使用 HSDC-Pro 软件显示和测量数字输出 FFT 频谱)。每一个电源都使用偏置 T (可从不同的公司现货采购) 单独进行测试。偏置 T 用于将交流和直流信号组合到被测试的单个电源。值得注意的是, 偏置 T 必须具有足够高的额定电流, 以便为被测电源提供足够的偏置。否则, 测量结果可能不可靠。

在正常设置 EVM 或系统板之后, 接下来隔离被测电源。然后对电源应用偏置 T, 同时使用外部实验室工作台电源设置适当的直流电压。为电路板的其他电源正常供电, 同时使这些电源保持在额定值。下一步, 选择一个低频率 (10MHz 或更低) 开始并将正弦波信号源注入偏置 T。这称为误差信号。同样重要的是使用信号发生器施加误差信号, 且不存在低相位噪声。这样, 转换器的固有性能就不会在测试过程中降级。信号发生器还应能够提供足够的功率, 以弥补通过电缆、偏置 T 和 pcb 时所引起的损耗。

开始采用低振幅信号, 缓慢地提高振幅, 直到本底噪声产生杂散, 误差杂散在 FFT 频谱中应该足够高 (在 FFT 频谱中误差杂散是可重复的)。误差杂散应在注入的误差测试频率处出现。假设捕获的误差杂散振幅为 -85dB。

接下来用示波器或频谱分析仪记录注入的误差信号电平。确保在 ADC 的电源引脚上读取误差信号振幅读数, 并记录该引脚处注入的峰峰值电压。一旦确定该数值, 就可以通过简单的数学运算得出 PSRR。

例如, 如果测得的电压为 10mVpp, 转换器的满量程电压为 1.2Vpp。然后只需取这两个数字的比值或 $20 \cdot \log(10\text{m}/1.2) = -41.6\text{dB}$ 。要计算 PSRR, 从先前在 FFT 频谱中确定的误差杂散振幅中减去这个数字, 或 $\text{PSRR} = -85 - (-41.6) = -43.4\text{dB}$ 。

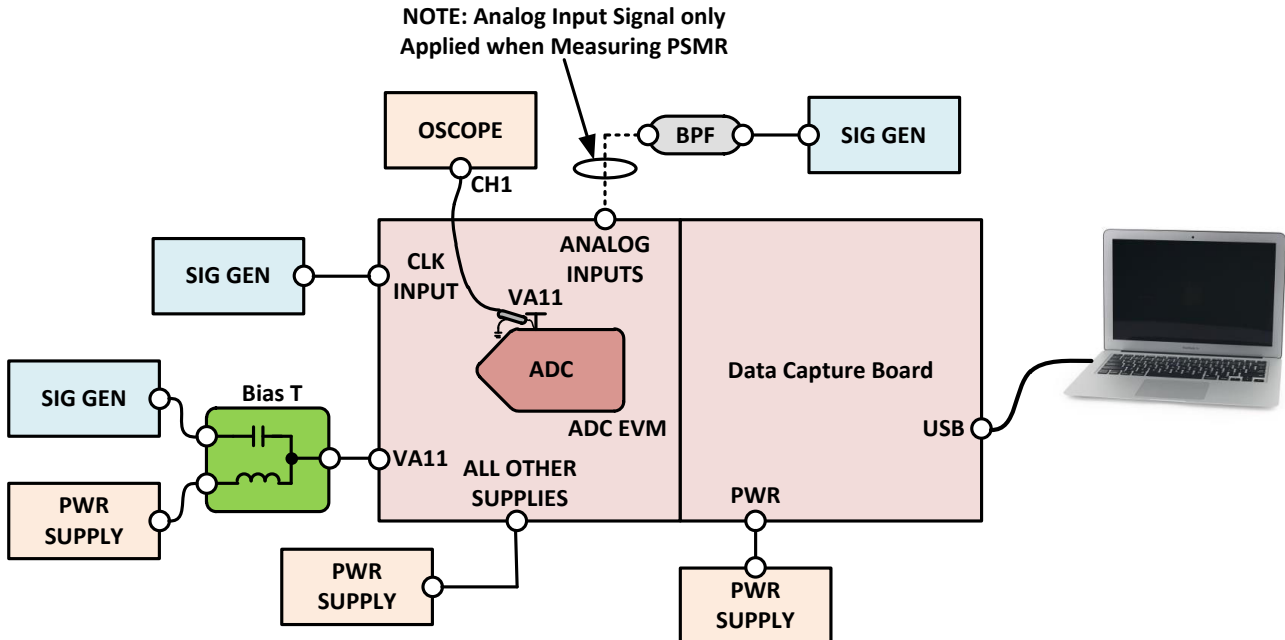


图 2-1. PSRR 和 PSMR 测量的测试配置

PSRR 的一个示例是, 在 VA11 电源上以 10MHz 的频率注入强制误差信号, 信号发生器的振幅电平为 -1dBm, 如图 2-2 所示。

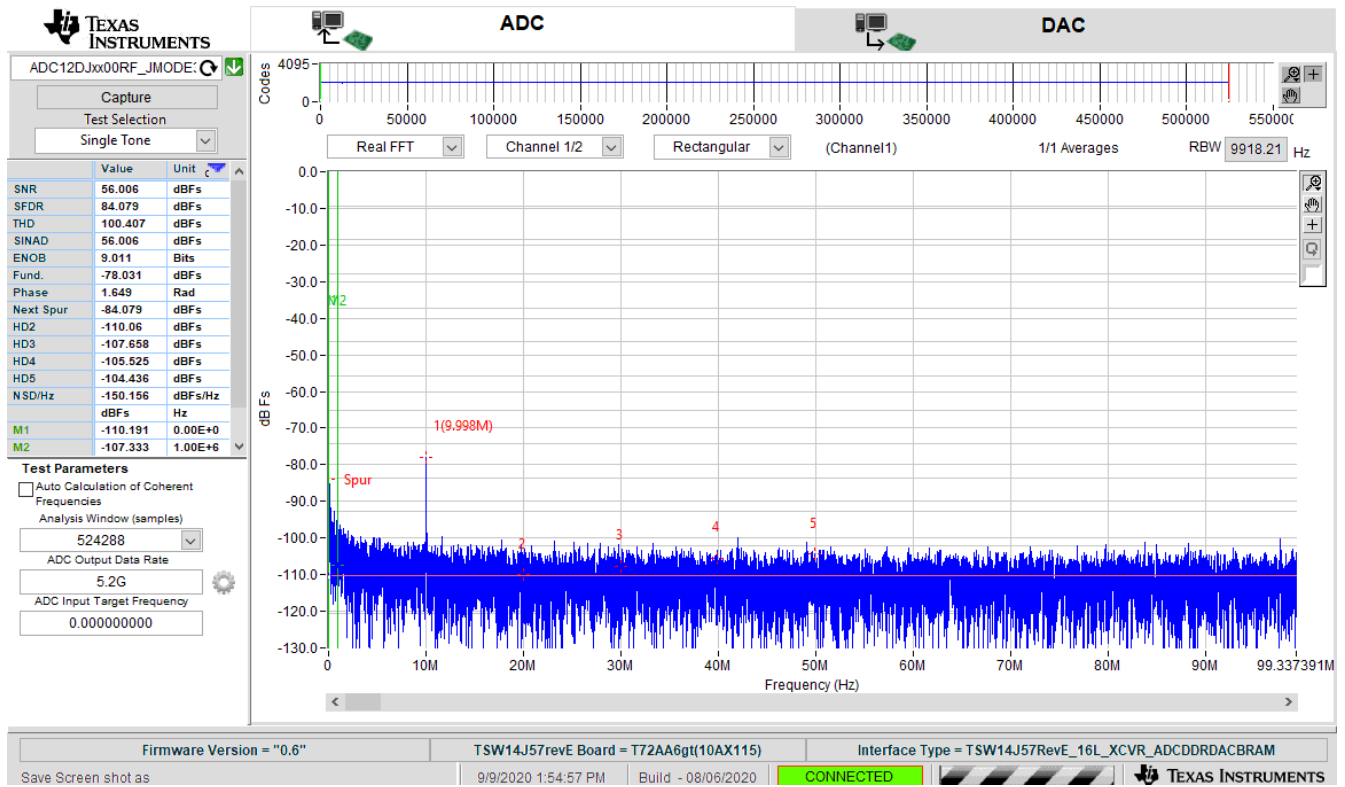


图 2-2. 带强制误差信号的电源抑制比示例

PSMR 的一个示例是，以 10MHz 的频率注入强制误差信号，信号发生器的振幅电平为 -1dBm，如图 2-3 所示。此图显示了如何在 1.2GHz 的模拟输入信号频率下调制电源泄漏杂散（本例为 10MHz）。注意载波信号的 10MHz 边带及其在同一区域内的互调杂散。

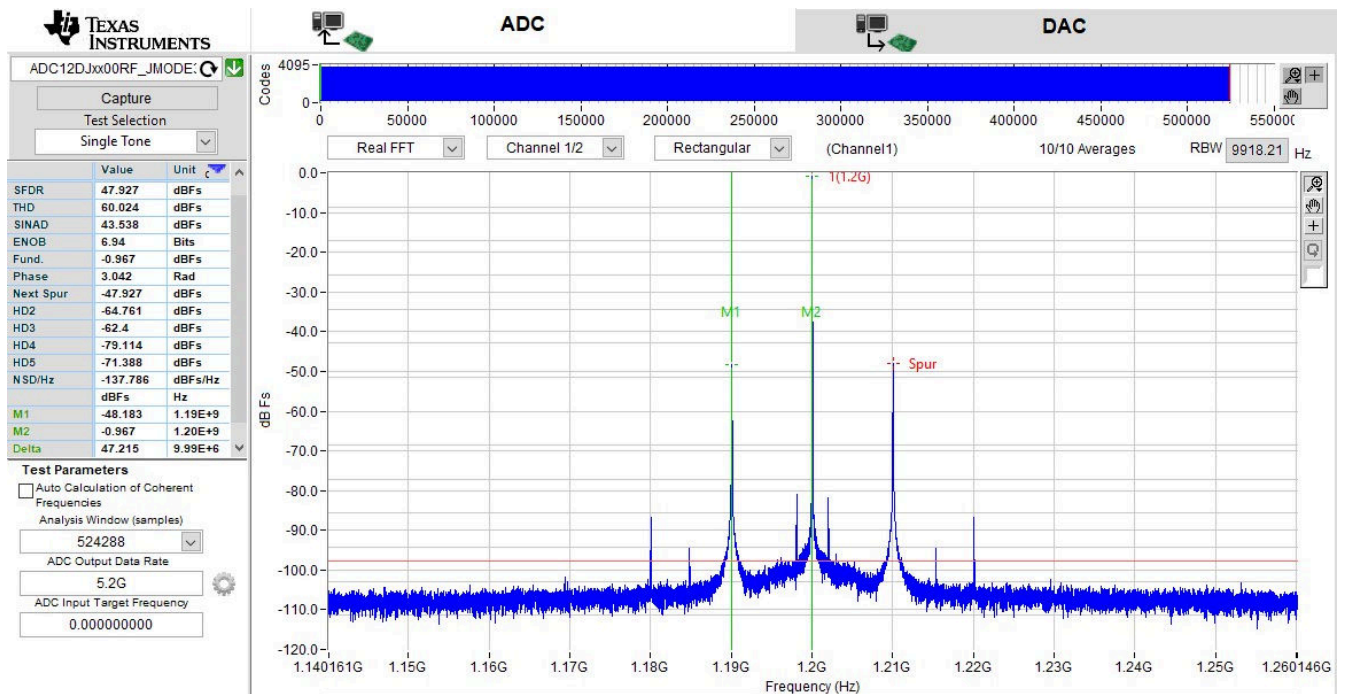


图 2-3. 带强制误差信号的电源调制比示例

信噪比 (SNR、dBFS)

SNR 是均方根信号振幅与所有频谱分量 (DC、HD2 到 HD9、fs/2、fs/2 - fIN 除外) 之和的均方根值之比。SNR (dBc) 和 SNRFS 之间的差异是基本振幅和满量程之间的差异。

谐波失真 (dBc 或 dBFS)

谐波是一种频谱分量，是驱动模拟输入频率的整数倍。例如，二次谐波的频率是模拟输入的两倍。大多数 ADC 有适用于一个或多个谐波的规格。通常，二次谐波和三次谐波会被单独挑选出来，因为它们是所有谐波中性能最差的。谐波失真 (无论几阶) 是指均方根信号振幅与指定谐波分量的均方根值之比，以 dBc 或 dBFS 表示。ADC 是非线性器件，因此捕获的输出 FFT 将具有丰富的频谱分量。

无杂散动态范围 (SFDR、dBc 或 dBFS)

SFDR 是在产生最差结果的模拟输入频率下信号的均方根值与峰值杂散频谱分量的均方根值之比。在大多数情况下，SFDR 是应用于 ADC 的输入信号的二次或三次谐波 (HD2 或 HD3)。

噪声频谱密度 (NSD、dBFS/Hz)

NSD 定义了单位带宽条件下的整个噪声功率 (在 ADC 输入端采样)。NSD 实际上是 ADC 的 SNR 加上噪声在整个奈奎斯特频带上传播的功率，它等于采样频率的一半 (或 Fs/2)。因此， $NSD = SNR + 10 \cdot \log(Fs/2)$ 。

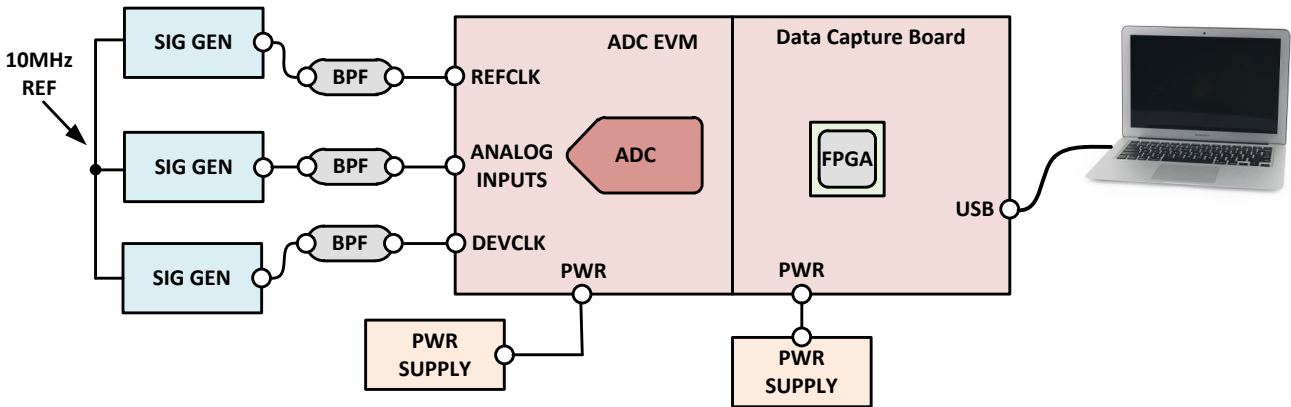


图 2-4. SNR、SFDR、HD 和 NSD 测量的测试配置

有关如何读取 SNR、SFDR、谐波失真和 NSD 的直观说明，请参阅图 2-5。

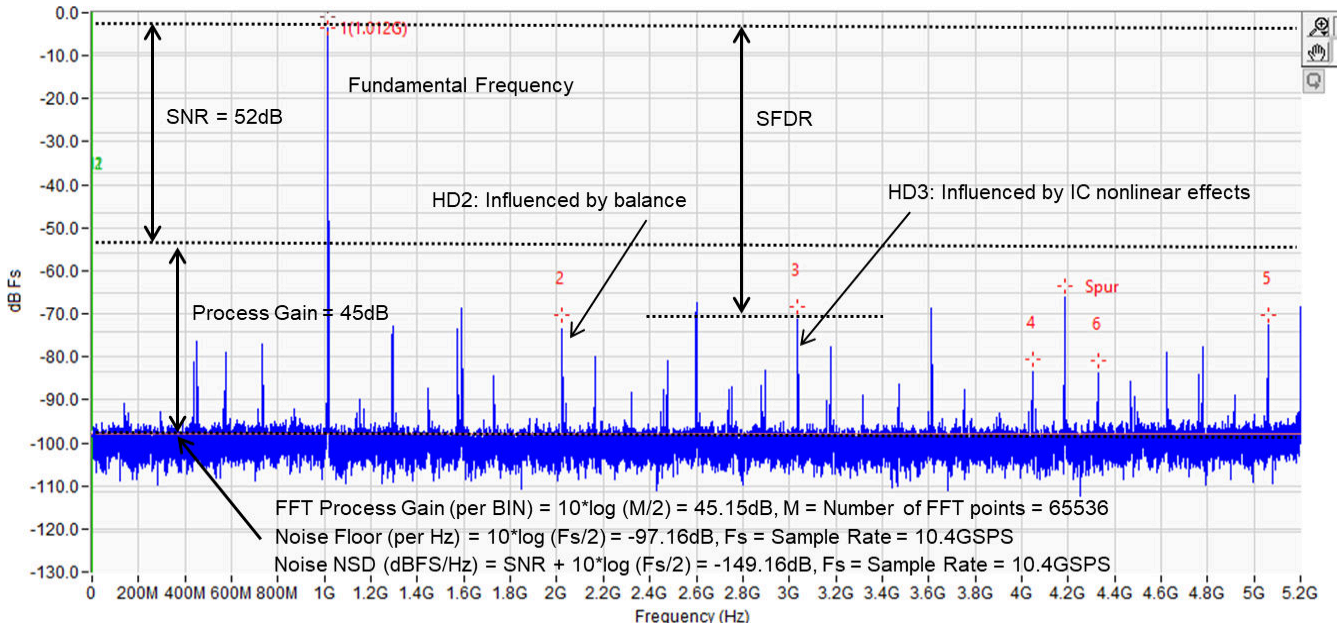


图 2-5. FFT 显示 SNR、SFDR、NSD 和谐波失真

2.2 测试条件

原始设计和带 TPS62913 的新设计在完全相同的条件下进行了测试，以进行比较。

在模数转换器的模拟输入带宽范围内，通过在一组特定的频率下对转换器施加模拟信号，进行交流或动态单音调 FFT 测试。然后在测试频率下，以最大额定采样速率或 5.2GSPS 速率应用 -1dBFS (满度相对电平) 信号。输入电源为 12V 标称电压，环境温度为 25°C 标称温度。

ADC 以 5.2GHz 的采样时钟频率工作，该频率与外部信号发生器的频率相同。使用外部时钟或板载 LMK 时钟显示测试结果。根据 ADC12DJ5200RF 数据表，使用产品页上提供的 GUI 将器件寄存器设置为 JMODE3。FFT 设置为 65536 点，无平均值。

2.3 测试结果

以下性能表和图表对原始 ADC12DJ5200RF EVM 与具有 TPS62913 的改进电路板进行了比较。

表 2-1. 信噪比 (SNR) 比较表

频率 (Hz)	原始 ADC12DJ5200RF EVM SNR (dBFS)	TPS62913 ADC12DJ5200RF EVM SNR (dBFS)
349656677.2	54.345	53.771
989659118.7	53.829	53.659
2399751282	53.775	53.643
4499754333	51.754	51.846
5899769592	51.036	50.864
7999812317	49.889	49.525

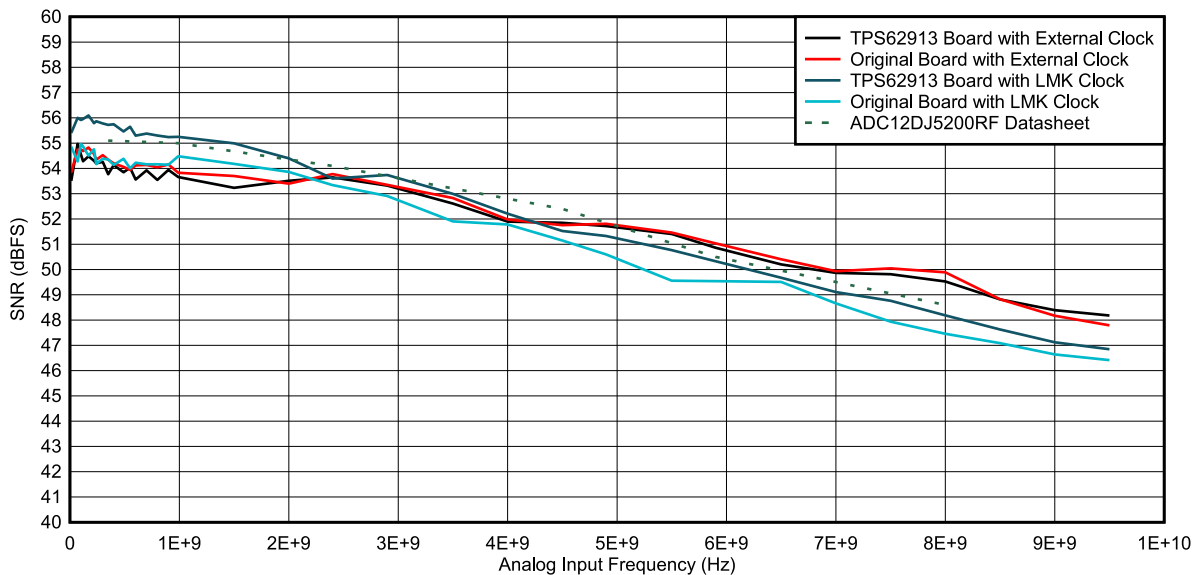


图 2-6. 信噪比 (SNR) 比较图

表 2-2. 无杂散动态范围 (SFDR) 比较表

频率 (Hz)	原始 ADC12DJ5200RF EVM SFDR (dBFS)	TPS62913 ADC12DJ5200RF EVM SFDR (dBFS)
349656677.2	61.327	63.344
989659118.7	61.015	62.243
2399751282	63.357	64.835
4499754333	56.525	59.718
5899769592	51.946	52.896
7999812317	50.945	52.623

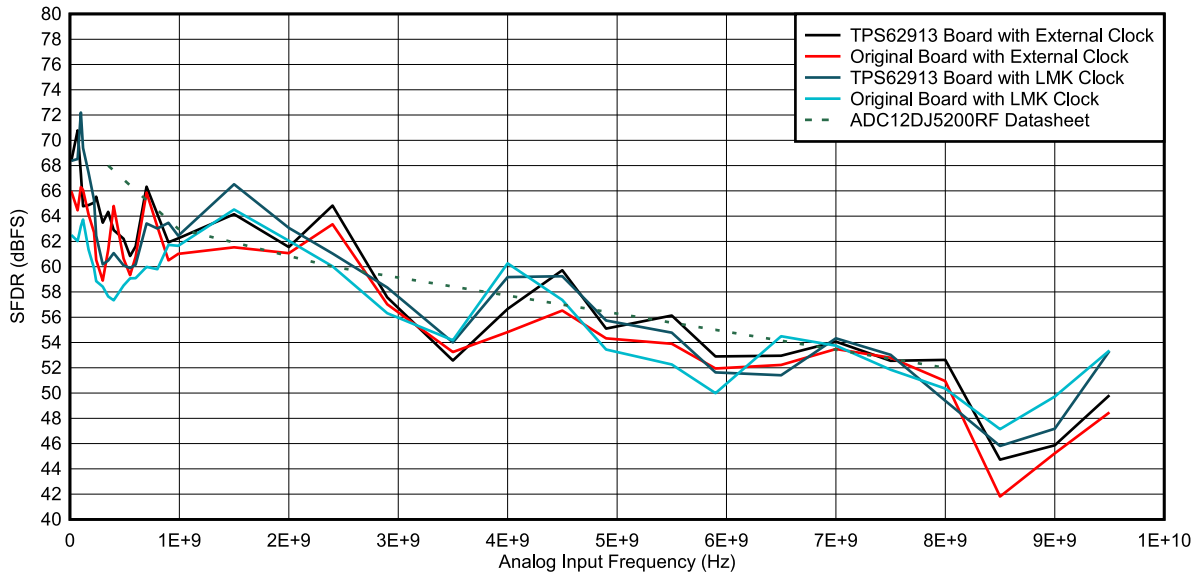


图 2-7. 无杂散动态范围比较图

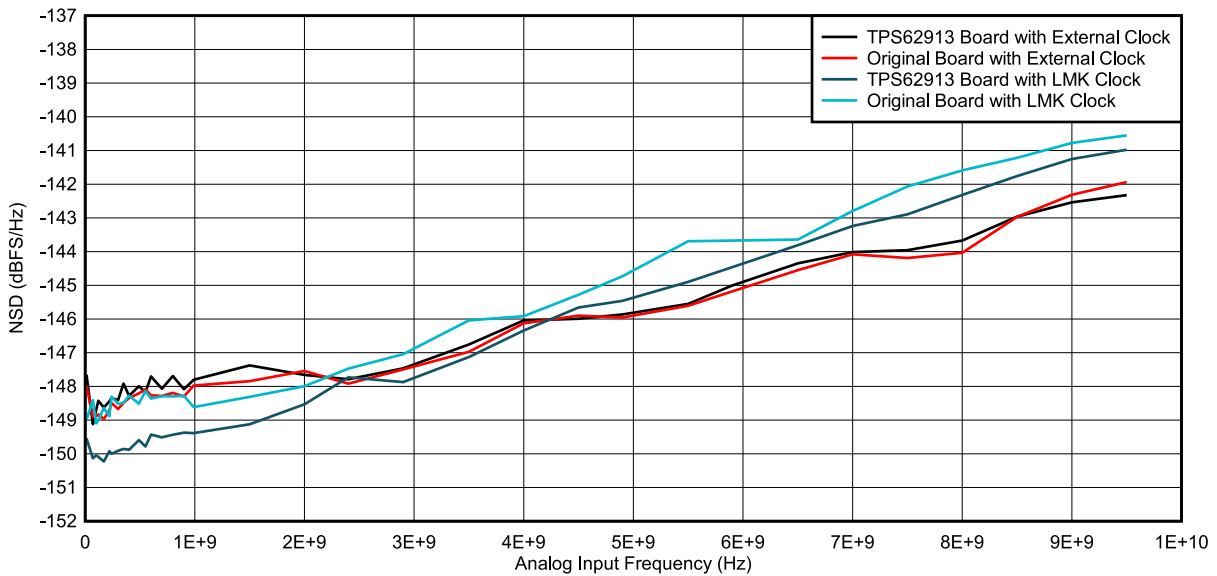


图 2-8. 噪声频谱密度比较图

下图图 2-9 显示了使用采用 SMPS 和 LDO 的原始电源设计和仅使用 TPS62913 开关电源时，在 1.2GHz 模拟输入信号频率下可避免 PSMR。

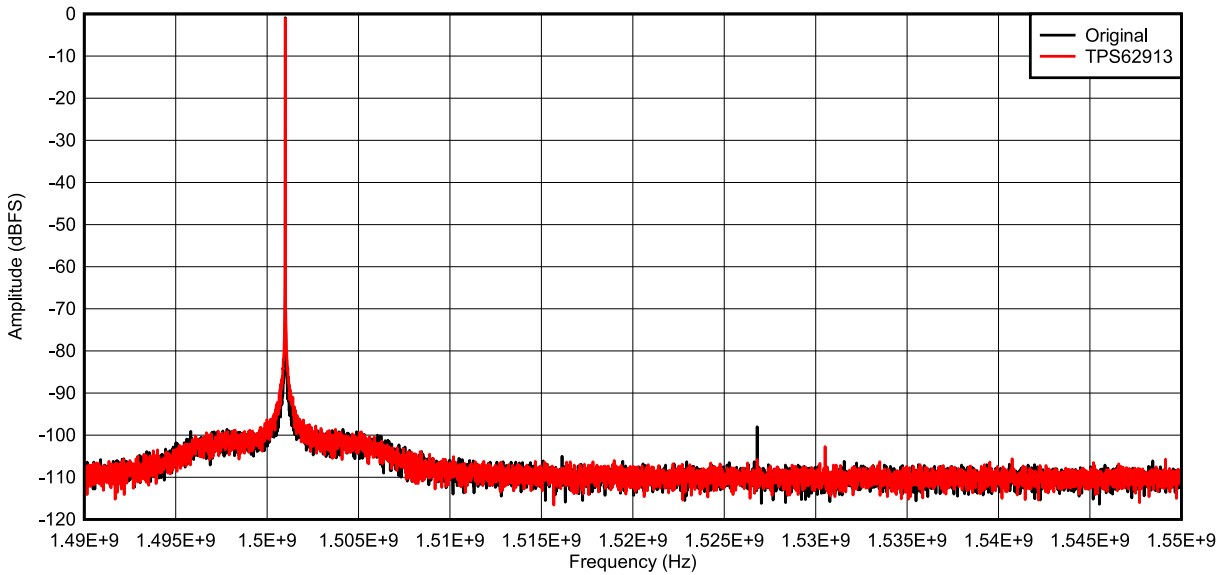


图 2-9. 原始设计和 TPS62913 的 PSMR 比较

此外，可以发现在载波周围和直流处未对开关电源杂散进行调制，如图 2-10 所示。

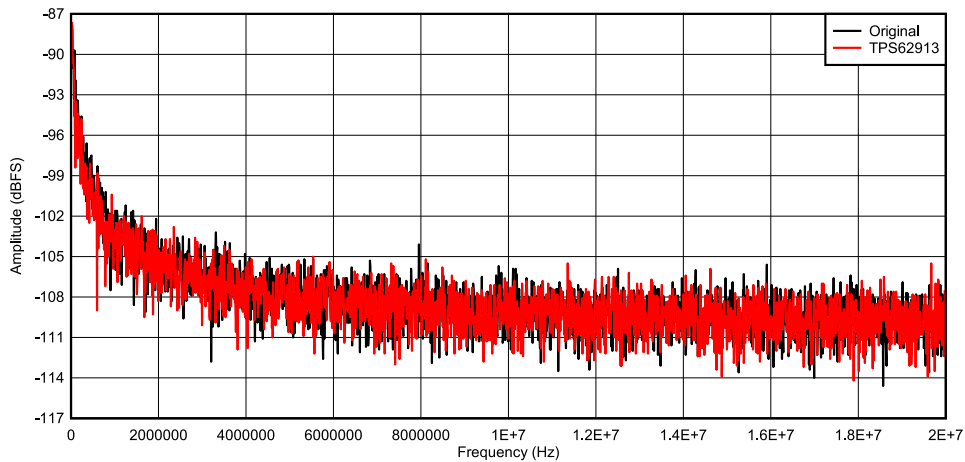
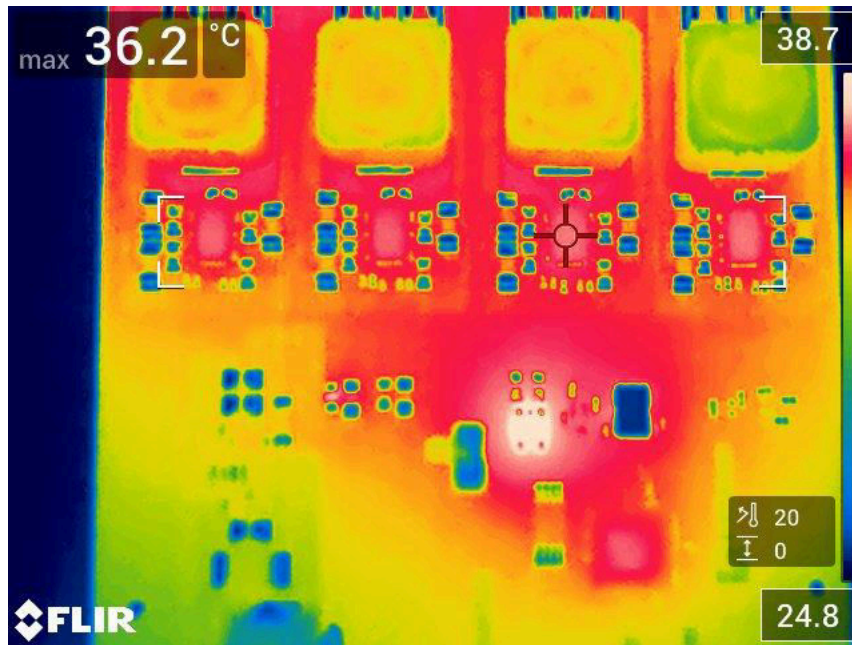


图 2-10. 原始设计和 TPS62913 在直流处的 PSMR 比较

表 2-3. 功耗模式比较

配置	输入电流	输入电源
使用 SMPS + LDO 的原始电源配置	828.2mA	9.938W
仅 TPS62913 电源	704.3mA	8.4516W
输入电流和功耗节省	123.9mA	1.4864W

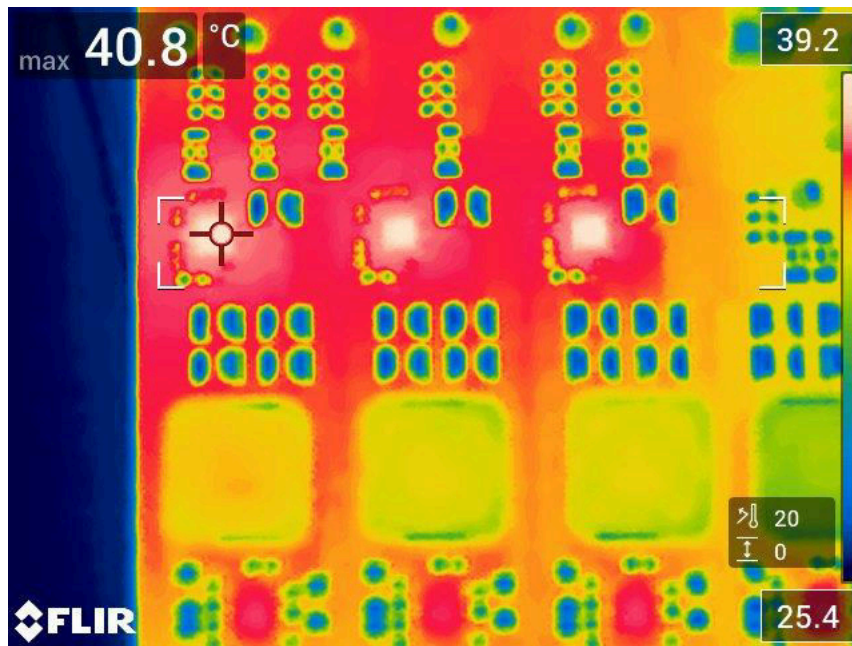
下面是为性能比较表获取数据时电源运行的热图像。



NOTE

原始板直流/直流最高温度为 36.2°C

图 2-11. 原始开关转换器



NOTE

原始板 LDO 最高温度为 40.8°C

图 2-12. 原始 LDO

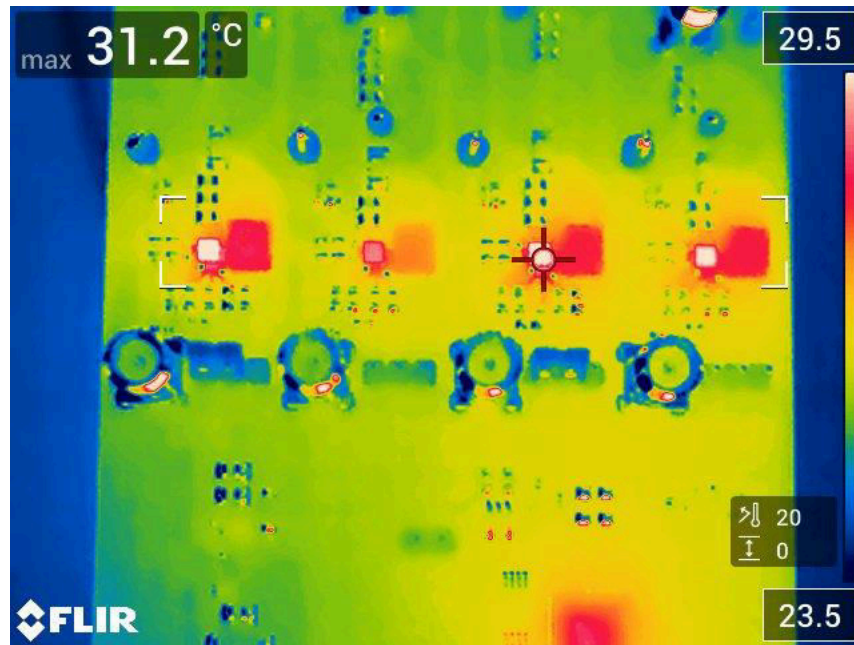


图 2-13. TPS62913 开关转换器

NOTETPS62913 最高温度为 31.2°C

3 结论

测试结果表明，采用 TPS62913 低纹波、低噪声降压转换器的电源简化设计可以提供与传统 SMPS + LDO 方案相似的性能。模拟电压轨、数字电压轨和时钟电压轨均使用开关稳压器供电，而无需低压降线性稳压器 (LDO)，同时保持与原设计相同的性能。SNR、SFDR 和 NSD 性能与 SMPS + LDO 方案相似。使用 TPS62913 设计可将功耗降低 1.5W (节电 15%)，减小设计尺寸，并降低电源组件的温升。

此设计不仅可用于 ADC12DJ5200，还适用于其他需要低噪声电源、对尺寸和热性能有要求的 ADC。应用示例包括 GPS 领域的射频转换器，例如雷达、测试和测量仪器以及通信应用。

4 参考文献

- 德州仪器 (TI) , [ADC12DJ5200RF 10.4GSPS 单通道或 5.2GSPS 双通道 12 位射频采样模数转换器 \(ADC\)](#)
- 德州仪器 (TI) , [具有集成式铁氧体磁珠滤波器补偿的 TPS6291x 3V 至 17V、2A/3A 低噪声和低纹波降压转换器](#)

5 附录

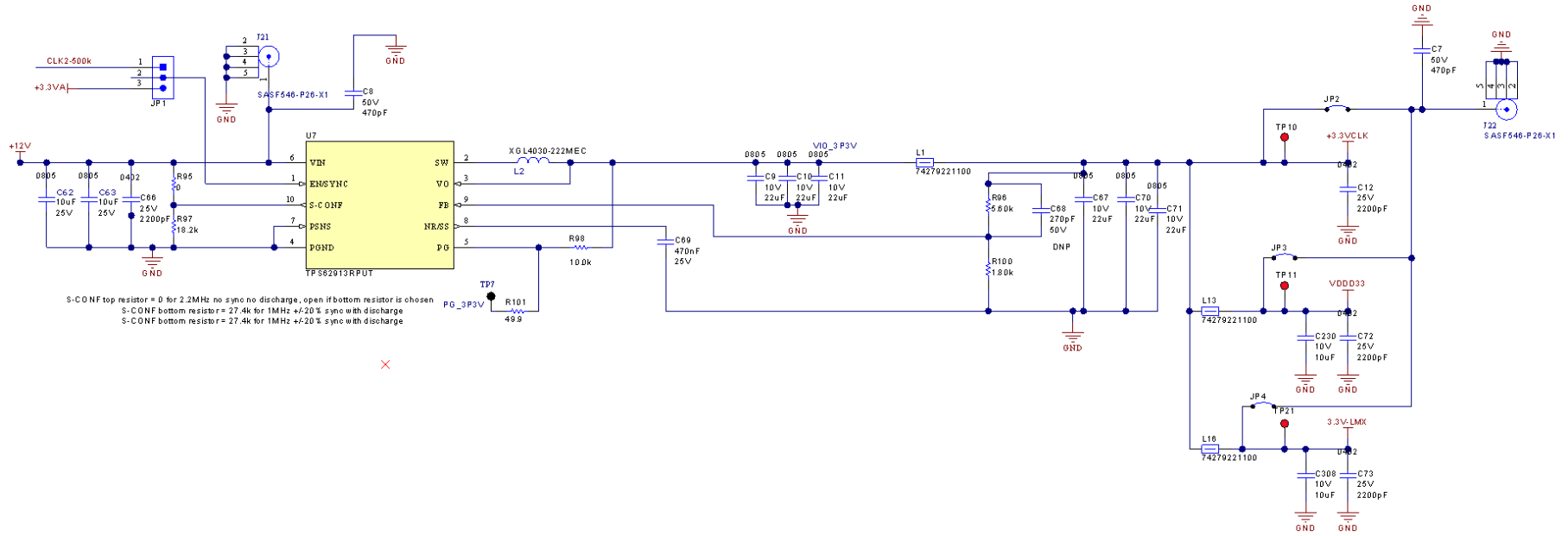


图 5-1. TPS62913 3.3V 时钟电源原理图

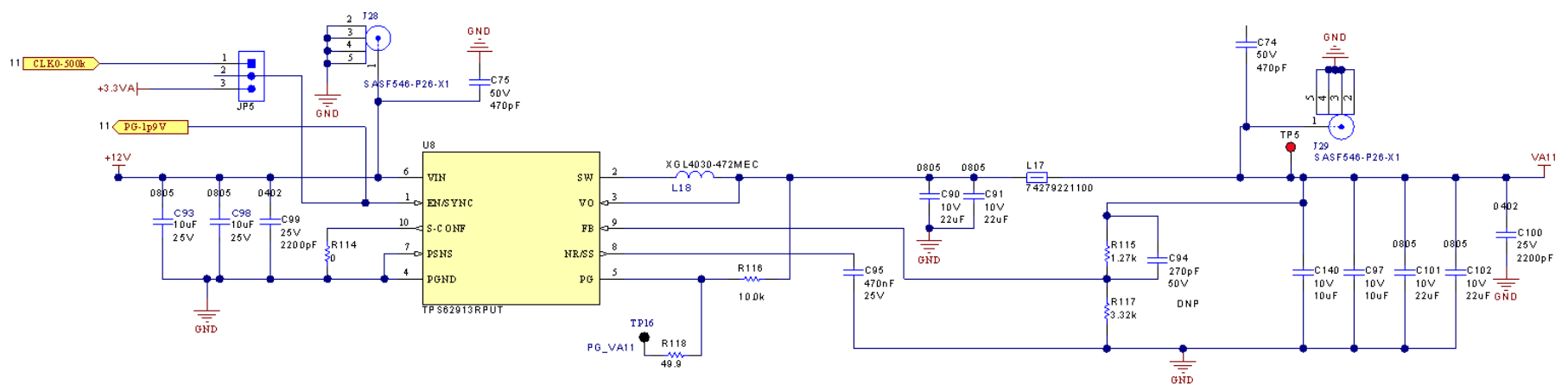


图 5-2. TPS6913 VA11 ADC 电源原理图

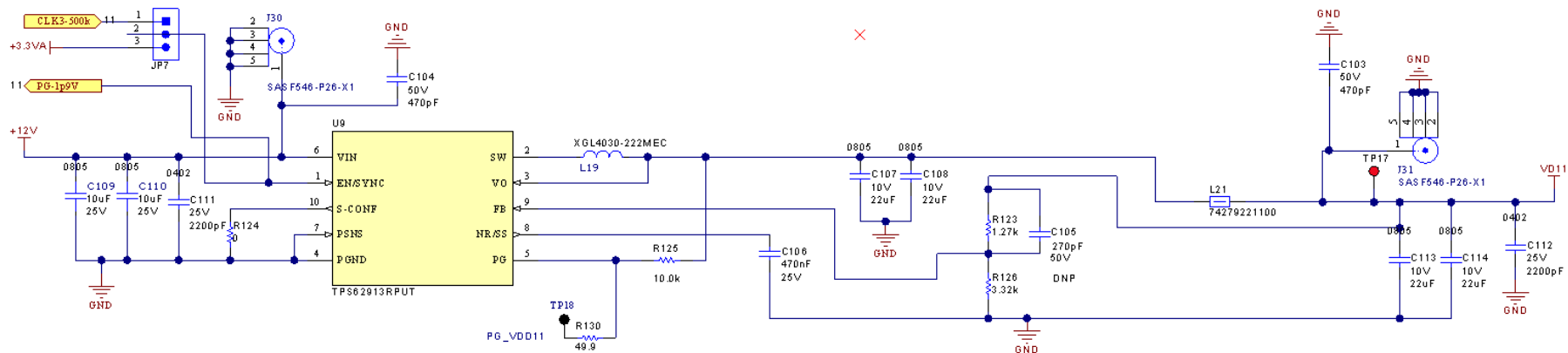


图 5-3. TPS62913 VD11 ADC 电源原理图

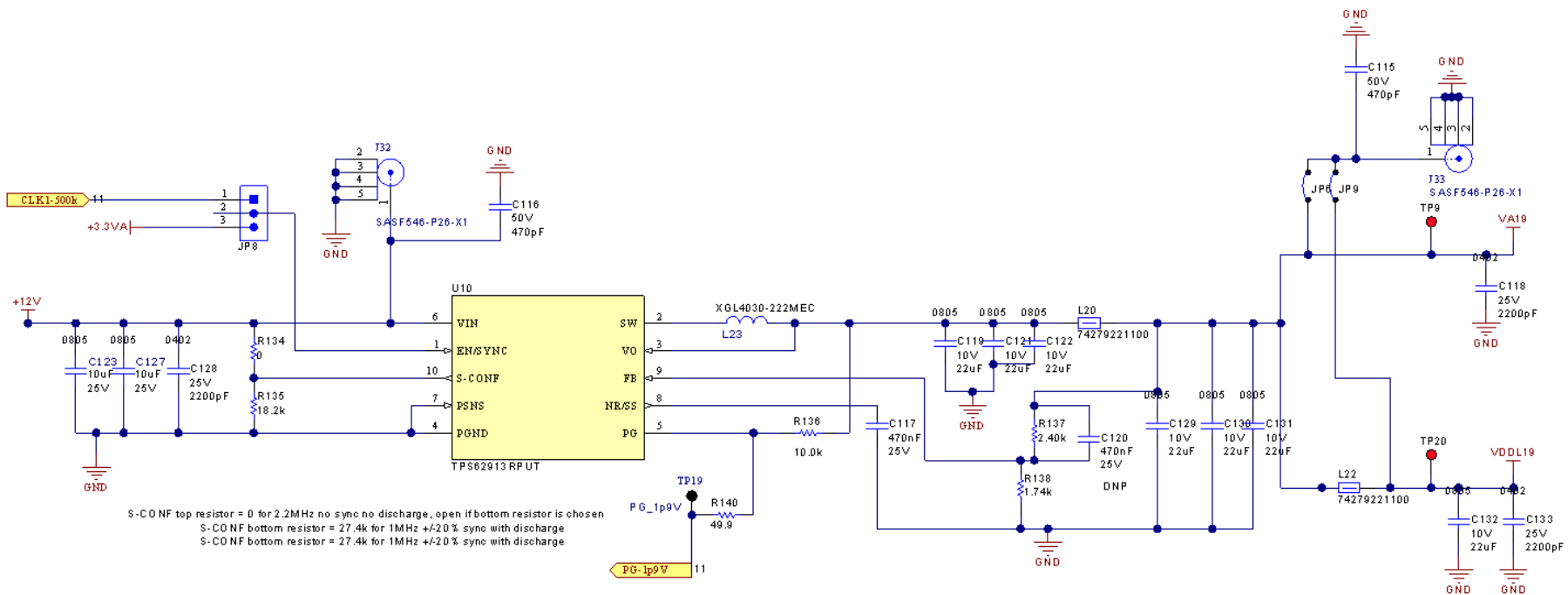


图 5-4. TPS62913 VA19 ADC 电源原理图

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